HAL
open science

De la distribution aux synergies ? : Circulations locales d'énergie et transformations des processus de mise en réseau de la ville

Zélia Hampikian

▶ **To cite this version:**

Zélia Hampikian. De la distribution aux synergies ? : Circulations locales d'énergie et transformations des processus de mise en réseau de la ville. Etudes de l'environnement. Université Paris-Est, 2017. Français. ⟨NNT : 2017PESC1001⟩. ⟨tel-01586025⟩

HAL Id: tel-01586025

https://pastel.hal.science/tel-01586025v1

Submitted on 12 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Autorisation HAL

HAL Authorization

ECOLE DOCTORALE VILLE, TRANSPORTS ET TERRITOIRES

Thèse de doctorat
Aménagement de l'espace, Urbanisme

De la distribution aux synergies ?

Circulations locales d'énergie et transformations des processus de mise en réseau de la ville

Zélia HAMPIKIAN

Thèse dirigée par Taoufik Souami

Soutenue publiquement le 11 janvier 2017 à l'Ecole des Ponts ParisTech

Membres du jury :

Sabine BARLES, professeur des universités, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, *Rapporteur*
Nicolas BUCLET, professeur des universités, Université Grenoble Alpes, *Examinateur*
Olivier COUTARD, directeur de recherche au CNRS, LATTS, *Examinateur*
Gilles DEBIZET, maître de conférences, Université Grenoble Alpes, *Examinateur*
Gabriel DUPUY, professeur émérite, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, *Rapporteur*
Laurence ROCHER, maître de conférences, Université Lumière Lyon 2, *Examinateur*
Taoufik SOUAMI, professeur des universités, Université Paris-Est, *Directeur de thèse*

Résumé

Au sein des discours accompagnant les volontés de transition énergétique, apparaît de manière grandissante une promotion de circulations d'énergie à des échelles infra-urbaines entre des activités diverses. Des acteurs locaux, nationaux ou transnationaux proposent par exemple de valoriser la chaleur dite « fatale », produite par de multiples activités (industries, *data centers*, eaux usées …). Parallèlement, on promeut le partage de productions d'énergie décentralisées entre différentes fonctions (résidentiel, tertiaire, commercial …) à des échelles allant de l'îlot au quartier. En somme, des formes de connexion entre activités urbaines pour échanger de l'énergie sont promues et les exemples de mise en œuvre se multiplient.

Cette thèse propose de saisir ces connexions comme des nouvelles formes de réseaux urbains, qui se substituent ou se superposent à un modèle de grand réseau centralisé plus que centenaire, fondé sur l'efficacité technico-économique, la solidarisation du territoire et la croissance des consommations. Elle vise à comprendre ce que change l'émergence de ces circulations locales à la co-construction de la ville et des réseaux d'énergie.

Pour saisir ces transformations, la thèse combine les apports de deux ensembles de travaux. D'un côté, les recherches urbaines et sociotechniques sur les réseaux permettent de saisir les reconfigurations de ces infrastructures. D'un autre, le champ de l'écologie industrielle et territoriale analyse les dynamiques qui mènent à des échanges de flux matériels entre activités humaines. La combinaison de leurs résultats permet ainsi de saisir l'objet considéré dans ses dimensions sociale, technique et métabolique, c'est-à-dire dans une perspective sociomatérielle.

L'analyse se fonde principalement sur trois études de cas dont on s'attache à comprendre l'émergence, le fonctionnement et l'évolution : l'approvisionnement du réseau de chaleur de Dunkerque par une source de chaleur industrielle, la récupération de chaleur sur un *data center* pour approvisionner un quartier de Marne-la-Vallée et la mutualisation des productions d'énergie dans le quartier de La Confluence à Lyon. Plus largement, un regard est porté sur les reconfigurations concrètes ou proposées de l'organisation de la chaîne d'approvisionnement énergétique à la ville.

Les résultats de la thèse sont de trois ordres. En premier lieu, ces mises en réseau ne sont plus motivées par la seule efficacité technico-économique de la forme réticulaire pour l'approvisionnement du territoire. Les intérêts des différents acteurs impliqués ont tous à voir avec un objectif d'optimisation de l'usage des flux : on passe ainsi d'une recherche d'efficacité technico-économique à celle d'une efficacité métabolique. En second lieu, les réseaux qui émergent de ces échanges sont instables, tout particulièrement en raison des incertitudes quant à l'évolution à court et à long terme des flux disponibles. Ainsi, ils ne reproduisent pas l'effet solidarisant permis par la stabilité des grands réseaux conventionnels. Enfin, face à ces instabilités, les acteurs proposent des évolutions qui visent à réduire les dépendances à des flux incertains. Ces évolutions ont pour caractéristique de s'appuyer sur une croissance du réseau qui ne suit plus un objectif d'universalisation. Au contraire, une forte sélection spatiale de l'extension du réseau est opérée, en fonction de la matérialité des flux perçue par les acteurs. Plutôt que d'engendrer de nouvelles consommations dans une logique d'offre, il s'agit ainsi d'intégrer de nouveaux flux déjà présents sur le territoire.

En somme, la thèse montre un certain « tournant métabolique » dans le processus de mise en réseau de la ville par l'énergie. Alors que l'extension des infrastructures est pendant longtemps restée au centre des problématiques de construction des réseaux, les flux produits et consommés qui préexistent sur le territoire peuvent à présent être la motivation première de la création de connexions.

Thesis summary

Within the framework of the ongoing energy transition objectives, energy circulations at the infra-urban level are increasingly promoted. For instance, local, national and transnational stakeholders suggest the reuse of heat currently being wasted by diverse human activities (industries, data centres, wastewaters …). Alternatively, distributed energy sharing between different urban functions (residential, services, retail …) at the urban block or district scale is promoted. In short, several forms of connections through energy exchange between urban activities are encouraged and examples of those are multiplying.

The thesis offers to capture those connections as new forms of urban networks that supersede or overlap a century-old network model based on techno-economic efficiency, socio-economic and socio-spatial solidarity and consumptions growth. It aims at understanding what these local circulations change to the co-construction of cities and energy networks.

To do so, the approach combines the results of two different strands of work. On the one side, urban and sociotechnical studies of networked infrastructures allow to understand the reconfigurations of those systems. On the other side, industrial ecology works analyse the dynamics that lead to material circulations between human activities. The articulation of their results makes it possible to grasp the considered object in its social, technical and metabolic dimensions, that is, in a sociomaterial perspective.

The analysis is mainly based on three French case studies of which the emergence, running and evolution are investigated: industrial waste heat reuse in the heat network of the city of Dunkirk, heat extraction from a data center to be distributes the in a district of Marne-la-Vallée and energy sharing in the *La Confluence* district in Lyon. More broadly, suggested or implemented reconfigurations of the organisation of energy provision are reviewed.

The results of the study are threefold. First, these new forms of urban network are not solely motivated by techno-economic efficiency. The interests of the stakeholders all come into alignment with an objective of optimization of energy flows uses: from techno-economic efficiency, the goal becomes metabolic efficiency. Second, the networks formed by those circulations are unstable, in particular because of the uncertainties that regard short and long term availability of energy flows. Hence, they do not reproduce the solidarities that emerge from conventional large and stable networks. Third, to reduce those instabilities, actors suggest evolutions that aim at reducing their dependencies on uncertain flows. These evolutions all result in the growth of the network, but do not follow an objective of universalisation. On the contrary, an important spatial selection is operated, according to the perceived materiality of flows by actors. Instead of leading to new consumptions in a supply rationale, the logic becomes one of existing flows integration.

To sum up, the thesis shows a “metabolic turn” in the process of networking the urban through energy circulations. While infrastructures extension has long been at the centre of networks construction, pre-existing produced and consumed flows can now become the primary motivation of building connections.

Remerciements

« Une thèse ? C'est long », m'avait-on dit. Et pourtant, alors que j'écris ces mots, j'ai bien du mal à croire que trois ans se sont écoulés depuis que je m'y suis engagée. Il faut dire que j'ai été bien entourée. C'est ainsi enrichie de quantités de nouvelles connaissances et souvenirs joyeux que je remercie tous ceux qui m'ont accompagnée sur ce chemin.

Je souhaite en premier lieu et tout particulièrement remercier Taoufik Souami qui a dirigé cette thèse et m'a guidée dans ce projet depuis ses balbutiements. Alors que je me suis présentée à lui avec l'idée plus que vague de mener une thèse sur « la ville et l'énergie », il a su m'orienter – malgré ma propension de l'époque (que j'espère avoir un peu corrigée !) à vouloir naviguer dans toutes les directions – vers la construction d'un sujet qui m'a passionnée pendant les trois ans de la thèse, et me passionne encore. Depuis, il m'a constamment encouragée, a su me guider lorsque je me perdais dans la complexité et, au contraire, rouvrir mes horizons lorsque je les fermais. Ses commentaires m'ont toujours été d'une grande aide, en raison notamment de sa profonde connaissance des mondes de l'aménagement et de l'énergie.

Je remercie également très chaleureusement les membres du jury qui ont accepté de rapporter et d'examiner ce travail : Sabine Barles, Nicolas Buclet, Gabriel Dupuy, Olivier Coutard, Gilles Debizet et Laurence Rocher. Un simple parcours de cette thèse montrera à quiconque que leurs travaux l'ont inspirée dans tous ses aspects. Je leur exprime toute ma reconnaissance pour les réflexions qu'ils m'ont insufflées.

Les paroles des personnes qui ont accepté de me répondre, bien souvent au milieu d'emplois du temps chargés, constituent le fondement de ce travail. Elles ont ouvert mes horizons d'une façon qui me marquera, j'en suis sûre, bien au-delà de la thèse. Je leur exprime donc toute ma gratitude.

Au LATTS, le nombre, la diversité et la qualité des échanges ont fait de ces trois ans une intense expérience intellectuelle et relationnelle. Je remercie tous les doctorants avec qui j'ai pu partager réflexions (pas seulement sur les câbles et tuyaux !) et bons moments : bon nombre de mes idées me sont venues en discutant avec eux. Surtout, ils ont fait de mon quotidien au LATTS une expérience continuellement agréable. J'ai une pensée particulière pour ceux dont j'ai partagé le bureau (Morgan – et ses friandises et gadgets (…) philippins –, Rémi, Daniel, Jonathan), ceux de ma « promo » (Elise, Guilhem – compagnon de travail au quotidien –, Alexandre, Simon), mes « aînés », qui m'ont apporté conseils et soutien (Juliette, Lucie, Pauline, Hortense, Catalina, Sylvère, Florent, Félix, Antoine …) et celles qui sont arrivées après moi (Aïda, Lise, Rina, Sarra, Lizett). Je remercie également Maylis, de l'« étage du dessus », avec qui j'ai partagé les débuts du plongeon dans les sciences sociales depuis le monde des ingénieurs. J'attends nos prochaines rencontres avec impatience !

Les chercheurs du laboratoire m'ont aussi beaucoup apporté, tout particulièrement ceux qui ont accompagné la construction de ce travail au travers des « mini-soutenances ». Je remercie ainsi Jonathan Rutherford, Pascal Ughetto, Nathalie Montel, Dominique Lorrain et Eric

Verdeil. Leurs relectures avisées ont grandement contribué à renouveler et structurer mes idées.

Les membres de l'équipe administrative du LATTS ont également participé à rendre mon expérience de thèse plus qu'agréable, autant par leur bonne humeur à toute épreuve que par leur aide toujours bienveillante. Je remercie tout particulièrement Valérie Bocquillion, Nathalie Perroumal et Alice Azemar, qui m'ont chacune accompagnée dans des démarches dont je ne maîtrisais pas toujours bien les ressorts.

Je remercie mes amis de longue date dont certains m'ont souvent demandé quand j'allais « finir mes études » (ils ont maintenant la réponse) mais se sont toujours intéressés à mon travail. Merci donc à mes amis « de Bordeaux » (Barbara, Feiyun, Lian, Alexandre, Etienne, Antonin, Claire, Nicolas), « de Palaiseau » (Jeanne, Noisette, Estelle, Audrey, Emmanuel, Josselin, Camille, Cécile, Tugdual, Mylène) et « de Châtenay » (Chaï, Sophie, Marjolaine, Florian, Aurélien). Tous les événements festifs qui nous ont réunis ont rythmé ce travail de salvatrices réjouissances.

Je remercie mes parents, Sylvie et Philippe, et ma sœur Flavie, qui m'ont accompagnée et soutenue dans tous mes choix académiques. Ils ont toujours fait l'effort de s'intéresser à mon travail tout au long de mes pérégrinations de diplôme en diplôme. Enfin, je remercie William d'être depuis si longtemps à mes côtés. Son soutien indéfectible, ses multiples relectures et ses encouragements ne sont qu'un tout petit morceau de ce qu'il m'apporte au quotidien.

Table des matières

Résumé 1

Thesis summary 2

Remerciements 3

Table des matières 5

Introduction générale 8

PARTIE 1 – Le réseau, mais autrement : de la remise en cause du système de fourniture d'énergie à l'urbain à la figure de la synergie énergétique 14

Chapitre 1 – Du post-réseau à l'hyper-connexion : la place du réseau dans le futur énergétique des territoires urbains en question 15

I. Le réseau dans les transitions énergétiques urbaines : un statut ambivalent 16

II. Mutualisations et récupérations : des outils pour l'évolution des systèmes énergétiques urbains promus dans les discours institutionnels 28

III. La ville comme un objet physique : une approche purement matérielle dans la littérature académique de l'urbain 44

IV. Un objet spatialisé travaillé par le triptyque société, flux, technique 56

Conclusion 60

Chapitre 2 – Sociotechnique et socioécologie de l'urbain : comprendre le changement dans la co-construction des systèmes énergétiques et de la ville 62

I. Des systèmes sociotechniques aux flux : la construction d'un objet entre deux champs de recherche 62

II. Posture de recherche : qu'est-ce qu'une analyse sociomatérielle de l'urbain ? 76

Conclusion 87

Chapitre 3 – Efficacité, solidarité et croissance : quelles remises en cause des principes et effets de la mise en réseau de l'urbain ? 89

I. Du réseau centralisé aux synergies : trois hypothèses d'évolution du rapport entre villes et réseaux 89

II. Une approche en deux temps : des études de cas à la recherche de modèles de réorganisation 105

Conclusion 115

PARTIE 2 – Une analyse sociomatérielle de formes alternatives de mise en réseau de la ville 118

Chapitre 4 – Des minerais au réseau d'agglomération : la récupération de chaleur industrielle à Dunkerque 120

I. Un système technique hétérogène encadré par un système d'acteurs en recomposition 123

II. La récupération en deux étapes : de l'indépendance énergétique à l'environnement, des intérêts mouvants pour la synergie 134

III. Interpénétrations des systèmes techniques et équilibre métabolique du réseau 145

IV. Vers des échanges plus nombreux et plus diversifiés : le rôle de l'espace en question 158

Conclusion 178

Chapitre 5 – Des serveurs informatiques aux radiateurs : *data center* et réseaux de chaleur au Val d'Europe 180

I. Le Val d'Europe comme territoire en construction 182

II. L'exemplarité environnementale et le service public en confrontation 194

III. Exploiter une synergie face à une double incertitude : quand les tuyaux sont surdimensionnés 209

IV. Confronter et contourner les incertitudes par la concurrence spatiale des réseaux 223

Conclusion 232

Chapitre 6 - Du bâtiment à l'îlot, puis au quartier : la mutualisation énergétique à Lyon Confluence 235

I. Renouvellement urbain et mutualisation énergétique : une synergie dans un quartier aux enjeux complexes 236

II. Une synergie comme moyen et non comme but : les îlots à énergie positive en perspective 250

III. Quand tous les flux ne se valent pas : interdépendances thermiques et électriques à l'échelle de l'îlot et du quartier 264

IV. Planifier l'autoconsommation à l'échelle du quartier : la mutualisation et la gestion des flux en questions 280

Conclusion 293

PARTIE 3 – Une transformation et ses limites : des réseaux de distribution aux réseaux d'« échange » 296

Chapitre 7 – Les synergies changent-elles la manière de mettre l'urbain en réseau ? Mise en perspective des études de cas 298

I. Initiation des synergies : des intérêts stratégiques autant qu'opportunistes qui s'accumulent plus qu'ils ne convergent 299

II. Des systèmes instables à chaque bout des tuyaux : interdépendances de flux et d'infrastructures 315

III. Un rapport resserré à l'espace mais pas d'interaction directe entre planification spatiale et évolution du réseau 331

Conclusion 343

Chapitre 8 – Des modèles de systématisation des synergies en construction et en questions 347

I. Le modèle du réseau de chaleur « ouvert » : hybridation entre centralisation et échanges multidirectionnels 349

II. Le modèle du *peer-to-peer* de l'électricité : le réseau comme infrastructure de mutualisation décentralisée 360

III. Le modèle du « chauffage numérique » : repenser l'organisation des activités pour optimiser l'usage des flux 372

Conclusion 379

Conclusion générale 383

Bibliographie 395

Table des figures 433

Table des tableaux 437

Table des encadrés 438

Liste des sigles et abréviations 439

Annexes 441

Sommaire détaillé 446

Introduction générale

À l'automne 2015, se prépare à Paris la Conférence sur le Climat. Au journal télévisé de France 2, le sujet est progressivement introduit au public et, le 21 novembre, « une initiative qui fonctionne très bien » est mise en lumière[1]. Un reportage est en effet lancé pour présenter le réseau de chaleur de Dunkerque qui approvisionne toute une partie de la ville en récupérant de la chaleur qui serait autrement perdue sur les processus du complexe sidérurgique local. Lorsque le sujet se termine, une journaliste poursuit sur le même thème et évoque le chauffage d'une piscine par la chaleur récupérée sur les serveurs informatiques d'une banque à Bailly-Romainvilliers. Plus tard, le 2 décembre, lorsque la Conférence est bien entamée, Ségolène Royal remet les « Trophées Solutions Climat » à des expériences « novatrices en matière de consommation d'énergie, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de préservation des ressources »[2]. Bouygues Immobilier reçoit alors l'un de ces prix pour l'îlot Hikari, « premier îlot mixte à énergie positive en France », fonctionnant par une gestion énergétique mutualisée entre des bureaux, des logements et des commerces.

Qu'ont donc en commun ces différentes « solutions » ?

Tout d'abord, comme le suggère leur mise en avant commune dans le cadre de la COP21, elles sont conçues comme des réponses à des enjeux énergétiques et environnementaux. Ensuite, elles touchent à l'approvisionnement énergétique d'espaces urbains. Enfin, et c'est là le cœur de ce qui nous intéresse dans ce travail, elles fonctionnent par la mise en lien d'activités urbaines diverses, entre lesquelles elles organisent des échanges et des partages de flux d'énergie. En d'autres termes, elles tirent des câbles ou des tuyaux entre des bâtiments ou des équipements aux usages et productions d'énergie différents pour tirer parti de leurs complémentarités.

Entre post-réseau et hyper-connexion, quel futur pour la fourniture d'énergie à la ville ?

La référence aux câbles et tuyaux évoque sans conteste la notion de réseau et donc de connexion. Pourtant, lorsque l'on pense aux réseaux et à l'énergie, les images qui viennent en

[1] Le sujet peut être visionné sur le site internet de France Télévision (francetvinfo.fr – consulté la dernière fois le 07/10/2016)
[2] Voir le site internet de la « galerie des solutions », consulté la dernière fois le 04/10/2016 http://www.lagalerie-cop21.com/les-trophees-solutions-climat/

tête sont davantage celles de macro-systèmes techniques (Dupuy et Tarr, 1988 ; Gras, 1993), dans lesquels un petit nombre de points de production approvisionnent de larges territoires, selon une architecture centralisée (Verbong et Geels, 2010). Inversement, lorsque l'on s'intéresse aux enjeux de la transition énergétique vers des systèmes « bas carbone » (Bridge *et al.*, 2013 ; Geels, 2012), on pense davantage à des panneaux solaires, des éoliennes ou de petites chaufferies au bois, c'est-à-dire à des micro-systèmes techniques (Lopez et Bouton, 2015). Chaque point de la ville devient ainsi un potentiel lieu de production autant que de consommation (Souami, 2009). Des stratégies d'autonomie vis-à-vis des grands réseaux peuvent en découler (Lopez, 2014), si bien que l'introduction d'enjeux environnementaux dans la fourniture d'énergie (et d'autres services) apparaît liée à un probable affaiblissement de l'importance des réseaux dans le futur des villes (Coutard et Rutherford, 2010a ; Lopez, 2011a).

Ainsi, au premier abord, on peine à placer les trois expériences citées plus haut dans cette dichotomie entre un passé fait d'une mise en réseau toujours croissante et toujours plus complexe et le dessin d'un futur dont le trait le plus marquant serait sa composition d'une multiplicité de petits systèmes plus ou moins indépendants. Cependant, des propositions similaires à ces expériences de mutualisation et de récupération locales d'énergie font l'objet d'un foisonnement de discours profanes et spécialisés que nous présentons au début de cette thèse. Aussi, cette abondance appelle une analyse scientifique pour comprendre plus clairement ce dont il est question. Comment penser ces formes alternatives de mise en réseau à l'échelle infra-urbaine ? Pourquoi sont-elles promues et pourquoi émergent-elles ? Quels sont leurs effets sur les territoires urbains ? En quelle mesure divergent-t-elles (ou non) de celles qui connectent les villes à de grands points de production éloignés ?

Une analyse sociomatérielle de systèmes énergétiques urbains

Poursuivant l'objectif de se confronter à ces questions, cette thèse propose d'analyser les différentes dimensions qui composent ces formes nouvellement promues de mise en réseau de la ville par l'énergie. Ainsi, nous comprenons la mise en réseau comme une circulation de flux, mais aussi comme la construction d'une infrastructure qui sous-tend cette circulation, le tout permettant la connexion entre des activités diverses réparties dans l'espace. Pour saisir ces multiples dimensions, nous nous plaçons dans la continuité des travaux de deux champs de recherche aux objets d'études complémentaires, que nous discutons abondamment dans la thèse, mais dont nous proposons ici un premier aperçu.

D'un côté, depuis les travaux précurseurs de Thomas Hughes sur le développement des réseaux d'électricité (Hughes, 1993) et ceux plus généraux de Gabriel Dupuy sur l'ensemble des réseaux qui composent en partie les espaces urbains (Dupuy, 1984), une lignée de recherches s'est intéressée aux relations entre la construction, le développement et l'évolution des villes et les « réseaux techniques » qui les irriguent. L'analyse des infrastructures et de la façon dont elles influencent et sont influencées par les sociétés devient ainsi de manière croissante un point d'entrée pour les études urbaines (Guy et Karvonen, 2011), si bien que l'on évoque un « tournant infrastructurel » de ces dernières (Coutard et Rutherford, 2015). Aussi, l'importance historique de la forme réticulaire dans l'organisation des villes est bien documentée (Bocquet, 2006). Toutefois, le courant dominant de ces approches possède deux limites pour comprendre les objets empiriques introduits plus haut : d'une part, les réseaux y sont le plus souvent conceptualisés sous la forme de macro-systèmes techniques (ou *large technical systems*) et, d'autre part, ils s'intéressent peu aux flux qui traversent ces réseaux (Rutherford et Coutard, 2014).

D'un autre côté, le champ de l'écologie industrielle et/ou territoriale propose de multiples conceptualisations quantitatives et qualitatives des circulations de flux entre activités humaines (Barles, 2010a ; Cerceau, 2013 ; Newell et Cousins, 2015). Ainsi, de nombreux travaux s'intéressent aux dimensions tant physiques et environnementales que sociales des échanges de matière et d'énergie au sein des sociétés contemporaines. Ces travaux ont en particulier permis d'analyser des synergies éco-industrielles, c'est-à-dire des réorientations volontaires à des échelles *« micro »* de flux de matière ou d'énergie dans le but d'améliorer l'efficacité économique et environnementale du système industriel (Chertow, 2000). Pour autant, des limites peuvent de nouveau être trouvées si l'on confronte ces travaux aux échanges et partages d'énergie entre activités urbaines identifiés plus haut : les cas de synergies analysés impliquent le plus souvent des entreprises industrielles (Barles, 2010a) et les cadres conceptuels mobilisés ne prennent pas explicitement en compte la question des infrastructures que peuvent nécessiter leur mise en œuvre, s'intéressant sur le plan matériel principalement aux bilans comptables des flux.

Très récemment, quelques travaux ont opéré de façon plus ou moins explicite de premiers rapprochements entre ces deux ensembles de travaux, dans le but d'analyser des « symbioses urbaines » (Curien, 2014 ; Lorrain, Halpern et Chevauché, 2017a), des « systèmes urbains intégrés » (Vernay, 2013) ou proposant une « écologie territoriale » qui prenne en compte les

dimensions sociales et techniques de l'organisation des circulations de matière et d'énergie (Buclet, 2015). Nous nous plaçons ici dans leur lignée.

Par l'union de ces deux champs, nous proposons de mener une analyse que nous qualifions de sociomatérielle, c'est-à-dire qui prend en compte les multiples interactions techniques et écologiques entre les acteurs humains et l'environnement physique qui les entoure. En cela, nous nous plaçons dans la continuité de travaux récents qui conceptualisent la ville comme un « assemblage sociomatériel » au sein duquel les relations se font et se défont dans un mouvement constant qui constitue ce qui doit être révélé (Farías et Bender, 2012). Nous menons ce travail au travers d'une analyse qualitative des trois cas d'échange et de mutualisation énergétique que nous avons évoqués au tout début de cette introduction, suivant une réflexion méthodologique que nous évoquons plus loin. Plus largement, nous observons et suivons les évolutions proposées ou à l'œuvre dans la conception des systèmes énergétiques pour construire ces formes de circulations infra-urbaines.

Les enjeux de la thèse sont ainsi de trois ordres. Tout d'abord, sur le plan empirique, il s'agit de documenter une évolution récente dans la conception des systèmes énergétiques urbains qui, bien qu'elle reste marginale au regard de l'universalité des réseaux conventionnels, est présentée dans les discours institutionnels et opérationnels comme la marche à suivre. L'objectif est ainsi de prendre un recul critique face aux qualificatifs très laudatifs qui lui sont attribués pour interroger les effets concrets qu'elle peut avoir sur le service de fourniture d'énergie, à l'importance déterminante dans le fonctionnement des sociétés contemporaines. Il s'agit d'interroger cette évolution, au-delà des grands discours, des annonces et des promesses sous-jacentes qui englobent et, parfois, confondent différentes formes de mise en réseau, de vecteurs énergétiques et de réalités matérielles et organisationnelles. En cela, l'enjeu est de mettre au jour des cas concrets, de les investiguer en détail, de les comprendre le plus finement possible, alors même que ces réalisations sont émergentes et qu'elles sont le fruit de démarches expérimentales qui ne livrent pas par avance un discours sur ce qu'elles sont.

Ensuite, sur un plan à la fois thématique et théorique, il s'agit de montrer que la mise en commun des concepts et résultats amenés par le champ de l'analyse des relations entre villes et réseaux d'un côté et de l'écologie industrielle et territoriale de l'autre peut être fructueuse pour caractériser les évolutions des systèmes énergétiques urbains. La thèse doit ainsi établir

que ces deux champs aux assises théoriques bien constituées peuvent être articulés de manière pertinente, sans dénaturer les fondements de l'un ou de l'autre.

Enfin, sur le plan théorique, il s'agit de faire la preuve de l'intérêt de conceptualiser la ville comme un assemblage sociomatériel, c'est-à-dire d'analyser autant les relations d'acteurs que le fonctionnement matériel et technique de leur environnement et de mettre au jour de manière fine les multiples liens qui le composent. Nous entendons ainsi contribuer à montrer que des analyses très « *micro* » des relations entre acteurs humains et systèmes techniques, entre logiques d'actions et matérialités des réseaux ou encore entre stratégies d'acteurs et spatialité des flux d'énergie, ont toute leur place dans la construction d'une connaissance des processus d'aménagement de la ville.

En somme, la thèse prend le parti d'analyser des objets émergents, dans une démarche à l'intersection de deux champs qui tente d'intégrer la matérialité de la ville à la compréhension des dynamiques d'aménagement urbain.

Organisation de la thèse

Pour rendre compte de notre parcours de recherche, le mémoire de thèse est organisé en trois parties.

La **première partie**, qui comprend trois chapitres, constitue la construction du cadre théorique, analytique et conceptuel du propos. Le **chapitre 1** commence ainsi par introduire le sujet en montrant son évocation dans les discours institutionnels et dans la littérature académique, pour en déduire la nécessité d'une approche renouvelée. Le **chapitre 2** pose les fondements du cadre analytique de la thèse en présentant les différentes lignées de travaux dans lesquelles elle se place, des points de vue tant thématiques que théoriques. Le **chapitre 3** est une construction des trois hypothèses qui guident notre exploration et notre analyse empiriques ainsi qu'une présentation du protocole de recherche.

La **seconde partie** aborde successivement nos trois études de cas principales, les confrontant chacune aux trois hypothèses construites dans la partie précédente. Ainsi, le **chapitre 4** est une analyse de l'approvisionnement du réseau de chaleur de Dunkerque par une source de chaleur « fatale » industrielle. Le **chapitre 5** nous emmène ensuite au Val d'Europe, dans la ville nouvelle de Marne-la-Vallée, où des flux de chaleur sont extraits d'un *data center* pour approvisionner, potentiellement, une zone d'activité. Puis, le **chapitre 6** nous déplace vers

Lyon, dans le quartier en développement de La Confluence, où l'approvisionnement énergétique est conçu selon des concepts de mutualisation et de circulations locales d'électricité et de chaleur.

Enfin, la **troisième partie** a pour objectif de construire, synthétiser et conceptualiser les résultats de la recherche. Le **chapitre 7** est une mise en perspective des trois études de cas et une confrontation des résultats obtenus à la littérature discutée dans la première partie. Le **chapitre 8** opère un décentrement par rapport aux études de cas fines et interroge des modèles alternatifs d'organisation de la chaîne de fourniture énergétique proposés pour accompagner les échanges et mutualisations envisagés dans la thèse. La **conclusion générale** termine le propos en synthétisant et rappelant les résultats principaux. Elle opère également un retour sur le positionnement théorique, interroge les liens qui pourraient exister avec des courants de recherche en construction et propose ainsi des pistes de recherches futures.

Partie 1

Le réseau, mais autrement : de la remise en cause du système de fourniture d'énergie à l'urbain à la figure de la synergie énergétique

Chapitre 1 – Du post-réseau à l'hyper-connexion : la place du réseau dans le futur énergétique des territoires urbains en question

En point de départ de cette thèse et, dès lors, au cœur du propos de ce chapitre, se trouve une ambivalence quant au devenir des réseaux urbains de distribution d'énergie, pourtant considérés depuis maintenant plus de cent cinquante ans comme indissociables du fonctionnement des villes. En effet, d'un côté, les discours institutionnels et réglementations qui prennent pour cadre un objectif de transition énergétique promeuvent l'usage d'énergies décentralisées, renouvelables ou de récupération, dont le développement tend à affaiblir le rôle du grand réseau centralisé tel qu'il existe aujourd'hui. De l'autre, un discours émerge quant à la difficulté de trouver une adéquation entre ces productions locales et les besoins individuels de ceux qui les produisent. En d'autres termes, la possibilité de leur autonomie est mise en doute. Pour améliorer l'efficacité du système énergétique, les discours promeuvent alors des échanges de flux d'énergie entre des activités qui, traditionnellement, ne sont pas reliées sur le plan énergétique. Ces échanges passent par la création de nouvelles liaisons matérielles, c'est-à-dire par de nouvelles mises en réseau.

Ainsi, l'évolution du rôle de la forme réticulaire dans l'approvisionnement énergétique des villes est incertaine, au sens où son affaiblissement comme son renforcement sont concomitamment considérés, les implications urbaines de cette ambivalence étant insuffisamment explorées. Dans ce chapitre, nous commençons par révéler cette ambivalence et les principes techniques et fonctionnels sur lesquels elle repose (I). Nous donnons ensuite à voir les discours institutionnels qui, de l'échelle européenne à celle de collectivités locales, promeuvent ces nouvelles formes de mise en réseau, afin de montrer l'épaisseur qu'elles prennent dans les stratégies de transitions énergétiques (II). Nous montrons alors que les approches académiques de ces formes par la littérature explicitement urbaine ne les considèrent que pour leur dimension matérielle (III). De là, nous avançons qu'elles doivent au contraire être construites comme une combinaison de flux, d'objets techniques et d'acteurs organisés dans l'espace et ouvrons sur les champs de recherche qui peuvent aider à les conceptualiser en ce sens (IV).

I. Le réseau dans les transitions énergétiques urbaines : un statut ambivalent

L'idée de transition énergétique urbaine est un concept aux contours flous, bien souvent utilisé comme expression signifiante puisqu'appartenant aujourd'hui au débat public. Elle est parfois présentée comme la passage d'une dépendance aux énergies fossiles à un usage d'énergies renouvelables dans le fonctionnement urbain (Droege, 2011) ou bien est « prioritairement conçue comme impliquant l'utilisation accrue d'énergies renouvelables » (Bolzon, Rocher et Verdeil, 2013). Elle est encore décrite, en un sens élargi, comme « un changement radical, systémique et dirigé vers des approvisionnements et usages « plus soutenables » et « plus efficaces » de l'énergie »[3] (Rutherford et Coutard, 2014).

La notion est donc plurielle et touche, de près ou de loin, à tout ce qui a trait à la vie et aux fonctionnements urbains. Nous abordons ici cette question, dans une première approche, par un sous ensemble de ce qui compose les systèmes énergétiques urbains : les réseaux, qui ne sont pour le moins pas au cœur des recherches sur les transitions énergétiques urbaines (Rocher, 2013). Invisibles dans leur majorité aux usagers, ils innervent pourtant les villes pour distribuer l'énergie et les relier à des macro-systèmes techniques transfrontaliers et jouent un rôle depuis maintenant plus d'un siècle dans le fonctionnement urbain. Malgré cela, ils sont aujourd'hui mis en cause dans des critiques qui semblent dessiner une ville sans réseaux et qui s'appuient sur les mêmes arguments qui fondent la défense de la nécessité d'une transition énergétique (A). Pour autant, et c'est là le point de départ de notre investigation, la mise en réseau de l'urbain par des échanges énergétiques apparaît quant à elle toujours valorisée, mais sous des formes renouvelées qui visent précisément à favoriser une transition énergétique (B).

A. Du réseau au post-réseau, vers un changement de modèle pour la fourniture des services urbains ?

Les historiens des sciences et des techniques l'ont montré : à partir du milieu du XIXème siècle, la forme réseau se diffuse et devient le mode dominant de fourniture des services urbains dans les villes du Nord. En particulier, les réseaux de gaz et d'électricité sont installés dans les villes européennes et nord-américaines (Hughes, 1993), jusqu'à, pour l'électricité, irriguer tout le territoire. Cette transformation est jugée si importante par Abram De Swaan qu'il va jusqu'à avancer qu'elle est indissociable de la formation des villes modernes :

[3] Traduction personnelle de l'anglais. Texte original : *"a radical, systemic and managed change towards 'more sustainable' or 'more effective' patterns of provision and use of energy"*.

répondant à des problématiques d'hygiène et de qualité de vie, elle a contribué à leur développement et à leur extension (De Swaan, 1995). Gabriel Dupuy consacre également la forme du réseau comme le paradigme fondamental de la construction des villes modernes (Dupuy et Tarr, 1988) et cherche à montrer comment le mode de pensée des urbanistes doit évoluer pour prendre en compte cette réalité (Dupuy, 1991 ; Dupuy, Van Schaick et Klaasen, 2008).

Au-delà de la forme technique du réseau, les systèmes ainsi construits sont associés à la fourniture de services aux caractéristiques bien particulières. Le réseau, tel qu'il est défini par Olivier Coutard, désigne en effet un « ensemble d'équipements interconnecté, planifié et géré de manière centralisée à une échelle tantôt locale tantôt plus large et offrant un service plus ou moins homogène sur un territoire qu'il contribue à solidariser » (Coutard, 2010, p. 102). On note ainsi deux notions clés qui sortent des considérations purement techniques : la centralisation et la solidarisation. La première d'entre elles s'applique à plusieurs aspects de ces systèmes techniques : d'un côté, le faible nombre de points de production en comparaison du nombre de points de consommation, de l'autre, la centralisation de la décision quant à la gestion, la régulation et la planification à une échelle locale ou plus large du réseau (Coutard, 2010 ; Coutard et Rutherford, 2010a). Ainsi, Jean-Marc Offner montre que le monopole territorial, qu'il soit local ou national, est en général présenté comme le plus approprié pour la gestion des services en réseau, en raison de l'importance des investissements en infrastructures nécessaires à la fourniture du service (Offner, 1996). La centralisation permettrait alors des économies d'échelle et d'envergure, qui contribuent à abaisser les coûts du service pour chacun par le regroupement des productions et des consommations (Curien, 2000). Taoufik Souami montre ainsi comment la centralisation de la gestion de l'eau potable est le résultat d'un processus historique qui met précisément en avant l'importance des économies d'échelle (Souami, 2012).

La seconde notion fait référence aux différentes liaisons que le réseau contribue à créer au sein du territoire qu'il irrigue. Le rôle solidarisant est fortement ancré dans la conception scientifique des réseaux historiques, si bien que Gabriel Dupuy les définit comme des équipements techniques de solidarité urbaine (Dupuy, 1984). Il utilise l'idée « dans tous les sens du terme solidarité, c'est-à-dire aussi bien la dépendance physique que les rapports relatifs à un enjeu économique et social » (Dupuy, 1984, p. 20). De même, Olivier Coutard et Jonathan Rutherford expliquent que cette solidarité s'exprime sur quatre plans (Coutard et Rutherford, 2015, p. 19) : par la redistribution socio-économique (on pense par exemple à la

péréquation tarifaire pour le système électrique français (Poupeau, 2007)), par l'intégration fonctionnelle d'espaces toujours plus grands, par l'intégration politique à travers l'incitation à fournir un service homogène sur des territoires aux gouvernances distinctes et par « l'intégration métabolique », c'est-à-dire l'appropriation de ressources pour l'usage de grandes régions urbaines[4]. Les effets attribués au réseau sont donc très forts puisque ce dernier contribuerait à faire tenir le territoire physiquement, socialement et économiquement ensemble.

Les qualificatifs qui sont ici associés au réseau ont dans l'ensemble des résonances positives, liées à des idées d'égalité et de solidarité, ce dernier terme étant même utilisé sans détour. Cette approche dans la littérature académique résonne avec la supériorité conférée à la forme réseau par les acteurs de la fourniture des services pendant plus d'un siècle (Le Bris et Coutard, 2008) : « la solution aux problèmes créés par les réseaux résidait dans les réseaux eux-mêmes, dans leur extension plus grande, leur gestion plus centralisée, leur sophistication technique accrue ».

Toutefois, malgré ce consensus général, la forme du réseau centralisé n'est jamais restée sans détracteurs. Fanny Lopez l'explique fort bien dans son ouvrage « Le rêve d'une déconnexion » (Lopez, 2014, p. 78) : « au moment même où le rêve de la connexion se réalise […], se profile une nouvelle utopie technicienne : la déconnexion ». Ainsi, la dépendance des individus à un macro-système technique géré de manière centralisée pose problème à différents mouvements, des plus contestataires, comme la contre-culture, aux plus institutionnels, comme l'expérience de *l'Autonomous Housing Project* menée par Alexander Pike à Cambridge (Lopez, 2011b). Les critiques du modèle en place sont autant d'ordre social qu'économique ou environnemental. Cependant, les différentes expériences menées jusqu'aux années 1980 sont abandonnées ou restent inachevées, laissant derrière elles un héritage plus que mitigé (Lopez, 2014, 2017).

---

[4] "*In the North where the universal deployment of networked infrastructure systems was achieved, the advent of the networked city historically, from the mid-nineteenth century, has been (shown to be) associated with various forms of integration or solidarity:*

- *socioeconomic integration through the (cross) subsidized provision of homogeneous essential services across urbanized spaces;*
- *functional integration, as networked infrastructures have facilitated and sustained spatial practices on the scale of ever broader living areas;*
- *political integration, through the cooperation between contiguous local governments encouraged by the thrust to provide homogeneous services within entire urban regions;*
- *"metabolic integration", as the development of large, monopolistic, centrally-managed networked infrastructure systems resulted in, and rested on, the appropriation of (remote) resources for the benefit of the development of the entire urban region*" (Coutard et Rutherford, 2015, p. 19).

C'est finalement à partir du début des années 1990 qu'une contestation plus générale du modèle du grand réseau émerge, principalement basée sur des arguments environnementaux (Coutard, 2010). Les critiques ne se portent pas uniquement sur le système énergétique mais plus largement sur la forme du macro-système technique centralisé que l'on retrouve également dans la fourniture de l'eau, l'assainissement ou encore la gestion des déchets (Dobigny, 2012). Leur origine tient à la place sans cesse croissante dans le discours scientifique et médiatique de l'importance de l'influence des activités humaines sur l'environnement physique. On parle ainsi d'anthropocène, terme au départ scientifique qui se diffuse auprès du grand public, pour désigner « la période géologique actuelle […] marquée par l'émergence de déterminismes d'origine anthropique au côté des déterminismes naturels qui jusque-là conditionnaient la planète » (Barles, 2010a, p. 63).

Les grands réseaux se voient alors associés à un usage dispendieux des ressources et à des rejets importants de déchets dans l'environnement qui perturbent le fonctionnement des écosystèmes et assoient le fonctionnement urbain sur des ressources dont les stocks s'épuisent. En outre, leur gestion centralisée est jugée éloignée des préoccupations des usagers des services qu'elle empêcherait de saisir l'impact et la portée de leurs consommations, limitant ainsi la possibilité d'inciter à une sobriété des usages.

Olivier Coutard montre de manière synthétique, dans le Tableau 1.1 reproduit ci-dessous, les différentes oppositions conceptuelles entre grand réseau centralisé et (éco)systèmes urbains dits « durable » promus en réponse à ces déséquilibres matériels (Coutard, 2010, p. 114).

Tableau 1.1 : Des paradigmes contrastés : grand système de réseau et techno-écocycle – extrait de Coutard, 2010, p. 114

Réseau	**Ecosystème urbain (durable)**
Solidarité, solidarisation	**Autonomie, autonomisation**
Métabolisme linéaires : prélèvement > approvisionnement > évacuation	Métabolisme circulaire : recyclage, rejets minima
Ingénierie, mécanique, systèmes techniques, cybernétique	Écologie, systèmes organiques, écosystèmes
Etanchéité, écoulement, flux, cinétique ; modèle de flux (hydraulique)	Porosité, stase, stock, lenteur ; modèles de stocks (ressources non renouvelables)
Découplage entre les capacités du milieu et les pratiques de consommation des ressources	Adéquation entre les capacités du milieu et les pratiques de consommation des ressources
Cycle long, débouclage	Cycle court, (re)bouclage

Logique d'offre ou de construction/satisfaction de la demande	Logique de maîtrise de la demande
Modèle technico-économique d'expansion de grands systèmes : économies d'échelle, d'envergure, de variété ; effets de club ; moindre coûts de transaction	Modèle écologique de conservation ou de préservation des ressources et des milieux
Equipements de grande taille, gérés de manière centralisée	Equipements de petite taille unitaire, dispersés, gérés de manière décentralisée
Consommation non bornée ; croissance perpétuelle de l'urbanisation, de la richesse matérielle, de l'usage des services urbains	Consommation modérée, sobriété ; dissociation entre croissance et développement, décroissance
Irréversibilité, « momentum », inflexibilité	Réversibilité, adaptabilité

De manière générale, c'est donc l'usage linéaire des ressources, déconnecté des capacités des milieux où elles sont prélevées, sur lequel s'appuie le fonctionnement du grand réseau qui est mis en cause (Brunner, 2007) ou encore l'enfermement de sa gestion technique et économique qui la réserve à un cercle restreint d'acteurs (Souami, 2012).

Promotion est alors faite par des experts, des militants ou des responsables politiques de systèmes autonomes de production de services à différentes échelles, ou tout du moins visant l'autonomie et recherchant ainsi le minimum de dépendance au système centralisé. Dominique Lorrain at *al.* voient cette évolution comme un processus de « miniaturisation » ou d'« individualisation » des systèmes techniques, observé auparavant dans certaines industries telles que les transports (passage du ferroviaire à la voiture individuelle) ou l'informatique (Lorrain, Halpern et Chevauché, 2017b). Dans le cas des services urbains, les écoquartiers ou quartiers dits durables sont le laboratoire qui en permettent l'expérimentation (Souami, 2009). Bien que les techniques mises en œuvre y soient dans une certaine mesure standardisées, l'idée qui prévaut n'est plus celle de l'extension par défaut d'une infrastructure en réseau identique en tout point de l'espace aménagé. Dans le domaine de l'énergie, on tend au contraire vers un « sur-mesure énergétique », comme suggéré par Taoufik Souami où le système est pensé en fonction des usages, ressources et potentiels de production propres au lieu (Souami, 2007).

Les techniques attenantes à ces principes s'opposent donc au système conventionnel en ce qu'elles sont décentralisées, c'est-à-dire que, dans le principe au moins, elles produisent localement pour des usages locaux. On installe ainsi des systèmes de production locaux, notamment des panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques dont le placement sur les toitures devient presque un prérequis de la qualification d'écoquartier pour les nouveaux aménagements (Souami, 2009). On promeut la création de boucles locales au travers de la récupération d'effluents de matière locaux pour produire de l'énergie localement. L'exemple le plus souvent cité de mise en œuvre de tels principes est le quartier d'Hammarby Sjostadt à Stockholm où la production renouvelable locale et la création de boucles de matière et d'énergie sont appliquées à l'ensemble des services, malgré de nombreuses limites dans les faits (Pandis Iveroth, 2014 ; Rutherford, 2008).

La diffusion de ces modèles alternatifs donne alors naissance à une hypothèse scientifique : celle du glissement vers une ville « post-réseau » (Coutard et Rutherford, 2009, 2013, 2015 ; Féré et Scherrer, 2014 ; Petitet, 2011 ; Scherrer, 2010), c'est-à-dire de l'altération, à plusieurs titres, du modèle conventionnel de fourniture des services urbains pour aller vers des formes moins centralisées et moins dépendantes d'infrastructures lourdes de transport et distribution des flux. Cette hypothèse est en particulier explorée au sein d'un numéro de revue et d'un ouvrage qui regroupent des travaux internationaux sur les techniques décentralisées (Coutard et Rutherford, 2009 ; Rutherford et Coutard, 2015). Ce qui en ressort n'est pas la disparition univoque des lourdes infrastructures plus que centenaires que sont les grands réseaux de services urbains mais leur transformation aux marges et leur hybridation (Lorrain, Halpern et Chevauché, 2017c) avec des techniques décentralisées formant des « ensembles composites » (Jaglin, 2012). Ainsi, différentes formes d'altération du réseau conventionnel co-existent avec les infrastructures conventionnelles, comme le suggère le Tableau 1.2, associées à diverses relations entre les techniques décentralisées et l'infrastructure conventionnelle. En outre, l'évolution peut exister tant du point de vue de l'organisation que de l'échelle d'autonomie de décision.

L'hypothèse du post-réseau appelle donc un examen approfondi des évolutions contemporaines de fourniture des services, en particulier énergétiques. Elle suppose la sortie d'une idéologie, partagée pendant une longue période, selon laquelle le réseau est toujours, en tout contexte et en tout lieu, la forme la plus efficace de circulation des flux (Coutard et Rutherford, 2015 ; Lopez, 2014).

Tableau 1.2 : Une typologie des voies « post-réseau » pour une transition urbaine - Extrait de Coutard et Rutherford, 2013, p.14

		ORGANISATION	
		Découplage (autarcie locale)	Nouvelles formes de couplage (autonomie locale)
DECISION	Echelle locale et collective de la décision	Hors réseau	Boucler la boucle
	Echelle individualisée (ou quasi-individualisée) de la décision	Au-delà du réseau	Injection dans le réseau

B. Rechercher l'adéquation locale entre productions et consommations : moins de centralisation mais plus de tuyaux ?

La dénomination-même de l'hypothèse, bien que nous ayons montré qu'elle n'illustre pas la supposition d'une disparition complète du réseau, laisse toutefois paraître l'idée selon laquelle il s'affaiblirait : il existerait moins d'interconnexion entre les différents dispositifs de production et de consommation au sein des espaces urbains. À la limite, on se dirigerait vers une juxtaposition de bâtiments aux fonctionnements énergétiques disjoints, sans interaction sur ce plan.

Pourtant, la nature physique des flux produits et consommés dans la fourniture du service appelle d'autres considérations qui semblent s'opposer à ces dernières. Fanny Lopez le constate à la fin de son ouvrage sur l'autonomie énergétique où elle montre que dans les discours et représentations actuelles du futur des systèmes énergétiques urbains, on parle certes de systèmes de production décentralisés, mais aussi de connexion entre eux tous (Lopez, 2014). Laurence Rocher démontre également une tension dans les discours de la transition énergétique qui se cristallise autour de la promotion d'un renouveau des réseaux de chaleur (Rocher, 2013, 2014) : alors que la forme du grand réseau centralisé est condamnée comme forme inadaptée aux enjeux environnementaux contemporains, la multiplication, la densification, l'extension et l'interconnexion des réseaux de chaleur sont encouragées, sous le motif qu'ils seraient la forme la plus efficace de circulation des flux de chaleur renouvelables et de récupération. On assiste donc à un compromis entre flux et infrastructure, dans laquelle une vision « écocyclique » du système énergétique urbain justifie une expansion des infrastructures en réseau. Dans un autre domaine, Sabine Barles *et al.* font également le constat d'une promotion de la multiplication des mises en réseau au travers de l'étude du cas

de la remise en service d'un réseau alternatif d'eau non potable à Paris (Barles, Coutard et Guillerme, 2015).

Une image d'hyper-connexion se dessine ainsi, dans laquelle la centralisation des productions est affaiblie mais le nombre de câbles et de tuyaux qui irriguent l'urbain, quant à lui, s'accroît, laissant penser que les systèmes énergétiques se dirigent davantage vers une multiplication des liens à toutes les échelles que vers un affaiblissement de la mise en réseau. La partie suivante de ce chapitre a pour objectif de montrer la forme que prend la promotion d'une telle hyper-connexion dans les discours des institutions internationales, nationales ou locales qui jouent un rôle dans la dynamique de mise en œuvre d'une transition énergétique. Toutefois, avant d'entrer dans un tel exposé, nous présentons dans ce qui suit les concepts généraux qui fondent les arguments avancés pour défendre ces formes de connexion. En d'autres termes, nous tentons de répondre à la question suivante : alors que la forme du grand réseau est jugée non conforme aux enjeux environnementaux, pourquoi certains acteurs promeuvent-ils, de manière apparemment contradictoire, de nouvelles formes de mise en réseau de l'urbain par l'énergie ?

L'une des formes de « post-réseau » présentée par Olivier Coutard et Jonathan Rutherford dans le Tableau 1.1, « boucler la boucle » nous permet de mettre en exergue une première explication, et peut-être la plus évidente. En effet, le « bouclage » local des flux, pour le cas de l'énergie, se traduit en particulier par la récupération d'un flux de chaleur pour les usages locaux qui serait autrement rejeté dans l'atmosphère ambiante. Dans le langage des énergéticiens, on parle de la récupération d'énergie fatale (voir l'Encadré 1.1) qui nécessite la construction d'une infrastructure permettant la circulation du flux de son producteur à des consommateurs, c'est-à-dire des tuyaux, semblables à ceux que l'on retrouve dans les systèmes énergétiques conventionnels.

Encadré 1.1 – **La chaleur fatale**

L'application du qualificatif « fatale » à la notion d'énergie peut *a priori* sembler surprenante. Elle est pourtant aujourd'hui consacrée pour désigner une réalité physique spécifique. L'expression « chaleur fatale » est définie par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) comme étant « la chaleur générée par un procédé qui n'en constitue pas la finalité première, et qui n'est pas récupérée » (ADEME, 2015c, p. 7). La notion fait donc référence à la « fatalité » d'une telle production : elle existe, bien qu'elle ne soit pas

souhaitée. La chaleur de récupération constitue alors ce même flux s'il est capté et réutilisé pour un usage quelconque et la chaleur perdue est une chaleur fatale qui n'est pas réutilisée.

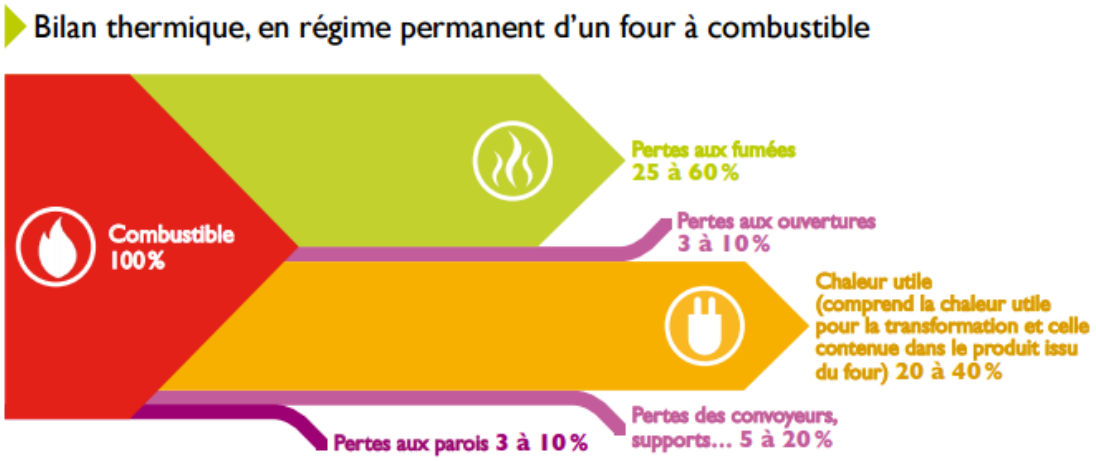


Figure 1.1 : Représentation des pertes de chaleur dans divers flux lors d'un procédé industriel de combustion en four : 60 à 80% de la chaleur est de la chaleur fatale - Source : "La chaleur fatale industrielle", ADEME, 2015

Les sources de chaleur fatale sont très diverses puisque de nombreux procédés génèrent de la chaleur qui se dissipe dans l'atmosphère : si l'on s'intéresse simplement à une habitation, on peut penser à l'éclairage, à la cuisson, au chauffage de l'eau sanitaire, aux appareils électro-ménagers ou bureautiques. Toutefois, dans les faits, ce sont surtout les sources concentrées de chaleur qui sont considérées dans les documents qui y font référence. Ainsi, sont évoqués les industries, et notamment celles qui utilisent des fours à haute température (voir la Figure 1.1 pour une illustration), les *data centers* qui, regroupant une forte densité de serveurs informatiques produisent une grande quantité de chaleur qu'ils doivent évacuer (ALEC Plaine Commune, 2013), les collecteurs d'eaux usées, souvent à une température supérieure à celle extérieure et les incinérateurs d'ordures ménagères (ADEME Ile de France, 2015 ; Région Ile de France et Préfet de la région Ile de France, 2012).

On distingue alors deux façons de valoriser ces flux : une valorisation interne, c'est-à-dire pour le processus en lui-même en créant une boucle directe (par exemple pour le préchauffage des matières), ou pour le même usager mais dans un autre processus ; ou bien une valorisation externe, c'est-à-dire pour d'autres usagers. Dans ce second cas, les réseaux de chaleur sont alors le vecteur de transport du flux, depuis le producteur jusqu'au consommateur.

Toutefois, les arguments sur lesquels s'appuient la justification de nouvelles formes de connexions énergétiques ne s'arrêtent pas à cette idée de « bouclage des flux ». Dans une autre dimension, elle peut en fait aisément être reliée à l'un des arguments qui a servi à justifier jusqu'à récemment la supériorité du réseau conventionnel et de l'interconnexion. En effet, l'idée de connecter un nombre toujours croissant de consommateurs est défendue en

particulier à travers la notion d' « économie d'envergure » (Coutard, 1994 ; Curien, 2000) ou *load diveristy* en anglais (Andrews, 2008). Le principe en est simple : plus on connecte d'usagers au réseau, plus les usages sont diversifiés et plus facilement on peut espérer équilibrer les consommations dans le temps pour mieux gérer le parc de production. Une illustration empirique de l'importance de ce principe est donnée par Mark Rose qui montre comment il est intégré à la stratégie d'un opérateur énergétique américain à la fin des années 1926 (Rose, 1988, p. 232) : *"yet by 1926, executives at the Public Service Company of Colorado (PSCC) had decided to take advantage of the diversity in Denver, assuming that they could balance their domestic and industrial loads against one another, thus creating a large potential market without expensive improvement in capacity"*.

Pour décrire cette caractéristique des réseaux, les énergéticiens utilisent la notion de foisonnement. Le CETE[5] de l'Ouest (aujourd'hui CEREMA[6]) en donne une explication très claire dans une publication sur les réseaux de chaleur (CETE de l'Ouest, 2012), dont la Figure 1.2 est une illustration.

Il nous faut toutefois préciser un point technique important pour comprendre le principe qui sous-tend la lecture de cette dernière : les installations de production énergétique sont dimensionnées en fonction de la puissance maximale nécessaire à fournir l'énergie consommée. Ainsi, ce n'est pas tant la quantité d'énergie consommée qui importe pour planifier et dimensionner le système technique que sa répartition dans le temps, et tout particulièrement sa pointe, c'est-à-dire la valeur la plus haute de puissance consommée. Nous parlons ici de techniques locales, que l'on peut qualifier de « micro-systèmes techniques » en opposition aux macro-systèmes évoqués dans la section précédente, mais la problématique de la pointe est en fait bien plus médiatisée pour ces derniers. On sait en effet que la pointe de consommation nationale d'électricité ne cesse d'augmenter. Or, dans le système électrique tel qu'il est construit aujourd'hui, la production de pointe est la plus coûteuse sur les plans économiques et environnementaux, car elle demande la construction et la mise en fonctionnement de systèmes de production dits d'appoints, qui doivent être flexibles et ne sont utilisés que pour une part très faible de leur capacité réelle, leur production n'étant pas utile la plupart du temps (FNCCR, 2013).

[5] Centre d'Etude Technique de l'Equipement
[6] Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

À l'échelle beaucoup plus fine qui nous intéresse, l'exemple développé par le CETE de l'Ouest part du profil temporel de consommation de deux bâtiments, l'un abritant des bureaux et l'autre des logements. On constate que les consommations d'énergie y sont décalées dans le temps. Leur combinaison, c'est-à-dire leur somme, permet alors un « lissage » de la courbe de charge.

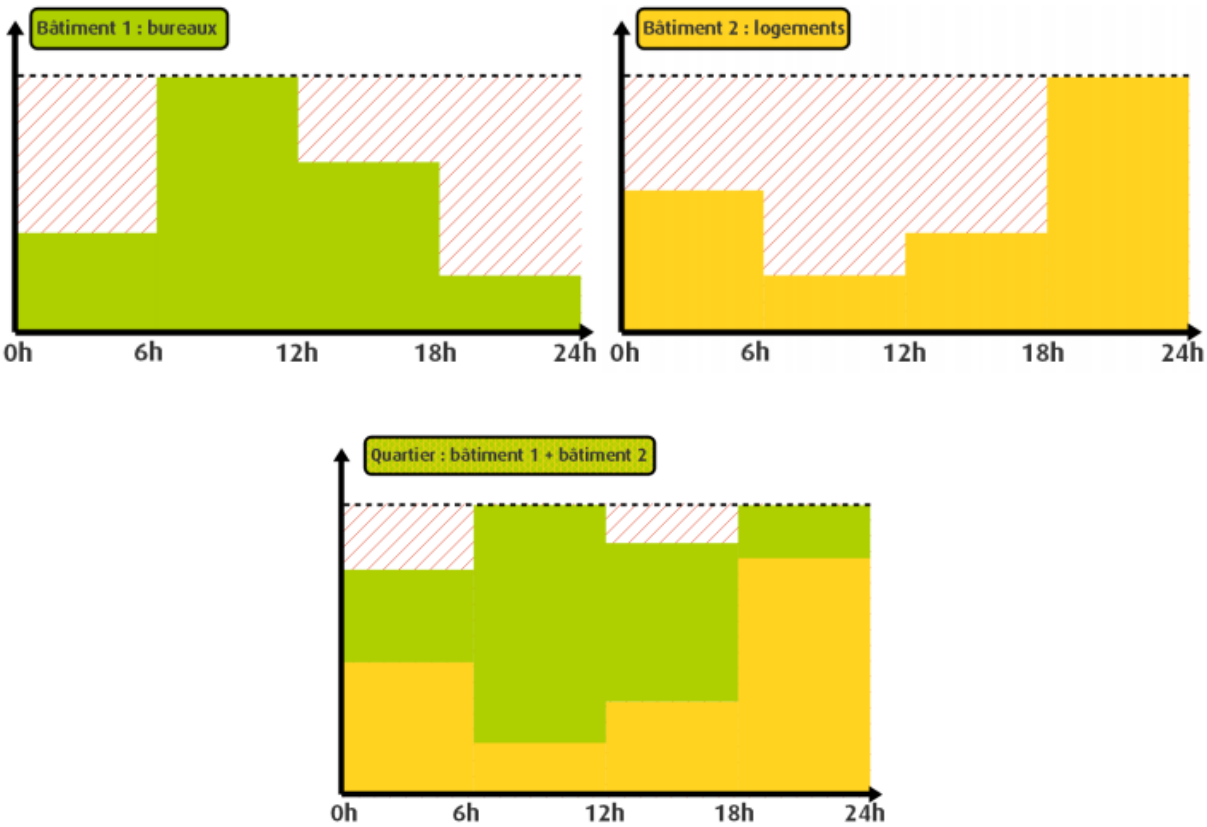


Figure 1.2 : Superposition des consommations de deux bâtiments aux fonctions distinctes - Extrait de CETE de l'Ouest, 2012, p. 10

Le CETE de l'Ouest et, comme nous le verrons plus loin, de nombreux acteurs institutionnels de l'aménagement et de l'énergie (ministères, collectivités, associations d'entreprises …) tirent plusieurs conclusions de ces résultats. Ils en déduisent en effet qu'il est plus intéressant de concevoir les systèmes de production d'énergie à l'échelle de plusieurs bâtiments aux fonctions diverses que de manière individuelle, et ce pour deux raisons. D'une part, la puissance installée dans le premier cas est inférieure à la somme des puissances installées dans le second, ce qui entraîne donc un abaissement des coûts économiques et environnementaux liés à la fabrication et à l'exploitation des systèmes de production. On

retrouve ici précisément les économies d'envergure qui font partie des vertus allouées au grand réseau.

D'autre part, la puissance souscrite se rapproche davantage, en tout temps, de la puissance maximale, c'est-à-dire de celle que peut effectivement produire le système technique. Les capacités de ce dernier sont dont davantage utilisées. Dès lors, il apparaît qu'une mutualisation des productions énergétiques (Masboungi, 2014, p. 88), entre des activités dont l'évolution des consommations dans le temps se complète dans une certaine mesure, n'est pas neutre sur le plan de la construction du système technique.

Cependant, cette approche se limite à la question de l'évolution de la consommation. Or, une caractéristique importante de bon nombre de productions locales, qu'elles soient renouvelables ou de récupération, est leur intermittence. En d'autres termes, que l'on parle de production solaire ou de récupération d'un effluent de chaleur provenant d'une activité locale qui n'a pas pour objectif de produire de l'énergie, elles ne sont pas disponibles en n'importe quelle quantité et en tout instant pour répondre à la demande. De la même manière que précédemment, il apparaît alors que plus les consommateurs potentiels du flux sont divers, plus il est aisé de trouver un usage à l'énergie produite en chaque instant. Ainsi, le partage des productions locales entre des activités diverses offre *a priori* de plus grandes possibilités d'obtenir une adéquation entre productions et consommations en tout temps qu'une conception autonome. De là, on voit apparaître des relations entre le système énergétique et la forme spatiale d'organisation des villes (Owens, 1986). La mixité d'activités autour du point de production revêt en effet une importance considérable pour l'intérêt technico-économique de ce partage puisqu'elle amène une diversité d'usages dans un périmètre donné. De la même manière, lorsque l'on cherche à récupérer un flux de chaleur perdue, il est nécessaire de lui trouver des consommateurs à proximité du producteur. Le fonctionnement du système énergétique entre alors explicitement en interaction avec l'organisation des activités urbaines dans l'espace.

La boucle finit alors par se boucler puisque tous les échanges, circulations ou partages de flux d'énergie envisagés ici passent par des câbles ou des tuyaux, c'est-à-dire par des infrastructures en réseau, au sens technique du terme. Dès lors, si la mutualisation, l'échange ou encore la récupération de flux au travers de telles infrastructures sont encouragés, on voit bien se dessiner l'hyper-connexion décrite par Fanny Lopez en conclusion de son ouvrage (Lopez, 2014).

Néanmoins, nous n'avons jusqu'ici fait qu'énoncer de manière théorique des principes techniques et fonctionnels, et n'avons donc en rien montré l'importance qu'ils prennent dans la manière de faire ou projeter les systèmes énergétiques urbains. Comme énoncé plus haut, tout l'enjeu de la partie suivante de ce chapitre est de montrer qu'ils prennent bien une épaisseur dans le contexte français actuel où l'on énonce des stratégies de « transition énergétique » à toutes les échelles.

II. Mutualisations et récupérations : des outils pour l'évolution des systèmes énergétiques urbains promus dans les discours institutionnels

L'ensemble des notions présenté dans la section précédente n'est pas nouveau pour les techniciens de l'énergie. Comme nous l'avons montré, le problème de la pointe de consommation, la question du foisonnement ou encore les économies d'envergure, font partie du vocabulaire des industriels des réseaux d'énergie depuis de nombreuses décennies. Cependant, la nouveauté provient ici de leur association à des réalités bien différentes, à des échelles largement réduites et pour gérer d'autres types de productions.

Nous souhaitons montrer dans ce qui suit que ces notions apparaissent, associées à ce nouveau contexte, dans de nombreux documents et éléments de discours récents émanant de diverses institutions dont les positions quant à l'aménagement et à l'énergie ont une influence forte sur le paysage français de ces secteurs. Ce sont ainsi des institutions européennes, des ministères, des agences nationales ou locales ou encore des collectivités qui se saisissent de ces concepts pour construire et orienter des stratégies de transition énergétique. En particulier, en tant que producteurs de réglementations ou financeurs de projets et d'expérimentations, ces acteurs ont la capacité d'orienter, dans une certaine mesure, les actions entreprises dans ces domaines.

Nous abordons ces discours de manière thématique, en nous référant à deux réalités que recouvrent ces nouvelles connexions, qui ressortent des développements précédents : d'un côté, la récupération de la chaleur fatale (A) et, de l'autre, la mutualisation de l'énergie produite localement entre plusieurs bâtiments (B). Les éléments que nous présentons dans ce qui suit ont été mis au jour au travers d'une lecture approfondie des documents récents publiés par les principales institutions françaises jouant un rôle dans l'aménagement ou l'approvisionnement énergétique, à toutes les échelles, ainsi que d'une veille constante en ce domaine, depuis 2013. Nous avons de cette manière pu constater un fort accroissement des

prises de position sur ces sujets durant cette période, comme en attestent les dates pour la plupart très récentes des documents auxquels nous faisons référence dans ce qui suit. Notre objectif n'est pas l'exhaustivité, même si nous avons tenté de l'être en interrogeant directement les acteurs concernés par ces sujets au cours d'entretiens[7], en assistant à des séminaires et rencontres professionnelles et en actualisant aussi fréquemment que possible la veille des documents publiés ou publicisés en ligne. Nous cherchons davantage à montrer que ces concepts font désormais partie du vocabulaire commun des acteurs des systèmes énergétiques urbains. Pour chacun des deux concepts, nous abordons les différentes mentions relevées par échelles emboîtées. Ainsi, partant de discours d'organisations supranationales, nous nous intéressons ensuite à l'échelon national avant d'aborder les différentes initiatives d'échelles locales.

A. La récupération de chaleur fatale entre estimation et réglementation

L'utilisation de flux de chaleur fatale, contrairement à certaines techniques locales de production d'énergie que nous avons évoquées dans ce qui précède, existe de par le monde depuis de nombreuses décennies. Depuis que les industriels utilisent de fortes quantités d'énergies fossiles et rejettent, par suite, de nombreuses calories dans l'air ambiant ou dans les fleuves, cette solution est envisagée. On trouve ainsi de nombreux exemples d'échange de chaleur fatale entre des industriels et des réseaux de chaleur urbains en Suède, dont certains sont anciens (Broberg *et al.*, 2012 ; Grönkvist et Sandberg, 2006)[8].

Pourtant, depuis quelques années, on observe un foisonnement d'initiatives, d'études et de publications des acteurs institutionnels quant à ce potentiel énergétique jugé sous-utilisé. Par exemple, sur un plan qui peut sembler de première importance, une directive européenne datant de 2012[9] contraint certaines activités, sous certaines conditions, à évaluer le potentiel de récupération sur leurs installations. Ladite réglementation est transcrite dans le droit

[7] Nous mettons ici en avant une méthode par allers-retours entre la contextualisation et la construction du sujet et l'analyse du terrain sur laquelle nous reviendrons plus précisément par la suite.

[8] Un témoignage d'un exemple ancien de ce type d'échange énergétique entre différentes activités, cette fois-ci non industrielles, peut également être trouvé dans l'ouvrage « La Fée et la Servante » qui vise à comprendre le rapport de la société française à l'électricité aux 19ème et 20ème siècles : « le Théâtre des Variétés serait également digne d'intérêt par le louable souci de rationalité qui avait animé les concepteurs de l'installation électrique. L'eau de condensation des machines à vapeur, au lieu d'être perdue, réchauffe le bassin d'une piscine proche, où elle permet de gagner plusieurs degrés, exemple précoce d'utilisation rationnelle de l'énergie » (Beltran et Carré, 1991, p. 104).

[9] Paragraphe 5 de l'article 14 de la directive 2012/27/UE, publiée au journal officiel de l'Union Européenne le 14/11/2012

français par un décret en 2014[10]. Toutefois, les conditions de sa mise en application sont si restrictives (il doit s'agir d'un ICPE[11] d'une puissance de plus de 20 MW lors de son implantation ou de travaux de modification ou rénovation importants) que sa portée est faible. Ce sont finalement des actions d'incitation, d'estimation et de communication qui mettent davantage la valorisation de la chaleur fatale sur le devant de la scène.

Ainsi, toujours à l'échelle européenne, la Commission publie pour la première fois en 2016 une stratégie de chauffage et refroidissement et fait de la récupération de la chaleur rejetée par les industries l'un des quatre axes de cette dernière. Elle reprend en particulier l'idée à la base du programme Celsius City (voir plus bas) d'une possibilité de couvrir l'ensemble des besoins des bâtiments grâce à cette chaleur (voir Figure 1.3)[12].

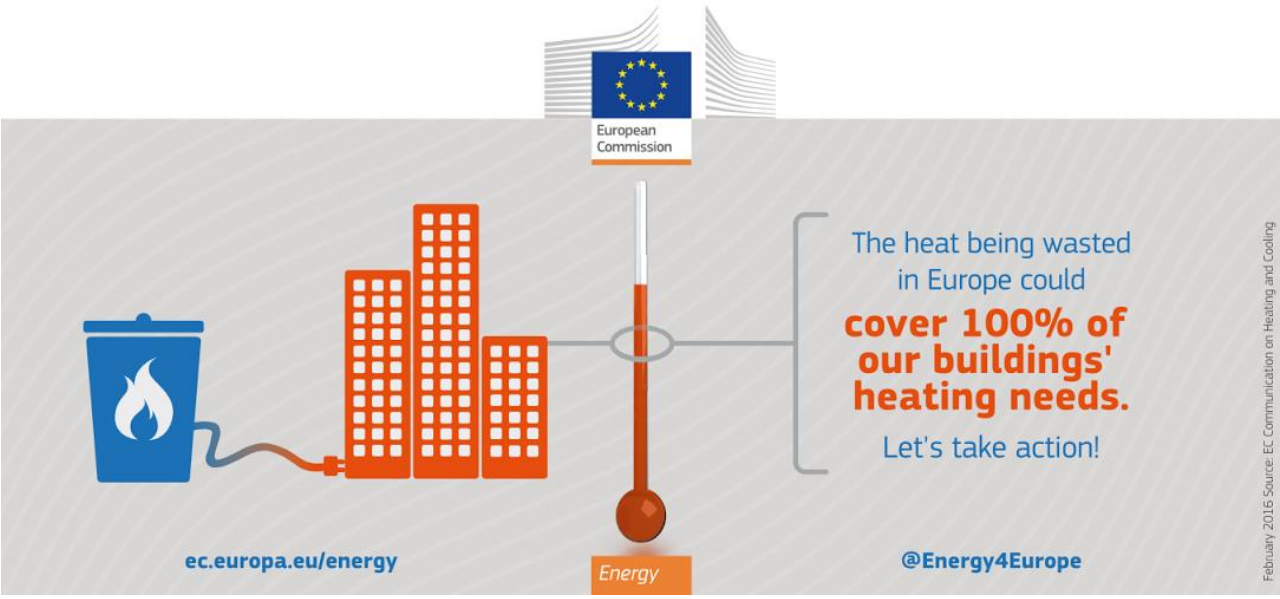


Figure 1.3 : Extrait de l'infographie de la Commission Européenne quant à sa stratégie de chauffage et de refroidissement rendue publique en février 2016

À une échelle internationale, l'UNEP[13], programme environnemental des Nations Unies, pose un regard approfondi sur la question dans un rapport sur les réseaux énergétiques « de quartier » (*district networks*) (UNEP, 2015). À de multiples reprises, il est expliqué que ces réseaux locaux doivent être promus en particulier parce qu'ils permettent la récupération de

[10] Décret n°2014-1363 du 14 novembre 2014 visant à transposer l'article 14.5 de la directive 2012/27/UE relatif au raccordement d'installations productrices d'énergie fatale à des réseaux de chaleur
[11] Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
[12] Nous n'avons pas pu mettre au jour les données sur lesquelles se basent cette affirmation, comme dans le cas du projet Celsius abordé plus bas.
[13] *United Nations Environmental Program*

flux de chaleur diffus pour remplacer l'usage de sources fossiles ou d'électricité d'origine nucléaire pour le chauffage de l'eau ou de l'air intérieur aux bâtiments. De nombreux exemples d'expériences récentes d'un tel mécanisme, dans des villes témoins, sont donnés. Le rapport défend l'idée que les ressources fossiles et l'électricité sont des énergies de haute qualité, qui sont coûteuses et peuvent servir à mener des actions complexes tandis que le chauffage de fluides peut être réalisé au moyen de flux produits par de nombreuses activités de manière résiduelle. Il est ainsi fait référence à la notion d'exergie, sur laquelle nous revenons dans la partie suivante de ce chapitre (UNEP, 2015, p. 21) :

> *"Using energy sources such as fossil fuels or nuclear-powered electricity to provide space heating, hot water or cooling is inefficient and a waste of resources. District energy is the only way to utilize low-exergy, low-grade waste heat or free cooling sources for these end-uses in buildings."*

À l'échelle européenne toujours, le programme Celsius City (Borelli *et al.*, 2015), financé par le programme de recherche de l'Union Européenne, vise la mise en œuvre d'expérimentations touchant à la chaleur dans des villes européennes. Le projet part du principe, sans pour autant jamais expliquer d'où il provient, que l'on pourrait chauffer l'ensemble des bâtiments européens grâce à la chaleur fatale qui est aujourd'hui perdue sur le territoire (Celsius City, 2013) :

> *"The overall aim with the project is to save energy by using more wasted excess heat in Europe. The potential is huge; there is actually enough waste heat unused in Europe to heat the entire European building stock."*

On observe donc un intérêt fort pour les potentialités d'une telle source, que l'on retrouve à l'échelon national. La récente loi de transition énergétique pour une croissance verte[14] favorise en effet la récupération des énergies fatales de plusieurs manières. D'abord, elle dispose que les équipements de récupération doivent être considérés comme des équipements de productions d'énergie renouvelable dans toutes les réglementations qui traitent des seconds, et donc en particulier celles qui sous-tendent leur subventionnement[15]. On constate toutefois que cet élargissement n'a pas été sans débat : comme le montre l'Encadré 1.2, la nature particulière des énergies de récupération, qui s'étendent au-delà de la chaleur fatale et sont peu connues des parlementaires au moment des débats relatifs à la loi, fait naître des ambiguïtés et incompréhensions quant aux répercussions de leur mise sur le même plan que

[14] LOI no 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, publiée au journal officiel de la République Française le 18 août 2015.
[15] Paragraphe 7 de l'article premier

les énergies renouvelables. En outre, la loi pose également la valorisation des énergies fatales comme un des quatre objectifs du plan stratégique national de développement de la chaleur et du froid[16].

Encadré 1.2 – **Les énergies de récupérations sont-elles des énergies renouvelables ? Extraits d'un débat relatif à la Loi de Transition Energétique pour une Croissance Verte à l'Assemblée Nationale**

La Commission est saisie des amendements identiques CS833 de M. Julien Aubert, CS1879 de M. Denis Baupin et CS1339 rectifié de M. Jean-Paul Chanteguet.

M. Julien Aubert. La production d'énergie de récupération doit être prise en compte dans l'ensemble des textes relatifs à la construction et à l'urbanisme, et en particulier dans les réglementations thermiques, énergétiques et environnementales des bâtiments.

Les énergies de récupération sont déjà partiellement intégrées à divers textes de loi, mais la meilleure façon d'harmoniser et de simplifier la prise en compte de ces énergies de récupération consiste à les qualifier comme telles d'énergies renouvelables. Tel est l'objet de l'amendement CS833.

M. Denis Baupin. Pour avoir travaillé sur le territoire de la ville de Paris, notamment pour essayer de mettre en place un plan climat et une politique énergétique, j'ai pu constater à quel point il y avait des potentiels de récupération d'énergies perdues sur le territoire. Nous avons intérêt à nous organiser en la matière. Tel est l'objet de l'amendement CS1879.

M. Jean-Paul Chanteguet. L'amendement CS1339 rectifié est défendu.

Mme Marie-Noëlle Battistel, rapporteure. L'énergie de récupération est l'énergie captée sur l'air extrait et sur les eaux usées. Ces énergies ne sont donc pas renouvelables.

Elles ne peuvent pas compter dans l'atteinte des objectifs relatifs à la part d'énergie renouvelable. L'amendement est donc contraire à la directive. Pour rendre cet amendement applicable, il faudrait proposer des modifications législatives à chaque article concerné au sein des textes relatifs à la construction ou à l'urbanisation.

Défavorable donc.

M. Martial Saddier. L'argumentation de Mme la rapporteure me surprend. Nous proposons un amendement réflexe, c'est-à-dire que la production d'énergie de récupération doit être prise en compte à tout moment, pour toutes les décisions.

Nous venons d'examiner l'article relatif à l'économie circulaire : avec l'eau usée et l'air extrait, on est au cœur du sujet. Pourquoi se priver de la capacité d'optimiser la récupération d'énergies que l'on trouve quotidiennement ?

Mme Marie-Noëlle Battistel, rapporteure. L'énergie de récupération est une énergie de recyclage et non une énergie renouvelable.

M. le président François Brottes. Il faut néanmoins la valoriser.

M. Martial Saddier. Mercredi soir, Mme Royal nous a appelés à l'offensive, à bousculer les habitudes, les corporatismes, à être innovants, à nous inscrire dans le xxie siècle.

J'ai été bouleversé, je n'en ai pas dormi de la nuit… Recyclons l'énergie recyclable et ouvrons une page de l'histoire du Parlement en permettant que l'énergie recyclable devienne une énergie renouvelable !

M. le président François Brottes. L'énergie de récupération vaut aussi pour le sommeil, monsieur Saddier.

[16] Section 4 du paragraphe 1 de l'article 176

M. Julien Aubert. Nous avons eu un long débat sur l'économie circulaire. On nous a expliqué que la croissance verte et l'économie circulaire, c'était un peu la même chose. Cet exemple montre qu'il est bon d'avoir des définitions car il y a bien plusieurs idées : la croissance verte décarbonée, les énergies renouvelables et le concept d'économie circulaire. Il faut éviter le gloubi-boulga sémantique. Ce texte n'est pas un paquet-cadeau et nous pouvons avoir des divergences.
M. le président François Brottes. Vous convenez néanmoins qu'il y a une différence entre ces deux énergies.
M. Julien Aubert. Oui, mais nous aurions pu innover.
Mme Marie-Noëlle Battistel, rapporteure. Rien ne vous empêche d'innover un peu plus tard. C'est juste un problème de définition. Sur le principe, il faut valoriser les énergies de récupération, mais pas avec le statut des énergies renouvelables (EnR)
M. Julien Aubert. Avec cet amendement, la quatrième génération *[de réacteurs nucléaires]* serait devenue une énergie renouvelable. Puisqu'on recycle les déchets, on aurait pu élargir le domaine de la lutte.
M. le président François Brottes. Et je suis sûr que ceux qui défendent les mêmes arguments sur la récupération seront d'accord avec vos propos sur la quatrième génération.
M. Denis Baupin. Je ne céderai pas aux provocations primaires.
[…]
M. le président François Brottes. Ce soir, on a compris qu'il ne faut pas assimiler énergie de récupération et énergie renouvelable. Pour autant, l'énergie de récupération n'est pas assez valorisée. Si l'on veut lui attribuer un certain nombre de modes de reconnaissances dans différents domaines, il faut en mesurer l'impact.
Ne pourriez-vous pas réfléchir, d'ici à l'examen du texte en séance publique, à une écriture de l'amendement qui prévoirait un statut spécifique pour les énergies de récupération et appellerait à un volontarisme et un encouragement en faveur de ces énergies-là dans les bons endroits ?
[…]
M. Denis Baupin. Je suis prêt à rectifier l'amendement afin de montrer qu'il y a un consensus ici pour avancer. Nous serons d'autant plus amenés à le compléter que l'on aura recueilli ce soir un vote favorable.
M. François Brottes. Je comprends que vous souhaitiez, dès ce soir, mettre un pied dans la porte. Je ne crois pas qu'il y ait de désaccord sur la nécessité de mieux cibler les énergies de récupération.
Monsieur Aubert, êtes-vous d'accord pour supprimer l'alinéa 2 de votre amendement CS833 ?
M. Julien Aubert. Je suis neutre car j'ai du mal à en apprécier les conséquences juridiques et financières. J'ai mieux compris, grâce au débat, la différence entre les énergies de récupération et les énergies renouvelables, mais je reste prudent et je retire mon amendement.
[…]
La commission ***adopte*** *l'amendement CS1879 ainsi rectifié et l'amendement CS1339 deuxième rectification.*

Sur le plan cette fois-ci de l'incitation financière plutôt que de la réglementation, l'ADEME, qui subventionne depuis de nombreuses années les réseaux de chaleur *via* le « Fonds Chaleur » (ADEME, 2014c), introduit pour la première année en 2015 une catégorie spécifique aux dispositifs techniques de récupération de chaleur (ADEME, 2015a). L'Agence et ses antennes locales manifestent en outre depuis quelques années un intérêt fort pour cette

ressource : en 2012, l'ADEME du Nord Pas de Calais mène une étude du gisement de chaleur fatale existant sur la région (ADEME Nord Pas de Calais, 2012), en 2015, l'agence nationale publie une étude sur le potentiel de chaleur fatale industrielle sur tout le territoire français (ADEME, 2015c) tandis que l'antenne d'Ile de France analyse plus finement celui de plusieurs types de flux sur la région (ADEME Ile de France, 2015)[17]. La Figure 1.4 présente un exemple type des résultats issus de ces études, qui prennent la forme d'une quantification spatialisée de façon plus ou moins précise.

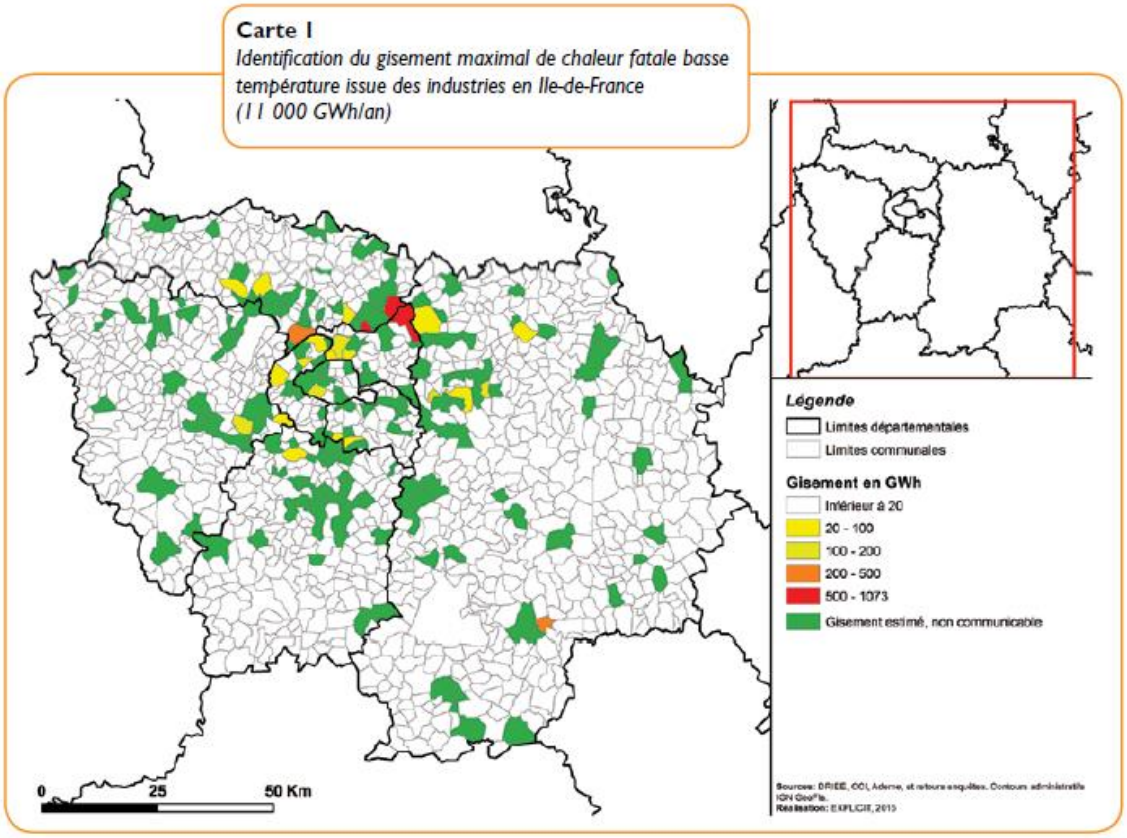


Figure 1.4 : Un exemple de carte produite dans le cadre de l'étude sur le gisement de chaleur fatale en Ile-de-France - Source : Etude des potentiels de production et de valorisation de chaler fatale en Ile-de-France (ADEME Ile de France, 2015, p. 6)

[17] L'étude analyse les potentiels de chaleur fatale rejeté par les industriels, les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM), les *data centers* et les eaux usées.

SRCAE mentionnant le potentiel que représente la récupération d'énergie fatale, sur 26 régions (par ordre alphabétique) :

- Bretagne
- Haute-Normandie
- Île de France
- Nord Pas de Calais
- PACA
- Picardie
- Rhônes-Alpes

Répartition des 51 TWh de gisement de chaleur fatale (> 100°C) par région

Régions	Gisement de chaleur fatale en GWh selon la gamme de température					Total
	100-199°C	200-299°C	300-399°C	400-499°C	>500°C	
Nord-Pas de Calais	2 400	3 030	580	210	1 000	**7 220**
Provence-Alpes-Côte d'Azur	2 690	2 100	720	350	470	**6 330**
Haute-Normandie	2 660	1 330	640	320	160	**5 110**
Rhône-Alpes	1 910	1 100	590	210	150	**3 960**
Lorraine	2 340	860	300	100	80	**3 680**
Aquitaine	1 920	710	80	40	30	**2 780**
Champagne-Ardenne	2 140	340	150	60	60	**2 750**
Pays de la Loire	1 250	680	230	130	10	**2 300**
Picardie	1 590	350	160	50	70	**2 220**
Alsace	1 300	500	230	80	50	**2 160**
Île-de-France	1 080	540	180	70	50	**1 920**
Centre	1 110	430	130	60	30	**1 760**
Bretagne	1 080	270	30	30	10	**1 420**
Poitou-Charentes	740	360	190	40	30	**1 360**
Midi-Pyrénées	710	240	120	40	20	**1 130**
Bourgogne	610	160	100	50	50	**970**
Franche-Comté	650	190	80	30	10	**960**
Auvergne	420	170	120	40	30	**780**
Basse-Normandie	490	180	40	20	10	**740**
Limousin	490	160	50	20	10	**730**
Languedoc-Roussillon	310	210	120	40	30	**710**
Corse	< 10	0	0	0	0	**< 10**
Toutes régions métropolitaines	**27 900**	**13 910**	**4 840**	**1 990**	**2 360**	**51 000**

Figure 1.5 : Comparaison entre les SRCAE mentionnant le potentiel de récupération de chaleur fatale et l'ordre des régions en termes de potentiel de chaleur fatale industrielle selon l'ADEME - Source du tableau de droite : « La chaleur fatale industrielle », ADEME, 2015

Aux échelles régionales, on trouve également des références à ces potentiels dans les SRCAE[18] qui ont en particulier pour ambition d'écrire une stratégie énergétique partagée sur ces territoires. Ainsi, on retrouve des mentions explicites de l'importance de chercher à récupérer ces flux dans ceux du Nord Pas de Calais (Région Nord pas de Calais et Préfet de la région Nord Pas de Calais, 2012) et de l'Île de France (Région Ile de France et Préfet de la région Ile de France, 2012), mais également dans ceux des régions Picardie (Région Picardie et Préfet de la région Picardie, 2012), Haute-Normandie (Région Haute-Normandie et Préfet de la région Haute-Normandie, 2013), Bretagne (Région Bretagne et Préfet de la région Bretagne, 2013), Rhône-Alpes (Région Rhône-Alpes et Préfet de la région Rhône-Alpes,

[18] Schéma Régional Climat Air Energie

2014) et PACA (Région PACA et Préfet de la région PACA, 2013)[19]. Par exemple, on peut lire dans le SRCAE de Haute-Normandie que (p. 57) :

> « Les énergies fatales ou de récupération représentent un potentiel important en Haute-Normandie, du fait de la concentration importante d'industries. […] Les solutions de récupération sont encore peu valorisées actuellement, les installations productrices de chaleur fatale n'étant pas nécessairement celles qui en ont besoin. Une réponse à cette problématique peut être de mutualiser ces offres et besoins. »

Il est d'ailleurs intéressant de constater que, rétrospectivement, ces régions font partie de celles où le potentiel estimé dans l'étude de l'ADEME sur la chaleur fatale industrielle est le plus élevé. Nous le montrons sur la Figure 1.5.

Dans le cas de l'Ile de France, l'approche est plus développée puisqu'il est préconisé d'orienter la localisation des *data centers* pour faciliter la récupération de la chaleur fatale qu'ils émettent (Région Ile de France et Préfet de la région Ile de France, 2012, p. 202)[20]. Le lien entre l'organisation spatiale de la ville et le système énergétique est alors explicitement fait.

On note également des travaux et initiatives sur la question au sein d'organisations créées à différents niveaux spécifiquement pour traiter des questions énergétiques. Ainsi, le pôle d'excellence régionale du Nord Pas de Calais « Energie 2020 », qui a pour mission d'accompagner le développement économique des filières régionales de l'énergie, a fait de la chaleur fatale l'une de ses thématiques de travail[21]. En 2014, l'« incubateur énergie » porté par le pôle est créé pour aider au développement de nouvelles et jeunes entreprises dans le domaine de l'énergie. Un premier appel à projets est lancé en septembre 2015 pour promouvoir l'émergence de solutions innovantes d'efficacité énergétique par l'attribution de subventions. L'un des trois axes retenus est celui de « la récupération et la valorisation d'énergie thermique », c'est-à-dire, en d'autres termes, la récupération de chaleur fatale (Incubateur Energie, 2015).

L'institut de recherche et développement Efficacity, lancé en 2014 et financé à moitié par des entreprises privées et à moitié par le dispositif des investissements d'avenir, a également fait de la chaleur fatale l'une de ses thématiques. Poursuivant l'objectif de développer

[19] Pour arriver à cette liste, nous avons consulté de manière systématique l'ensemble des SRCAE des régions françaises.
[20] Nous revenons plus précisément sur ce point dans l'Encadré 5.4.
[21] Page de présentation des thématiques du pôle consultable en ligne, consultée la dernière fois le 18/01/2016 http://energie2020.fr/energie2020/thematique

l'innovation pour participer à la transition énergétique des territoires urbains, l'un des projets de recherche menés par l'institut consiste à étudier les potentiels de récupération de chaleur existant en ville ainsi que les technologies attenantes (Efficacity, 2015, p. 11) :

> « Le projet […] vise à faire émerger une filière industrielle et d'ingénierie pour la valorisation de cette énergie, en s'assurant qu'elle participe à l'efficacité globale du système urbain. […] [Il] se concentre sur la récupération de la chaleur fatale pour l'alimentation des réseaux de chaleur urbains. Il consiste à étudier les potentiels de récupération les plus prometteurs (usines d'incinération de déchets, eaux usées, data-centers, hôpitaux, etc) au regard des besoins énergétiques d'un territoire donné, et à réfléchir à l'évolution des technologies participant à toute la chaîne de récupération. »

Un second institut fonctionnant sur le même principe mais créé cette fois-ci pour répondre aux enjeux de transition énergétique des industries, aborde également la question. « Paris-Saclay Efficacité Energétique », autrement appelé PS2E, place la valorisation de chaleur perdue par les industries et son échange avec les villes parmi ses quatre ambitions[22] :

> « Première ambition, récupérer la chaleur fatale rejetée par les usines qui, dès qu'elle dépasse les 100°C, devient substituable au gaz ou au fuel. […]. Deuxième ambition, nous cherchons à développer des éco-parcs industriels pour créer des synergies énergétiques entre les zones industrielles et les villes (récupération de chaleur, smart grids à l'échelle locale) […]. »

Un point commun des initiatives évoquées jusque-ici dans cette section est leur focalisation sur les sources concentrées de chaleur fatale et leur distribution par des réseaux de chaleur, comme explicitement indiqué dans la citation précédente. Toutefois, on note également un intérêt pour les sources plus diffuses telles que les serveurs dispersés dans les bureaux, qui peuvent produire un surplus de chaleur au sein du bâtiment qui les abrite, mais qui peut avoir une utilité pour un bâtiment adjacent. C'est par exemple le cas dans le « rapport Peylet » sur la ville durable commandé en 2014 par le Premier Ministre (Peylet, 2014, p. 79) :

> « D'un point de vue technique, la mutualisation peut se traduire dans des services urbains fonctionnant de manière systémique. Il s'agit de soutenir ces technologies solidaires (récupération de chaleur locale, cycles locaux de valorisation des déchets). »

On constate cependant un glissement de vocabulaire : la récupération est évoquée comme un cas particulier de « mutualisation ». Cette notion, de la même manière que celle de

[22] Extrait d'entretien avec le président de l'institut, Pierre-Antoine Grislain, publié en ligne le 3 octobre 2014 sur le site d'EDF L'Observatoire Energies d'Entreprises intitulé « Efficacité énergétique : synergies entre recherche et industrie ». Consulté la dernière fois le 18/01/2016.
http://www.observatoire-energies-entreprises.fr/synergies-energetiques-entre-recherche-et-industrie/

récupération abordée ici, se retrouve dans nombre de documents et initiatives d'acteurs publics ou semi-publics, mais pour rendre compte de systèmes énergétiques différents de celui de la récupération de chaleur fatale, conformément à ce que nous avons montré dans la partie précédente de ce chapitre. Ces occurrences font l'objet de la section suivante.

B. La mutualisation énergétique comme principe d'optimisation

L'idée de partager tous les flux énergétiques produits dans un périmètre donné, qu'ils soient renouvelables ou de récupération, apparaît tout comme la question de la chaleur fatale dans un ensemble de documents de l'ADEME de portée incitative ou informative. Toutefois, l'angle d'entrée n'est pas le même. Alors que la chaleur fatale est principalement abordée, comme nous l'avons vu, en termes de potentiel valorisable, et donc de flux, la notion de mutualisation est le plus souvent associée à une vue d'ensemble qui associe des flux et des systèmes techniques. Ainsi, dans un appel à projet de recherches publié en 2013, un axe est consacré à l' « autoconsommation et mutualisation énergétique » (ADEME, 2013, p. 5). Comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, c'est la problématique de l'intermittence des énergies renouvelables qui est mise en exergue :

> « Le développement des énergies renouvelables et leur intégration au sein des bâtiments imposent la gestion de leur intermittence ayant pour conséquence, par exemple, l'encouragement à l'autoconsommation, la recherche de solutions de stockage et de mutualisation des besoins et des flux d'énergie produits à l'échelle du bâtiment ou entre bâtiments à l'échelle de l'îlot. »

La notion est également utilisée dans d'autres documents de l'agence qui incite par-là les acteurs susceptibles de travailler à l'élaboration de bâtiments au sein desquels des flux d'énergie seraient produits à penser l'usage de ces productions au-delà des limites desdits bâtiments (ADEME, 2008, 2014a, 2015b). Ainsi, par exemple, lors de l'édition 2016 de l'appel à projets de recherche « Energie durable », une section porte sur la « mutualisation énergétique » et met en exergue l'importance d'identifier les verrous juridiques, techniques et organisationnels qui en empêcheraient le développement (ADEME, 2015b, p. 20).

L'idée de tirer parti de diverses complémentarités entre les différentes fonctions d'un îlot ou d'un quartier est alors explicitement développée. Ainsi, le lissage des pointes de consommation apparaît comme un résultat possible de cette mutualisation (ADEME, 2008, p. 9) :

> « Cette mutualisation doit aussi prendre en compte les usages et les besoins selon l'occupation des bâtiments : les horaires et les besoins différents selon la destination du bâtiment (école, logements, bureaux). Autant de possibilités de dégager des marges de manœuvre pour lisser les pointes de consommation énergétique et mieux dimensionner les équipements. »

L'usage de l'expression « marge de manœuvre » sous-tend ici une idée d'optimisation : dans cette conceptualisation, mutualiser, c'est avoir la possibilité de « mieux » utiliser les ressources et les systèmes techniques. Cette vision est précisément reprise dans un document du Plan Bâtiment Durable datant de 2013 qui valorise une approche des systèmes énergétiques décentralisés à l'échelle des îlots, des quartiers ou des territoires et cite explicitement l'ADEME comme référence pour l'usage de la notion de mutualisation (Plan Bâtiment Durable, 2013, p. 18). Cette dernière est même, dans ce cas, associée aux concepts de solidarité et d'équité, sans que ne soit toutefois précisé ce qui est entendu par-là (Plan Bâtiment Durable, 2013, p. 4) :

> « Les enjeux de mutualisation entre les bâtiments au sein d'un quartier, permettant entre autres d'optimiser la production et la consommation d'énergie, ouvrent de nouvelles perspectives sur la ville solidaire et sur les enjeux d'équité territoriale. »

On retrouve cette vision, toujours à l'échelon national, dans un rapport sur l'autoconsommation de l'électricité renouvelable publié en décembre 2014 par la direction de l'énergie et du climat (DGEC) du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE, 2014). Les réflexions développées dans ce dernier portent autant sur les aspects techniques que réglementaires et financiers qui pourraient accompagner le développement de l'autoconsommation ou l'autoproduction de l'électricité renouvelable (voir l'Encadré 1.3 pour la distinction entre les deux concepts). L'intérêt pour la question est justifié, d'une part, par l'expression du désir de certains citoyens de subvenir eux-mêmes à leurs besoins énergétiques et, d'autre part, par une réduction des coûts d'intégration des énergies renouvelables sur le réseau que cela permettrait (MEDDE, 2014, p. 4). Le rapport présente les conclusions et résultats d'un groupe de travail créé pour réfléchir à la problématique, constitué de représentants des pouvoirs publics, de gestionnaires des réseaux, d'acteurs de l'électricité et des énergies renouvelables et de syndicats professionnels.

L'une des conclusions importantes de leurs travaux est la suivante : l'autoconsommation (ou autoproduction) de l'énergie solaire ne doit pas être considérée uniquement à l'échelle du bâtiment. Les auteurs du rapport jugent qu'il est difficile d'obtenir une adéquation entre la production et la consommation à cette échelle, tout particulièrement dans le résidentiel où l'on

consomme davantage le soir, lorsque l'énergie solaire est peu abondante. Ce décalage entraîne des soutirages et versements importants d'énergie sur le réseau, qui tendent à le déstabiliser, ce que vise pourtant à contrer l'autoconsommation. Dès lors, il est expliqué à plusieurs reprises que l'autoconsommation peut également se construire à l'échelle d'un îlot, d'un quartier ou d'un territoire à travers une mutualisation et grâce au foisonnement des besoins (MEDDE, 2014, p. 24) :

> « L'autoconsommation peut se mesurer à l'aval du point de livraison mais également à l'échelle d'un bâtiment, d'un centre commercial, voire d'un quartier : en effet, les déficits de production d'un bâtiment à un instant donné pourraient être compensés par un bâtiment situé à proximité tout comme un excédent de production pourrait être valorisé à proximité et réduire ainsi les contraintes d'injection sur le réseau. »

Cette vision est en fait sous-tendue par les apports de différentes organisations participant au groupe de travail, et tout particulièrement l'association Hespul[23] (2013), le syndicat des énergies renouvelables (SER) et Soler, le groupement français des professionnels du photovoltaïque. L'une comme les autres estiment qu'une autoconsommation pensée à une échelle plus collective que celle du bâtiment permet de trouver plus aisément un usage instantané à la production solaire (MEDDE, 2014, p. 171) :

> « Dans le cadre de l'implantation de systèmes photovoltaïques sur des bâtiments, si le bâtiment porteur du système n'a pas besoin d'électricité à l'instant où le système produit, il y a une forte probabilité qu'un bâtiment voisin aura, lui, besoin d'électricité à ce moment précis. »

Encadré 1.3 – **Autoconsommation et autoproduction : des concepts frères mais pas jumeaux**

L'autoconsommation désigne le fait de consommer ce que l'on produit tandis que l'autoproduction désigne celui de produire ce que l'on consomme. Il paraît donc difficile au premier abord de différencier les deux concepts. En réalité, ils ne sont synonymes que dans le cas où production et consommation sont égales en tout temps. La Figure 1.6 permet de comprendre la différence entre les deux notions : la partie hachurée en rouge est la seule portion d'énergie qui est à la fois produite et consommée par l'usager-producteur. Dès lors, l'autoconsommation correspond à la part que représente cette quantité d'énergie par rapport à la production totale tandis que l'autoproduction correspond à la part qu'elle représente par

[23] On retrouve la vision de l'association dans les annexes du rapport et son influence sur le rapport, dans son ensemble, nous a été confirmée lors d'un entretien avec le responsable du pôle « Réseaux et planification » de l'association (le 02/04/2015).

rapport à la consommation totale. Dans le cas présenté ci-dessous, l'autoconsommation est inférieure à l'autoproduction.

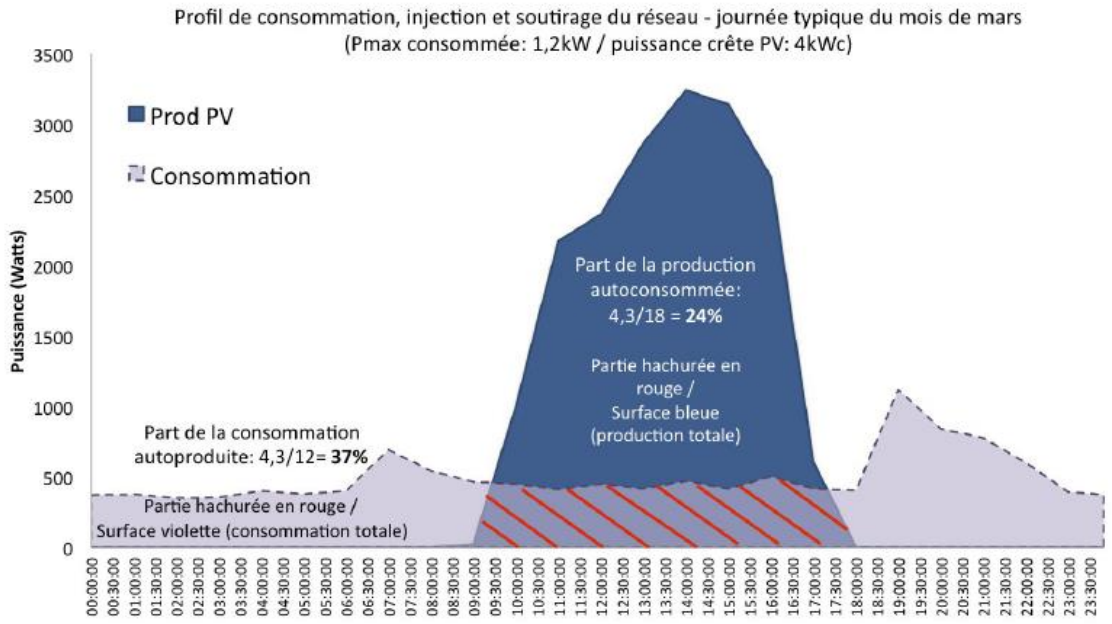


Figure 1.6: Représentation des parties autoconsommée et autoproduite d'une production photovoltaïque - Source : "Note de positionnement sur l'autoconsommation", Hespul, 2013

Un point important de divergence entre les concepts est l'indifférence de l'autoproduction à la pointe de production. En effet, inciter à l'autoproduction revient à favoriser un dimensionnement maximal des installations de production sans tenir compte de la problématique de l'injection du surplus sur le réseau. Au contraire, inciter à l'autoconsommation, revient à favoriser une diminution de ces injections en incitant à un dimensionnement des installations qui soit tel que la pointe de production ne dépasse pas la consommation au moment où elle se produit. Les deux stratégies ont donc des effets bien différents sur les réseaux et sur le développement des énergies décentralisées (Hespul, 2013 ; MEDDE, 2014) : l'idée d'autoconsommation s'oppose à celle de la mutualisation des surplus de production, tandis que celle d'autoproduction la favorise.

Avec une approche centrée cette fois sur l'aménagement et non sur une technique de production particulière, le club Ville-Aménagement aborde également largement la notion de mutualisation dans un ouvrage collectif consacré à l'énergie dans le projet urbain (Masboungi, 2014). La complémentarité entre les courbes de charge des fonctions urbaines est explicitement mentionnée comme une justification de l'intérêt de mutualiser leurs dispositifs de production (Masboungi, 2014, p. 89) :

> « L'élargissement du regard – de l'échelle du bâtiment à celle du territoire – oblige à redéfinir la performance en posant la question : que peut-on partager ? À titre

d'exemple, bureaux et logements ont des courbes de consommation énergétique inverses : la complémentarité de leurs besoins rend la mutualisation de leurs installations particulièrement intéressante. »

Partant toujours d'une approche centrée sur l'urbain, on peut également citer le travail de l'Agence Parisienne d'Urbanisme (l'APUR) qui publie en décembre 2015 un « Plan Local Energie pour la Métropole du Grand Paris », en tant que contribution à l'élaboration d'un futur Plan Climat Air Energie Métropolitain (APUR, 2015). Une partie non négligeable du plan consiste en effet à évaluer les potentiels d'échanges et mutualisations énergétiques en analysant la mixité des îlots sur l'ensemble de la métropole parisienne. La Figure 1.7 présente la manière dont l'exercice est mené dans les limites de la ville de Paris.

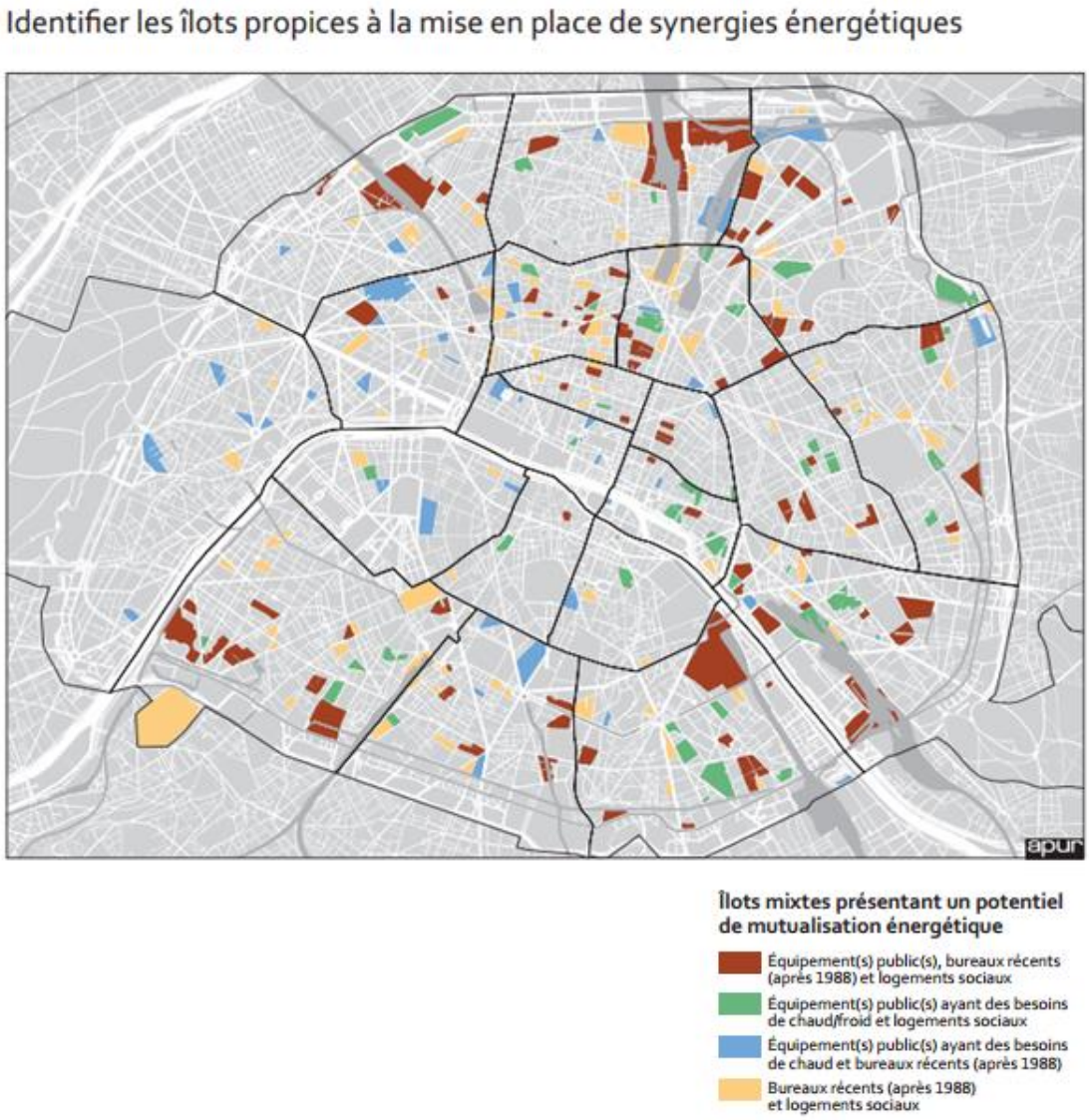


Figure 1.7 : Cartographie d'îlots mixtes au sein de la ville de Paris selon une typologie - Source : "Un Plan Local Energie pour la Métropole du Grand Paris", APUR, 2015, p. 72

Plus récemment encore, mais toujours au même échelon, la ville de Paris lance en janvier 2016 un appel à candidatures sur la « ville de demain » appelé DataCity[24], en partenariat avec NUMA, un « accélérateur d'innovation ». L'objectif poursuivi est de fournir à des projets innovants les moyens d'accélérer leur expérimentation ou leur mise sur le marché. L'appel est constitué de neuf « challenges » relevant de différentes thématiques et l'un d'entre eux porte précisément sur la « mutualisation des flux énergétiques ». L'argumentaire justifiant l'introduction de cette thématique particulière fait référence aux problématiques de l'ancien et de l'énergie positive[25], c'est-à-dire des bâtiments conçus pour que les productions locales d'énergie y soient supérieures aux consommations, le plus souvent selon un bilan annuel :

> « Au sein de la plupart des grandes villes françaises, à l'image de Paris, la construction de logements neufs est limitée par la pression foncière. Les efforts de rationalisation des consommations doivent dès lors se reporter sur l'amélioration de l'existant. L'une des principales opportunités identifiées réside dans le développement des échanges d'énergie entre des bâtiments ou des équipements. Il s'agit donc de changer d'échelle, en passant du bâtiment à énergie positive à l'ilot à énergie positive, ce qui permettrait de multiplier les opportunités et d'optimiser les impacts environnementaux et économiques. »

Ici encore, c'est l'idée d'optimiser le système énergétique qui est défendue. Finalement, à travers l'ensemble de documents et initiatives évoqués dans cette section, nous constatons que ce potentiel d'optimisation est appliqué à plusieurs types de systèmes, dont le fonctionnement pourrait, selon ces discours, être amélioré par la mutualisation : tantôt il est question des flux produits et consommés, tantôt du réseau de distribution et enfin, d'autre fois, des bâtiments. Cette alternance est, à notre sens, révélatrice de la nature de l'objet qu'est la mutualisation énergétique, tout autant que la récupération dont nous avons traité plus haut : elles forment précisément un système dans lequel aucun de ces éléments ne peut être compris sans les autres. Aussi, on ne peut conceptualiser la mutualisation ou la récupération comme une simple circulation de flux, un partage d'infrastructures ou un regroupement d'activités humaines diverses. Nous soutenons au contraire que, pour comprendre leur fonctionnement, il nous faut envisager ces trois systèmes comme un tout qui forme l'objet analysé.

En somme, cette revue des discours institutionnels montre bien l'importance croissante que prennent les possibilités d'échanges locaux d'énergie dans la conceptualisation du futur des

[24] Voir le site internet de l'appel à candidature, consulté la dernière fois le 19/01/2016
http://www.datacity.paris/

[25] Voir la page « mutualisation des flux d'énergie » sur le site internet de l'appel à candidature, consultée la dernière fois le 19/01/2016
http://www.datacity.paris/mutualisation/

systèmes énergétiques urbains. Partant, nous pouvons nous interroger sur l'approche de tels objets dans la littérature académique, notamment dans celle qui s'intéresse à la question du fonctionnement énergétique des villes. Il s'agit ainsi de comprendre comment sont saisis et analysés ou non ces objets, que nous comprenons comme une interaction entre trois sous-systèmes (flux, systèmes techniques, activités et acteurs humains). La partie suivante de ce chapitre est consacrée à ce travail.

III. La ville comme un objet physique : une approche purement matérielle dans la littérature académique de l'urbain

Partant de la problématique du réseau, nous en sommes arrivée à celles, déclinaisons d'un même principe d'échange énergétique, de la mutualisation et de la récupération. Ayant mis au jour différentes déclinaisons de promotion de ces dernières, nous proposons à présent d'analyser la façon dont elles ont été saisies ou non par des travaux de recherche, et plus particulièrement dans des approches scientifiques qui les questionnent explicitement dans une perspective urbaine. Par-là, nous entendons que nous avons mis de côté des travaux qui s'intéressent purement au fonctionnement technique de tels systèmes, de façon décontextualisée. Au contraire, nous avons recherché les mentions explicites du caractère urbain des récupérations ou mutualisations considérées.

Pour mener cette revue de littérature, exploratoire puisque centrée sur un objet empirique plutôt qu'un champ ou une approche, nous avons sondé l'ensemble, large et pluriel, des recherches qui visent à comprendre les liens unissant la ville et l'énergie, avec une approche qui n'oublie la matérialité ni de l'une ni de l'autre. Nous voulons signifier en cela que nous ne nous sommes pas intéressée, dans cette première approche, aux recherches portant exclusivement sur la gouvernance des questions énergétiques à l'échelle urbaine. Nous avons au contraire, sans discrimination *a priori*, sondé les travaux qui partent de la matérialité de la ville, des flux énergétiques qui la traversent ou des infrastructures qui l'irriguent, puisque nous avons en premier lieu caractérisé notre objet d'étude comme une évolution de ces systèmes. Ainsi, bien que les deux questions ne soient bien entendu pas indépendantes, notre première entrée n'est pas celle des recompositions de la gouvernance des questions énergétiques à l'échelle urbaine, mais celle des transformations du système énergétique urbain en lui-même.

De cette manière, nous avons pu constater que les travaux portant, au moins en partie, sur la mutualisation ou la récupération telles que nous les avons définies, sont très peu nombreux et se limitent pour la plupart à une vision réduite au fonctionnement physique de l'urbain. Autrement dit, alors que les tenants et aboutissants du passage du réseau au post-réseau sont documentés dans une vision plurielle de la ville, comme système à la fois social et matériel, ceux de l'émergence de ces liens ne sont traités que dans une approche de cette dernière comme un système physique qui passe sous silence le fait que l'urbain soit sans cesse mû par des relations entre acteurs humains. Il s'agit précisément de ce que nous souhaitons montrer dans la suite de cette thèse.

En outre, les approches mises au jour par notre revue de littérature sont pour la plupart relativement récentes et ne constituent aucunement des champs de recherche bien déterminés. Par ailleurs, il n'existe pas toujours de liens explicites entre eux, qu'ils soient théoriques ou conceptuels, si bien que nous les présentons sous forme de trois ensembles thématiques, allant du plus homogène et clairement lié à une filiation académique au plus diffus. Les premiers, qui font l'objet d'une première section, s'intéressent aux circulations de flux énergétiques dans les espaces urbains (A). Les seconds considèrent la ville à travers les activités qu'elle regroupe et des productions et consommations d'énergie qui en découlent, comme le montre une deuxième section (B). Dans une troisième section, sont discutés des travaux qui portent sur les réseaux de distribution d'énergie (C). Enfin, dans une dernière section, nous faisons une courte synthèse de l'ensemble et la discutons au regard de l'ambition de ce travail (D).

A. Le système urbain comme un système énergétique : une approche par les flux

Le premier ensemble de travaux que nous considérons se rejoint autour de l'idée de considérer la ville comme un système support de flux d'énergie (et de matière). Il se place ainsi dans une lignée d'approches clairement identifiée, apparue dès la fin des années 1960 alors que la méthode d'analyse des flux de matière (*material flow analysis*) commençait à se développer au sein des travaux d'écologie (Barles, 2007). Aussi bien Abel Wolman (1965), qu'Eugène Odum (1997), l'un des pionniers de l'écologie en tant que discipline scientifique, s'intéressent aux systèmes urbains. Toutefois, leur analyse n'est pas réellement centrée sur la ville, qui n'y est considérée que comme un attracteur de matières qu'elle transforme en déchets jugés nuisibles pour l'environnement (Barles, 2007). Il est donc relativement complexe d'en tirer des conclusions sur le fonctionnement des systèmes urbains. En outre,

bien que les travaux plus récents qui s'inscrivent dans cette mouvance se soient départis de cette vision, ils ne s'intéressent pas spécifiquement aux flux d'énergie dits techniques (voir Encadré 1.4), liés aux usages de l'électricité, de la chaleur ou du froid. Leur approche consiste à analyser des flux de matière et dans certains cas à les convertir en grandeur énergétique (Kennedy, Cuddihy et Engel-Yan, 2007).

Encadré 1.4 – **L'énergie technique, l'énergie biologique et la récupération**

Parler de l'énergie n'est jamais aisé car elle n'est pas une substance mais une grandeur physique qui peut qualifier l'état de systèmes bien différents. Lorsque l'on parle de l'énergie dans le champ de l'aménagement, on fait en général référence aux flux et aux systèmes techniques qui amènent de l'électricité ou de la chaleur au sein des bâtiments et équipements urbains. On évoque ainsi l'énergie en parallèle de l'eau ou des déchets, comme fondement matériel du fonctionnement urbain, le plus souvent sans prendre en compte les différents vecteurs, matériels quant à eux, par laquelle elle est amenée.

Toutefois, les travaux du champ de l'écologie urbaine montrent que le recours à la notion d'énergie pour qualifier uniquement les flux de gaz, d'électricité ou d'eau chaude qui abreuvent les villes peut être ambigu. En effet, des travaux initiateurs (Odum, 1997 ; Wolman, 1965) et plus récents (Huang, Zheng et Hu, 2015 ; Huang et Chen, 2005 ; Huang, Lai et Lee, 2001 ; Salat et Bourdic, 2011) du champ utilisent l'énergie et des concepts associés pour décrire la ville en elle-même à la manière d'un écosystème. Ils visent ainsi à quantifier chaque flux de matière qui contribue à la construction et au fonctionnement de la ville et de ses habitants en termes énergétiques.

Cette conception large met au jour la nécessité de distinguer des flux d'énergie propres à des processus différents. Sans être exhaustive, nous pouvons en citer deux qui, nous le verrons, ont un lien avec les notions que nous avons développées dans ce chapitre, selon la distinction d'Eunye Kim (2013, p. 57). En premier lieu, l'énergie dite biologique est celle qui est contenue dans toute la biomasse, qui comprend donc également les humains vivant en ville. Les flux d'énergie biologique qui traversent la ville sont ainsi largement liés aux quantités d'aliments qui entrent et qui sont ensuite transformés, à plus ou moins long terme, en déchets organiques et en flux de chaleur. En second lieu, l'énergie technique correspond à celle qui permet le fonctionnement des objets techniques et le maintien des températures au sein des bâtiments. Elle recouvre ainsi la notion d'énergie telle qu'elle est entendue lorsque l'on parle d'aménagement urbain.

Ici encore, on constate que la compréhension de la notion d'énergie n'est pas simple puisqu'une partie de l'énergie technique peut servir à la production d'une énergie biologique et inversement, le principe même de l'énergie étant de circuler. Toutefois, la distinction nous semble opérante dans le cadre de cette thèse.

En effet, lorsque nous parlons d'énergie dans ce travail, c'est bien à l'énergie technique que nous faisons référence, ôtant de l'équation celle qui est nécessaire aux transports. La précision est importante car la mutualisation et la récupération peuvent être appliquées autant à l'énergie technique qu'à l'énergie biologique. Ainsi, lorsqu'il est proposé de produire de l'énergie par la méthanisation ou l'incinération de déchets organiques ou de récupérer la chaleur contenue dans l'eau des stations d'épuration pour chauffer des bâtiments[26], on envisage en fait de transformer une énergie biologique en énergie technique. Au contraire, la mutualisation ou la récupération que nous avons envisagées jusqu'ici sont bien celles de flux eux-mêmes techniques ou issus d'un flux technique.

La distinction n'est pas sans incidence car les principes qui fondent l'existence de ces flux sont fort différents et leur récupération est ainsi associée à des enjeux également différents. Dans le cas de l'énergie biologique, la possibilité de récupération est liée au fonctionnement du système socioécologique qui produit des déchets tandis que dans le cas de l'énergie technique, elle est liée à l'efficacité des systèmes techniques en eux-mêmes, qui est limitée par des principes physiques. Ainsi, par exemple, la méthanisation des déchets alimentaires est en partie rendue possible par le « gaspillage alimentaire », qui touche donc à des processus en premier lieu socioécologiques, tandis que la production de chaleur par les *data centers* est liée à leur fonctionnement technique intrinsèque et au principe physique qui veut que l'électricité se transforme en chaleur. Sans développer plus avant, puisqu'il ne s'agit pas de l'objet de cette thèse, on comprend donc que l'émergence ou la disparition de ces flux recouvre des réalités sociales, économiques et organisationnelles largement disjointes.

Cependant, en parallèle de ces développements, les concepts de l'écologie, dérivés de la thermodynamique, ont été mobilisés dans l'objectif de mieux comprendre les retombées environnementales des activités industrielles. Cette approche a donné lieu au courant de recherche qui prend le nom d'écologie industrielle et que l'on peut définir comme étant l'analyse des métabolismes industriels, eux-mêmes définis par Suren Erkman (1997) comme l'ensemble des flux de matière et d'énergie prenant place dans un système industriel[27]. L'écologie industrielle a donc le même objectif que l'écologie urbaine[28] mais elle se focalise sur un système anthropique différent : l'industrie plutôt que l'urbain.

C'est précisément de ce dernier courant de recherche, sur lequel nous reviendrons bien plus longuement dans cette thèse, que se réclament les travaux qui touchent, de près ou de loin, aux circulations d'énergie que nous proposons de saisir. L'utilisation des principes de

[26] Notons qu'une partie de la chaleur contenue dans les eaux usées est issue de l'énergie technique puisqu'elle provient du chauffage de l'eau sanitaire.

[27] *"The whole of the materials and energy flows going through the industrial system."* (Erkman, 1997, p. 1)

[28] Dans sa dimension naturaliste et non sociologique. En d'autres termes nous faisons référence ici aux travaux développés dans la lignée de ceux d'Abel Wolman et Eugene Odum évoqués précédemment et non à ceux relevant de la conception de l'écologie urbaine de l'Ecole de Chicago (Barles, 2010a).

l'écologie industrielle pour comprendre l'objet ville peut paraître surprenant, d'autant plus que, comme le rappelle Xuemei Bai, les individus qui s'intéressent à l'industrie et ceux qui s'intéressent aux villes n'appartiennent pas aux mêmes groupes professionnels (Bai, 2007). Il relève toutefois que deux raisons justifient de tels rapprochements : les similarités méthodologiques d'une part et le rapprochement spatial de certaines activités industrielles avec les systèmes urbains d'autre part[29].

Et en effet, de tels liens ont été exploités. Par exemple *l'Urban Morphology Institute*, qui produit des recherches sur l'organisation spatiale des villes, mobilise dans la plupart de ses approches des concepts de l'écologie industrielle. Entre autres travaux relevant de la thermodynamique dans sa dimension plus théorique, ils revendiquent en effet une filiation avec les travaux de James Kay (2002) sur l'écologie industrielle (Salat et Bourdic, 2011, 2012). Sur le plan conceptuel, la ville est considérée comme un système thermodynamique (Salat et Bourdic, 2011, p. 2)[30] dont l'efficacité pourrait être évaluée grâce à la notion d'entropie, bien que les auteurs estiment qu'une telle approche soit inefficace pour deux raisons : le système urbain est trop complexe pour être analysé pertinemment comme un système thermodynamique et la notion d'entropie est trop théorique pour qu'en soient tirées des conclusions simples pour l'action publique. L'objectif de leurs travaux est donc de développer des indicateurs dérivés de l'analyse thermodynamique, mais qui permettent d'évaluer l'efficacité d'une structure urbaine en termes énergétiques (Salat et Bourdic, 2011, p. 3).

La notion d'efficacité d'un système sur le plan énergétique est liée à un autre concept repris par Serge Salat et Loeiz Bourdic, ainsi que par d'autres auteurs dont nous évoquons les travaux dans ce qui suit : l'exergie (van den Dobbelsteen *et al.*, 2007 ; Salat et Bourdic, 2011, p. 4), créée pour décrire la qualité d'une énergie. On peut en effet, par exemple, comptabiliser des quantités d'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité avec les mêmes grandeurs. En d'autres termes, la même quantité d'énergie peut exister sous ces deux formes. Pour autant, il n'est pas possible de réaliser la même *quantité de travail*[31] avec ces deux mêmes quantités d'énergie : l'énergie électrique permet de réaliser davantage de travail que l'énergie calorifique, ce que l'on peut comprendre de manière intuitive puisque l'on sait qu'il est aisé

[29] Nous revenons plus précisément sur les filiations entre ces deux champs dans le chapitre suivant.
[30] *"Following Kay's approach, cities could be described as self-organised hierarchical organism: they are open dissipative systems, far from equilibrium, non linear. As such, analyse cities with thermodynamics only is no easy task."*
[31] Ici au sens physique du terme.

de transformer de l'électricité en chaleur[32], tandis qu'il est plus complexe de transformer de la chaleur en électricité[33]. En somme, l'électricité est une énergie de meilleure qualité que la chaleur. L'exergie a précisément pour fonction de quantifier cette différence de qualité.

Dans les travaux de Serge Salat et Loeiz Bourdic, la notion n'est pas utilisée directement pour analyser les systèmes techniques énergétiques urbains mais pour évaluer l'efficacité du système urbain, et en particulier sa résilience, en faisant de l'exergie un indicateur d'ordre (Salat et Bourdic, 2011, p. 4). Toutefois, outre certaines considérations autour de l'organisation des réseaux viaires ou des ilots (Salat et Bourdic, 2012), leurs travaux à visée académique restent majoritairement conceptuels. C'est finalement dans un rapport produit pour la Caisse des Dépôts et Consignations qu'ils expliquent la relation de ces principes avec la conception de la ville (Salat, Bourdic et Labbe, 2013, p. 6) : « les stratégies de planification éxergétique […] consistent à intégrer la planification des usages du foncier et la planification énergétique pour réaliser notamment des cascades d'utilisation de la chaleur et des échanges thermiques entre bâtiments ». On retrouve également lié à ces possibilités d'échanges, celle de mixité et de mutualisation (Salat, Bourdic et Labbe, 2013, p. 64) : « la mixité à l'échelle de la ville, du quartier et de l'îlot crée des synergies qui réduisent la demande énergétique […]. La présence de différents types de bâtiments et d'usages situés dans un îlot urbain donné conduit à une variété de courbes de charge de l'énergie […]. Une diversité de profils de charge permet la mise en œuvre d'approches de synergie fondées sur l'échange, le recyclage et la réutilisation des flux de matières et d'énergie entre les différents usages ». En définitive, les auteurs promeuvent une planification du territoire qui permette la mutualisation et la récupération d'énergie.

La notion d'exergie est mobilisée dans d'autres travaux, néerlandais cette fois-ci, qui touchent également à des questions de planification. Au premier plan, la méthode appelée *Energy Potential Mapping* développée par Andy van den Dobbelsteen *et al.* s'appuie sur l'usage des méthodes d'écologie industrielle au service de l'urbain (van den Dobbelsteen *et al.*, 2007 ; van den Dobbelsteen, Broersma et Stremke, 2011). Comme son nom l'indique, la méthode consiste à évaluer les potentiels de production d'énergie de manière spatialisée afin de prévoir l'aménagement urbain en conséquence. Elle part du postulat que les potentiels de production dépendent des conditions climatiques, de la typologie de paysage et d'usage des sols, des caractéristiques naturelles, culturelles et techniques locales et des points de productions

[32] L'effet Joule dans les câbles électriques en est une illustration.
[33] Les machineries des centrales thermiques en sont la preuve.

d'énergie déjà existants (van den Dobbelsteen *et al.*, 2007, p. 3). Ils proposent ensuite une démarche d'aménagement de l'espace qui intègre ces potentialités énergétiques en tenant compte de la qualité de l'énergie produite en chaque point de l'espace pour la faire coïncider avec les besoins : on retrouve ainsi la notion d'exergie.

L'approche défendue par les développeurs de l'*Energy Potential Mapping* emprunte alors à nouveau à l'écologie industrielle en considérant, comme précédemment, la notion de cascade de chaleur[34] (van den Dobbelsteen *et al.*, 2007, p. 6) : par exemple, certaines activités industrielles ont besoin de fortes températures et rejettent des températures moins importantes, tandis que les activités résidentielles se contentent de plus faibles. Leur méthode vise donc à organiser les activités dans l'espace de manière à pouvoir construire des cascades d'usage de l'énergie : les auteurs promeuvent une organisation du territoire urbain qui serve des objectifs de récupération de chaleur. De même, plus récemment, Wouter Leduc et Ferry Van Kann s'appuient sur les concepts d'*urban energy harvesting* (littéralement récolte énergétique urbaine) et d'exergie pour produire les mêmes conclusions (Leduc et Van Kann, 2013) : des circulations d'énergie doivent être organisées entre les activités urbaines et la mixité d'activités doit être promues en ce sens. Enfin, Han Vandevyvere et Sven Stremke (2012) mettent en exergue l'intérêt de l'usage de l'exergie plutôt que de l'énergie dans la conception et la planification urbaines en prenant pour exemple la différence importante entre la température à laquelle sont brûlés les gaz dans les chaudières individuelles (1000°C) et la température que cette combustion sert à produire (20°C) (Vandevyvere et Stremke, 2012, p. 1312). Ainsi, de leur point de vue, l'organisation spatiale de la ville basée sur ce principe thermodynamique permet d'envisager la circulation des flux thermiques en fonction de leur température, par des échanges entre activités, ce qui contribue à l'efficacité énergétique de l'urbain.

Ce petit ensemble de travaux peut en définitive aisément trouver un dénominateur commun : tous, dans la filiation de l'écologie industrielle, proposent l'application de concepts de la thermodynamique à la ville, dans l'objectif de promouvoir une planification urbaine qui permette des échanges de flux entre activités par la mutualisation ou la récupération d'énergie. Ils ont ainsi une visée applicative forte et considèrent les objets que nous discutons dans cette thèse comme une manière d'améliorer l'efficacité énergétique de la ville, conceptualisée comme un système de flux. Pour autant, autant les réseaux support de ces flux

[34] *Heat cascade* dans le texte.

que le cadre bâti sont absents de cette conception. D'autres travaux, tout aussi peu nombreux toutefois, mettent au contraire ces objets au cœur de leur approche.

B. Du bâtiment à la ville : une approche par les activités

Le second ensemble de travaux que nous avons mis au jour se trouve aux marges d'un champ de recherche relativement étendu de l'ingénierie : l'énergétique des bâtiments, qui vise à évaluer les flux énergétiques qui traversent un bâtiment en fonction de sa forme, des matériaux qui composent ses parois et des installations techniques qu'il abrite (Morel et Gnansounou, 2009). Le domaine, dont les assises théoriques sont physiques, s'est constitué autour du développement de modèles de simulation du comportement thermique et plus largement énergétique d'un bâtiment, afin d'en optimiser la conception (Ratti, Baker et Steemers, 2005, p. 762).

Face à cette entrée, des critiques émergent autour de ces modèles, au-delà des simples techniques de simulation qui y sont mises en œuvre. En effet, la question de l'intégration du bâtiment dans son environnement, en particulier urbain, est jugée insuffisamment prise en compte. Carlo Ratti *et al.* en font par exemple le constat (Ratti, Baker et Steemers, 2005, p. 762), puis Mindjid Maïzia (2007, p. 79). La principale critique porte sur l'absence de considérations de la morphologie urbaine environnante, qui aurait un impact important sur le fonctionnement thermique d'un bâtiment. Ainsi, il s'agit à nouveau de se concentrer sur le cadre bâti de la ville en lui-même.

Toutefois, partant également du rapport du bâtiment à son environnement, quelques travaux récents s'interrogent au contraire sur ce qui se passe au sein de ce cadre, c'est-à-dire sur les activités humaines dont la ville est le lieu. À partir du constat du développement des techniques décentralisées de production d'énergie, ils conceptualisent la ville comme un lieu potentiel de production d'énergie autant que de consommation (Maïzia, 2008). Le modèle prédominant de production centralisée, qui correspond à une mutualisation totale des besoins énergétiques sur l'étendue du réseau de transport et distribution, est alors mis en question puisque des systèmes de production individuels voient le jour.

À partir de ces postulats, Mindjid Maïzia soutient l'idée que la mutualisation des besoins d'énergie à des échelles plus locales peut contrer certaines contreparties négatives de

l'individualisation des dispositifs de production[35] tout en ne contraignant pas à un système totalement centralisé (Maïzia, 2006, 2008). Il cherche ainsi à montrer qu'entre la centralisation et l'individualisation totale, il existe de nombreuses configurations locales de « mini-réseaux » qui peuvent s'avérer plus efficace en termes d'usage des ressources énergétiques (Maïzia, 2006).

La question du rapport entre les différents éléments du système urbain est donc posée, mais pas celle des activités qui se déroulent en leur sein. En d'autres termes, chaque partie du système est considéré comme étant identique à sa voisine. Dans d'autres travaux, le même auteur analyse toutefois les potentialités qui ressortent d'une variation temporelle des besoins d'énergie au travers de la mutualisation (Maïzia, 2008, p. 105) : la mutualisation de besoins énergétiques matérialisés par des courbes de charge décalées dans le temps permet de diminuer les pics de consommation et un usage plus efficace des installations de production. Dans ce cadre, l'approche est essentiellement théorique et vise simplement à montrer l'effet de la mutualisation de courbes de charge simplifiées[36] décalées dans le temps.

On retrouve alors la question de l'organisation spatiale des activités urbaines en filigrane. En effet, le décalage temporel des besoins énergétiques au sein de bâtiments différents implique que des activités différentes y soient pratiquées aux mêmes instants. L'auteur évoque d'ailleurs cette potentialité dans ses conclusions (Maïzia, 2008, p. 145)[37], mais ne l'introduit pas dans sa formalisation du système urbain. Au contraire, Anne-Françoise Marique *et al.* posent le problème en ces termes en proposant d'étendre le concept de *zero-energy building*, c'est-à-dire de bâtiment produisant autant d'énergie qu'il n'en consomme, à l'échelle du quartier. Elles expliquent alors que la mutualisation énergétique entre des activités diverses à cette échelle est une façon d'améliorer les possibilités de parvenir à un tel objectif (Marique, Penders et Reiter, 2013 ; Marique et Reiter, 2014). Jean-Marie Alessandrini suit un raisonnement similaire, expliquant que l'urbain, par ses caractéristiques de densité et de diversité, permet de tirer parti de mutualisations de besoins différents (Alessandrini, 2013). Il en fait le constat en s'appuyant sur des exemples d'usages de rejets de chaleur de certaines activités pour le chauffage de bâtiments résidentiels ou de bureaux, qui font par ailleurs écho

[35] Par exemple l'inégalité des sites en termes de potentiel de production et les difficultés de stockage ou le caractère intermittent de cette production.
[36] Ce sont des sinusoïdes.
[37] « Une autre idée simple est de mélanger les fonctions urbaines. Les besoins énergétiques du résidentiel et du tertiaire étant complémentaires, il suffirait d'instaurer un équilibre entre les surfaces à chauffer des logements et celles des commerces et bureaux pour lisser, à l'échelle locale, la demande énergétique et par conséquent la production plus ou moins centralisée de la chaleur » (Maïzia, 2008, p. 145).

aux concepts présentés dans la section précédente. On retrouve le même type de considération chez Andi van den Dobbelsteen et Sebastiaan de Wilde qui évoquent la surproduction de chaleur par rapport à leurs besoins des bâtiments de bureaux modernes qui pourrait être récupérée pour les habitations (van den Dobbelsteen et de Wilde, 2004, p. 84).

Dans une perspective cette fois-ci de quantification, une recherche réalisée dans le cadre du PREBAT[38] s'intéresse à la même question (Laurent, 2006). Alors que son objectif affiché est prospectiviste quant aux systèmes énergétiques des bâtiments résidentiels, elle touche finalement aux potentiels qui pourraient être mobilisés à l'échelle d'un ilot ou d'un quartier grâce aux complémentarités des besoins de bâtiments à usages différents. Les auteurs analysent ainsi autant la pertinence de la mutualisation des productions que celle de la récupération de flux thermiques. Ils concluent de leur étude que pour que de telles complémentarités puissent être exploitées, l'aménagement du quartier doit être pensé en conséquence, les questions énergétiques devant être intégrées en amont à la réflexion.

Contrairement aux travaux présentés dans la section précédente, il est plus difficile de mettre au jour des filiations entre ceux que nous avons abordés ici. Tout au plus peut-on trouver une similarité dans les conclusions sous forme de critique de l'approche de l'efficacité énergétique à l'échelle du bâtiment qu'ils tirent de leurs recherches : la ville abrite une diversité importante d'activités dont il faut tirer parti par l'échange de flux d'énergie entre elles. Mutualisations et récupérations sont de nouveau perçues comme un vecteur d'efficacité énergétique du système urbain, conçu avant tout comme une agrégation de bâtiments auxquels sont assignées des fonctions typifiées (logements, bureaux, commerces …) et, lorsqu'une quantification est envisagée, des consommations d'énergie standardisées. On relève en outre un point commun important avec les travaux discutés dans la section précédente : les conclusions de ces travaux sont des recommandations pour l'action publique, qui sont centrées sur la planification urbaine qui devrait favoriser une mixité fonctionnelle retenue comme condition nécessaire à la mise en œuvre de ces systèmes.

C. Distribution d'énergie et organisation des activités : une approche par le réseau

Le troisième et dernier ensemble de travaux révélé par notre revue de littérature s'intéresse également à l'efficacité d'un système, toutefois d'un autre ordre. Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce chapitre, l'efficacité économique de toute infrastructure en

[38] Programme national de Recherche sur l'Energie dans les BÂTiments

réseau dépend en particulier de la diversité des courbes temporelles de consommation des usagers qui s'y connectent. Si cet état de fait est peu discuté dans la littérature académique pour les grands réseaux centralisés qui desservent des grandes régions regroupant de fait, par leur échelle, une grande diversité d'activités, elle l'est davantage pour les petits réseaux, et notamment ceux de chaleur.

Les approches développées dans cette optique s'appuient en général sur la notion de mixité fonctionnelle ou mixité d'usage des sols. Susan Owens, dans un ouvrage de référence sur les relations entre la ville et l'énergie, fait déjà le constat qu'une mixité d'usage des sols permet de réduire les coûts d'un réseau de distribution (Owens, 1986, p. 54)[39]. Mais de manière plus particulière, deux systèmes techniques spécifiques sous-tendent son intérêt pour de telles notions : les réseaux de chaleur et la cogénération[40]. Elle affirme en effet que si les centres villes sont plus à même d'être fournis en chaleur et électricité par un système de cogénération, c'est non seulement parce qu'on y trouve des densités suffisantes[41], mais aussi parce que ces densités sont en général associées à une mixité d'usage des sols qui permet de produire des courbes de charge agrégées plus étendues, entraînant un usage des centrales thermiques et du réseau de distribution plus proche de leur capacité réelle. Le même type de considérations est exposé par Koen Steemers lorsqu'il explique que pour que l'électricité et la chaleur produites par de tels systèmes soient utilisées de manière optimale, la demande d'énergie doit être mixte (Steemers, 2003, p. 5). Dans les deux cas, ces développements restent qualitatifs. Toutefois, une analyse ayant quant à elle un objectif purement quantitatif est menée par Tin Tai Chow *et al.*, cette fois-ci pour ce qui concerne les réseaux de froid (Chow, Chan et Song, 2004). Les auteurs, partant des mêmes constats que les précédents, cherchent en effet à calculer le meilleur partage des surfaces entre diverses activités au sein d'un quartier fictif qui serait desservi par un réseau.

Plus récemment, une autre approche quantitative de la question, à laquelle nous avons déjà fait référence, est menée par le CETE de l'Ouest (2012). L'étude en question s'intéresse à l'influence de la densité et de la mixité fonctionnelle, reliées au concept de foisonnement, sur

[39] *"For example, it can be shown that for cities exhibiting a pattern of radially decreasing demand, network costs would be reduced to 60% of those for the less realistic 'uniform' city assumed in the original models, and similar reductions result from assuming a mix of land uses rather than a wholly residential area."* (Owens, 1986, p. 54)

[40] La cogénération désigne le fait de produire de l'électricité et de la chaleur au travers d'un même système technique.

[41] L'efficacité, et même la rentabilité d'un réseau de chaleur sont fortement liées à la densité thermique du quartier qu'il fournit, elle-même liée à la densité d'usage du sol (Direction Régionale et Interdépartementale de l'Equipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France, 2012).

la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur. Les auteurs estiment alors que, du point de vue du réseau de chaleur, le foisonnement, et incidemment la mutualisation de besoins divers matérialisés par des courbes de charge différentes, offrent deux avantages (CETE de l'Ouest, 2012, p. 9-10) : ils permettent, d'une part, de réduire la puissance totale installée et, d'autre part, de lisser les courbes de charge et donc d'améliorer l'usage du système de production et de distribution. Si elles sont traduites dans les termes d'un énergéticien au travers de notions qu'il est possible de convertir en grandeurs chiffrées, les notions qui sont avancées sont donc toutefois proches de celles qui sont exposées par Susan Owens (1986). On tourne en effet de manière générale autour des concepts de lissage des courbes de charge et d'écrêtage des pics de besoin.

A notre sens, il est intéressant de constater que la méthodologie mise en œuvre dans cette étude diffère assez peu de celle mobilisée dans la recherche sur les systèmes énergétiques des bâtiments que nous avons présentée dans la section précédente (Laurent, 2006). Ce sont en effet les mêmes indicateurs énergétiques qui sont évalués : le pic de demande et l'aplanissement de la courbe de charge. Ces deux études abordent pourtant la question par des objets différents : le bâtiment ou les réseaux. L'évaluation des potentiels est d'ailleurs elle-même réalisée de manière différente. Dans le premier cas, on s'intéresse à la demande tandis que dans le second on prend en compte le système de production et de distribution d'énergie en lui-même. De manière plus générale, bien que les systèmes considérés au départ soient différents, les conclusions sont les mêmes que dans les sections précédentes. Encore une fois, on montre que la mixité d'activités bénéficie au fonctionnement des systèmes énergétiques urbains.

D. Des approches diverses pour une conclusion théorique et des recommandations communes

En somme, malgré des points d'entrée différents vers la récupération et la mutualisation d'énergie, les travaux relevés au cours de notre revue de littérature ont de nombreux points communs. Tout d'abord, les résultats de leurs recherches prennent le plus souvent la forme de recommandations aux acteurs des conceptions et productions urbaines et font ainsi fortement écho aux conceptions institutionnelles qui apparaissent dans la partie précédente. Un consensus se forme en particulier autour de l'importance de la mixité fonctionnelle à différentes échelles et l'on perçoit ainsi le rôle central de l'espace dans la mise en œuvre et le fonctionnement des échanges énergétiques considérés.

Toutefois, l'urbain y est simplement considéré comme un espace dans lequel sont répartis de manière hétérogène des points de production et de consommation d'énergie plutôt que comme un espace socialement construit. Les recommandations auxquelles parviennent ces travaux ne se positionnent donc pas face à l'ampleur des transformations que les évolutions qu'ils préconisent impliquent pour les acteurs qui construisent et vivent la ville. En somme, alors que le passage du réseau au post-réseau est pensé, comme nous l'avons vu dans la première partie, en termes de relations entre la technique et les sociétés urbaines, la question des échanges énergétiques alternatifs que sont la récupération et la mutualisation locale n'apparaît dans la littérature existante que sous la forme d'une relation technique-espace.

Ainsi, les enjeux, entre autres, de coordination d'acteurs, de processus de production, de choix techniques, de politiques énergétiques ou encore de stratégies urbaines, liés au développement de ces formes de circulation d'énergie sont passés sous silence. En d'autres termes, construire des principes de planification urbaine ne dit rien de la complexité des processus qui mèneraient à leur mise en œuvre et de ce qu'ils produiraient sur le fonctionnement urbain, ce dont nous entendons précisément faire l'objet de cette thèse.

IV. Un objet spatialisé travaillé par le triptyque société, flux, technique

Le début de ce chapitre nous a permis d'introduire l'objet empirique de notre recherche et de montrer qu'il faisait de manière grandissante partie de la vision du futur énergétique des villes que partagent les acteurs institutionnels. Nous avons alors vu que les approches académiques existantes de la mutualisation et de la récupération énergétiques adoptent une vision matérielle et technique de la ville dans laquelle ces formes d'échange énergétique sont perçues comme un vecteur d'efficacité. Leur diffusion est donc recommandée, sans pour autant que les transformations qu'elles pourraient engendrer quant au processus de production et au fonctionnement des systèmes urbains ne soient discutées. En somme, face à une promotion croissante de ces objets, il n'existe pas à ce jour d'approche de leurs effets autrement qu'en termes d'efficacité énergétique.

Dans cette dernière partie, nous montrons dans un premier temps en quoi cette restriction pose problème, en replaçant l'objet face à la dialectique « réseau » *versus* « post-réseau » actuellement explorée et en déduisons l'objectif de cette thèse (A). Dans un second temps, nous soutenons qu'un élargissement du regard vers les champs de l'analyse dite

« sociotechnique » des relations entre ville et énergie d'une part et de l'écologie industrielle d'autre part peut s'avérer fructueuse pour le saisir (B).

A. Un objet qui brouille les analyses de la coévolution des systèmes énergétiques et de la ville

Les discours institutionnels rapportés jusqu'ici ont, dans leur ensemble, une caractéristique bien particulière : ils se prononcent autant sur la nécessité de sources d'énergie, que sur celle de systèmes techniques spécifiques et d'une organisation de l'espace urbain. Ce sont en effet les sources d'énergie renouvelables et de récupération, décentralisées, qui sont favorisées, ce qui incite à promouvoir des systèmes techniques de récupération et de mutualisation. Dès lors, la mixité d'activités à des échelles diverses est valorisée pour permettre la circulation des flux d'énergie en fonction des complémentarités de productions et consommations. Au total, système énergétique et organisation spatiale des activités dans la ville sont conjointement mis dans la balance.

Partant, il apparaît que ces nouvelles formes de mise en lien de la ville par la circulation de flux d'énergie doivent être construites comme des objets urbains, constitués à la fois de flux d'énergie, d'une infrastructure support de la circulation de ce flux et d'activités (donc d'acteurs) humains qui produisent ou consomment de l'énergie, l'ensemble étant influencé par l'organisation spatiale des éléments qui le constituent.

Une caractéristique fondamentale de cette description est qu'elle ne diffère pas de celle que l'on peut faire des grands réseaux conventionnels, puisqu'eux-mêmes sont constitués de dispositifs techniques et de flux qui, comme l'a montré Thomas Hughes, façonnent la société autant qu'ils sont façonnés par elle (Hughes, 1993). En outre, comme le montre Susan Owens pour l'ensemble du système énergétique (Owens, 1986, 1990) et comme le rappellent plus récemment Andrew Karvonen et Simon Guy (2011), leur efficacité est fortement influencée par l'organisation spatiale de la société. Le même type de relations technique-espace-société se trouve donc au cœur de leur fonctionnement.

Pour cette raison, nous considérons *a priori* ces formes comme une évolution de la manière de mettre l'urbain en réseau et non nécessairement comme un affaiblissement de la forme réticulaire, distinguant ainsi notre approche de l'hypothèse du post-réseau. De là, le point de départ de cette thèse est l'interrogation qu'un tel processus mène à poser quant aux relations entre la ville (comme système social et matériel spatialisé) et le système qui l'approvisionne

en énergie. En effet, nous l'avons vu dans la première partie de ce chapitre, les travaux d'histoire des sciences et des techniques montrent que les grands réseaux centralisés ont eu une importance déterminante sur la façon dont les villes modernes se sont construites (Bocquet, 2006 ; Dupuy, 1984) et sur leur fonctionnement contemporain (Le Galès et Lorrain, 2003). On associe en effet aux grands réseaux centralisés les notions d'uniformité de service, de logique de croissance et diversification de la consommation et de solidarisation du territoire (Offner et Pumain, 1996), autant de caractéristiques qui, émergeant des relations au sein du triptyque technique-espace-société, ont de multiples influences sur le fonctionnement urbain.

Ainsi, par exemple, un affaiblissement des réseaux pourrait entraîner une dégradation des mécanismes de solidarité dont le résultat pourrait se trouver « en contradiction avec des objectifs plus traditionnels de cohésion sociale » (Coutard et Rutherford, 2013, 2015). Il aurait en outre des effets sur la façon de gouverner les villes, au sein desquelles la distribution homogène des services urbains joue un rôle important pour l'assise du pouvoir des gouvernements locaux (Lorrain, 2002a, 2005) ainsi que sur le financement et les modèles d'affaire associés à ces services et à leurs infrastructures pour l'instant favorables à des acteurs historiques nationaux (Saint-André, 2008).

De ce point de vue, les systèmes de récupération et mutualisation d'énergie brouillent les analyses pouvant être menées sur la base d'une dualité réseau/post-réseau. En effet, se fondant sur une logique de relocalisation des productions et de la circulation des flux ainsi que de sobriété des consommations, ils s'appuient pourtant sur le développement de nouvelles infrastructures et connexions. Ils empruntent ainsi à l'un comme à l'autre des idéaux-types, sans être toutefois des « ensembles composites » (Jaglin, 2012) qui formeraient des connexions entre le système conventionnel et des dispositifs décentralisés.

L'objectif de cette thèse est de se confronter à cette ambiguïté. Il s'agit ainsi de comprendre les reconfigurations du rapport entre la ville, les flux d'énergie qui la traversent et la forme réseau qui émergent au travers de ces systèmes urbains. Nous visons en cela à compléter et discuter les appréhensions existantes des relations entre les territoires urbains et leurs systèmes énergétiques.

B. Elargir le regard : les approches sociotechniques des relations villes-énergie et l'écologie industrielle en appui

Toutefois, alors que mutualisation et récupération ne sont pas abordées en tant qu'objets spécifiques, il ne faut pas en conclure que les relations entre la fabrique de la ville, dans ses dimensions matérielle, sociale et spatiale, et les évolutions énergétiques récentes sont oubliées de la recherche urbaine. Bien au contraire, on trouve des recherches récentes qui touchent à la mise en œuvre de la transition énergétique dans les projets d'aménagement (Tardieu, 2015), à la conception énergétique dans ces mêmes projets (Blanchard, 2014), à la « coordination énergétique » dans la production des éco-quartiers (Debizet *et al.*, 2015 ; La Branche, 2015) ou encore à l'impact de différents scenarii de transition énergétique sur le fonctionnement urbain et les relations d'acteurs (Debizet, 2016).

Les travaux du projet Nexus (Debizet *et al.*, 2015), notamment, entendent mettre au jour les changements de « régimes sociotechniques » dans l'approvisionnement énergétique des quartiers et des villes, selon la conception qui est faite des « transitions sociotechniques » par la « perspective multi-niveaux » (Geels, 2010a). Ils s'intéressent en particulier aux évolutions qu'entraînent l'introduction d'énergies renouvelables intermittentes et de technologies de stockage à ces échelles et proposent de montrer qu'il existe « non pas un mais une pluralité de régimes énergétiques en œuvre dans les villes et que la transition énergétique passera par une recomposition conjointe de ces régimes et, ce faisant, une redistribution spatiale des « autonomies énergétiques » » (Debizet, 2016, p. 75). Les parallèles avec la question de l'émergence des synergies sont donc nombreux puisqu'on parle bien de l'évolution d'un système énergétique en place dont les conséquences doivent être considérées de manière spatialisée.

L'usage du terme « sociotechnique » à plusieurs reprises fait ici référence à tout un courant de recherches en sciences sociales qui vise à analyser les relations entre techniques et sociétés (Bijker *et al.*, 2012) dont plusieurs auteurs ont montré la possible application à l'urbain, conceptualisant ainsi la ville comme un « système sociotechnique » (Guy et Karvonen, 2011). En d'autres termes, ces derniers proposent de voir la ville comme un entrelacs indémêlable d'artéfacts techniques et d'acteurs sociaux qui s'influencent mutuellement.

L'existence des travaux cités plus haut, qui se placent explicitement dans cette perspective, montre donc que les relations entre production et fonctionnement de la ville et changement des systèmes énergétiques s'ouvrent à de telles analyses. Cependant, puisqu'ils ne partent pas

de la question spécifique du rôle de la forme réticulaire, leurs objets ne sont pas le nôtre, bien que certaines des études de cas qu'ils développent puissent en fournir une illustration[42].

Sur un autre plan, on trouve quelques travaux provenant des pays scandinaves ou de Chine qui s'intéressent à la récupération de chaleur fatale industrielle au travers du jeu d'acteurs ou du modèle économique qui la sous-tendent (Broberg *et al*., 2012 ; Di Lucia et Ericsson, 2014 ; Fang *et al.*, 2013) s'éloignant ainsi des approches purement technico-spatiales dont nous avons fait la revue. L'approche développée, qui fait référence au champ de l'écologie industrielle avec lequel nous nous sommes déjà familiarisés, n'est cependant pas urbaine, ce qui explique que ces travaux n'aient pas été intégrés à notre revue de littérature : les analyses portent sur le processus de diversification du mix énergétique (*low carbon transition*), ou bien sur le modèle économique qui pourrait favoriser la récupération d'un tel flux.

À travers ces quelques pistes, nous comprenons que pour construire un cadre de références à l'analyse des objets empiriques que sont les récupérations et mutualisations énergétiques locales, il nous faut élargir quelque peu notre regard, pour deux raisons. D'une part, les approches sociotechniques de l'urbain peuvent nous fournir des méthodes et un cadre de référence plus large quant aux relations entre systèmes énergétiques et fonctionnement urbain. D'autre part, nous percevons ici que le champ de l'écologie industrielle ne se résume pas à l'application de principes physiques à des systèmes humains mais que la dimension précisément humaine de ces derniers est pleinement prise en compte dans certains travaux. En cela, elle peut nous offrir une ouverture quant à la conceptualisation des circulations de flux entre activités humaines.

Conclusion

Dans les discours comme dans certaines initiatives récentes des acteurs institutionnels impliqués dans le devenir énergétique et urbanistique de nos sociétés, on voit émerger des objets que nous ne parvenons pas à placer dans la dialectique jusqu'ici dessinée « réseau » *versus* « post-réseau ». Au contraire, sous prétexte de favoriser le déploiement de sources d'énergie plus locales, qui s'opposent donc à celles qui sont distribuées par le grand réseau centralisé conventionnel, ces acteurs promeuvent l'émergence de nouvelles formes de mise en réseau de l'urbain pour échanger et partager des flux d'énergie. Nous sommes donc face à un

[42] Voir par exemple le cas de mutualisation abandonnée dans le projet des entrepôts MacDonald présenté dans la thèse de Charlotte Tardieu (Tardieu, 2015) ou les questions de solidarité énergétique dans les travaux liés au projet Nexus (Debizet, 2016).

discours ambivalent qui, d'un côté, remet en cause le modèle conventionnel en réseau et, de l'autre, semble promouvoir un accroissement des connexions par l'énergie au sein de l'urbain.

Nous avons alors constaté que l'approche de ces formes dans la littérature académique urbaine reste purement matérielle ou technique, c'est-à-dire qu'elle se place dans une vision de la ville limitée à celle d'un objet physique. Si cette dernière permet de construire des concepts et des recommandations pour la production urbaine, elle met de côté toute la complexité des processus qui la sous-tendent. Pourtant, nous avons montré que le rôle des grands réseaux dans la construction et le fonctionnement tant matériel et technique que social des villes contemporaines est déterminant, si bien qu'on peut supposer qu'une évolution de ce dernier ait une influence non négligeable sur l'ensemble de ces dimensions.

Quelques travaux montrent pourtant que l'analyse des implications urbaines des récentes évolutions énergétiques dans une telle perspective est possible et fructueuse. Ils ouvrent ainsi des pistes par leur inscription dans des champs de recherche dont l'exploration pourrait nous permettre de saisir plus finement les implications du changement qui se profile. Il s'agit précisément du travail que nous proposons de mener dans le chapitre suivant en investiguant les différentes approches sociotechniques et socioécologiques de la ville et les liens qui les unissent.

Chapitre 2 – Sociotechnique et socioécologie de l'urbain : comprendre le changement dans la co-construction des systèmes énergétiques et de la ville

Alors que mutualisations, échanges et récupérations d'énergie font désormais partie de l'arsenal des mots d'ordre inclus dans les stratégies de transition énergétique en contextes urbains, leur approche dans la littérature consiste presqu'exclusivement à en montrer l'efficacité technico-économique. Ainsi, les évolutions des systèmes d'acteurs, des rapports de force et des manières de faire la ville qui accompagnent une telle transformation de la mise en réseau des activités humaines par l'énergie ne sont pas abordées.

Toutefois, en élargissant quelque peu la focale, nous avons vu que deux champs de recherches peuvent offrir des perspectives en la matière : d'une part, l'analyse sociotechnique des évolutions des systèmes énergétiques urbains et, de l'autre, l'écologie industrielle. L'objectif de ce chapitre est de faire une généalogie de ces champs pour montrer comment nous pouvons, à partir de leur exploration, construire un cadre d'analyse des transformations considérées. Ce travail est mené en deux temps. En premier lieu, nous mettons en lumière les filiations entre différents courants qui permettent de lier ces deux champs de recherches (I). Nous entendons en cela montrer que le recours à ces derniers ne vient pas d'un rapprochement artificiel mais d'un véritable cheminement conceptuel qui, partant de l'analyse de la ville, en arrive à celle des flux. De là, en nous saisissant des différents concepts émanant de ces champs pour finalement les combiner, nous construisons notre problématique de recherche. En second lieu, revendiquant un lien avec les travaux de sociotechnique, nous interrogeons les différents cadres d'analyse qu'ils mobilisent et nous en inspirons pour construire une posture de recherche sociomatérielle et dynamique (II).

I. Des systèmes sociotechniques aux flux : la construction d'un objet entre deux champs de recherche

Alors que nous avons montré que les échanges énergétiques locaux considérés ici pouvaient être analysés dans des perspectives techniques, économiques, métaboliques, organisationnelles et même spatiales, il nous semble pertinent de construire une image synthétique des travaux de recherche qui peuvent contribuer à les saisir. Nous en proposons donc une revue et, surtout, nous mettons en lumière les liens épistémologiques, thématiques ou conceptuels qui les unissent, afin de montrer que notre approche s'inscrit dans un

continuum de réflexions quant aux relations qui lient les sociétés humaines et leur environnement physique. Ainsi, de la sociotechnique à la socioécologie, nous nous enquérons de la manière dont sont conceptualisées les relations entre les espaces urbains, les flux qui les traversent et les systèmes techniques qui permettent leur circulation. Nous partons, dans un premier temps, des travaux, au plus près de notre constat de départ, qui analysent les transitions des services urbains dans une perspective sociotechnique pour aller vers l'écologie politique urbaine (A). Dans un second temps, nous partons de l'écologie industrielle, auparavant liée à l'écologie politique urbaine, pour aller vers des travaux récents qui proposent d'analyser des « symbioses urbaines » (B).

A. De l'analyse des transitions énergétiques urbaines à l'écologie politique urbaine

Les évolutions mises au jour dans le chapitre précédent s'inscrivent, et ce fût d'ailleurs notre point de départ, dans un processus sinon effectif, tout au moins désiré de transition énergétique. Nous avons montré que cette notion recouvre un ensemble aux contours flous de changements sociotechniques des systèmes énergétiques qui approvisionnent les sociétés humaines. Plus particulièrement encore, les changements discutés sont promus en milieu urbain.

L'appréhension des processus de transition énergétique à l'échelle urbaine, comme phénomène sociotechnique, fait justement l'objet de recherches récentes dont Jonathan Rutherford et Olivier Coutard font la revue (Rutherford et Coutard, 2014). Si l'on fait abstraction des travaux qui prennent la ville comme une simple cible de politiques de transition énergétique d'échelle nationale ou supérieure, on trouve alors un ensemble de recherches placées dans le champ des STS (*Science and Technology Studies*). Ces dernières s'appuient en cela sur des travaux aux fondements plus anciens dont l'objectif est de comprendre les relations entre les sociétés et les systèmes techniques qui permettent leur fonctionnement (Hackett *et al.*, 2008). L'ouvrage séminal de Thomas Hughes (1993), auquel la plupart font référence, met en lumière la complexité et la multiplicité des rapports entre les sociétés et les techniques, en révélant l'importance des dynamiques sociales et individuelles dans l'émergence des systèmes électriques de trois villes d'Europe et d'Amérique du Nord. Il appelle ainsi à considérer techniques et sociétés comme un système et non comme deux ensembles distincts, et montre de cette manière l'intérêt de l'approche sociotechnique.

Dans sa lignée, de nombreux travaux s'intéressent dans cette même perspective à de grands systèmes techniques (*Large Technical Systems*) (Coutard, 2002a ; Coutard, Hanley et Zimmerman, 2004 ; Mayntz, 1995 ; Mayntz et Hughes, 1988), en particulier à ceux qui prennent la forme de réseaux (Offner, 1996), tels que des réseaux de transport (Mayntz et Hughes, 1988), de chaleur (Summerton, 1992), de télécommunication (Davies, 1996) ou d'eau (Chatzis, 2002). Toutefois, dans ces derniers, les villes ne font pas partie de l'équation en tant qu'objets. Si Thomas Hughes analyse bien le développement des réseaux électriques dans des villes, ces dernières ne sont que le lieu de l'analyse et leur évolution n'est pas commentée. En d'autres termes, leur nature urbaine n'est pas conceptualisée. Elle n'est qu'un élément de contexte.

Parallèlement, en France, des travaux dialoguent avec ce champ mais revendiquent une approche originale (Offner, 1996) puisque portant directement sur l'objet réseau et le confrontant à la ville (ou au territoire). Ainsi, outre les approches historiques évoquées dans le premier chapitre de cette thèse, qui montrent l'importance des réseaux techniques dans le développement des villes européennes et nord-américaines, un certain nombre de recherches visent à comprendre les interactions entre les fonctionnements des villes contemporaines et des systèmes techniques en réseau. Gabriel Dupuy s'intéresse ainsi à la théorie et à la pratique d'un « urbanisme des réseaux » (Dupuy, 1988, 1991) qui place ces systèmes au cœur de la fabrique des villes. Franck Scherrer fait une analyse territorialisée du développement du réseau d'assainissement de Lyon (Scherrer, 1992). Dominique Lorrain analyse l'importance économique des firmes produisant ces réseaux techniques urbains (Lorrain, 1995, 2005). Un groupe de recherche portant sur les relations entre réseaux et territoires est en outre fondé dans les années 1990 et présente ses résultats dans un ouvrage qui s'attache à montrer les multiples relations entre ces deux systèmes (Offner et Pumain, 1996). Cependant, on ne trouve pas dans ces recherches l'idée d'une transformation : au contraire, c'est la très grande stabilité de ces systèmes qui est mise en lumière (Dupuy, 1991 ; Offner, 1993 ; Scherrer, 1992 ; Tarr, 1984).

Ce n'est que plus récemment que l'idée d'une évolution concomitante des villes et des systèmes techniques et, plus précisément, des systèmes énergétiques, est interrogée dans des travaux qui ambitionnent de mener une analyse sociotechnique. Ainsi, partant de la question du changement climatique ou abordant directement les problématiques énergétiques, des recherches mettent une hypothèse au cœur de leurs investigations : celle de l'existence d'un rôle des villes dans les décisions et transformations attenantes aux systèmes énergétiques

(Bulkeley et Betsill, 2005 ; Bulkeley, Castán Broto et Maassen, 2014 ; McLean, Bulkeley et Crang, 2015). Elles s'inscrivent en cela dans l'idée plus large que les villes pourraient participer à la formation des transitions sociotechniques (Geels, 2010b ; Hodson et Marvin, 2010 ; Rohracher et Späth, 2013). Un ensemble de travaux analyse ainsi la ville, ou l'échelon local, comme lieu de l'initiation de processus de transition énergétique par la gouvernance et la planification (Coutard et Rutherford, 2010b), les politiques publiques (Lemon, Pollitt et Steer, 2013), l'interaction entre des acteurs et institutions locaux (Hodson et Marvin, 2009 ; Mattes, Huber et Koehrsen, 2015), l'émergence d'initiatives *grassroots* (Blanchet, 2015), la diffusion de « niches » sociotechniques « bas-carbone » (Bulkeley, Castán Broto et Maassen, 2014) ou la mise en œuvre d'expérimentations (Bulkeley et Castán Broto, 2013).

Toutefois, des critiques sont portées face à une vision normative du changement, sur laquelle s'appuient nombre de ces travaux qui considèrent « la » transition énergétique comme une évolution directionnelle vers des systèmes moins carbonés, alors même que des processus bien différents peuvent être observés, notamment dans les contextes dits « des Suds » (Jaglin et Verdeil, 2013 ; Rutherford et Jaglin, 2015). Ainsi, comme le relèvent Jonathan Rutherford et Olivier Coutard (Rutherford et Coutard, 2014), ce ne sont pas tant les transitions énergétiques urbaines qui sont observées que le rôle des villes dans « la » transition énergétique, vue comme univoque au sein des sociétés humaines, telle qu'elle serait souhaitable.

En outre, mais sans que les deux points ne soient décorrélés, la matérialité de la ville n'est que partiellement prise en compte au sein de ces travaux : *"a comprehensive approach to the materiality of urban energy (transitions) would imply 'following' not just actors and technologies* […], *but also flows (of resource, of energy, of money) which sustain (and are sustained by) the relations between these entities* […]. *This combination of sociotechnical and 'metabolic' approaches would entail diverse theoretical and methodological consequences, which merit further reflection"* (Rutherford et Coutard, 2014). Les flux sont donc les grands absents de ces recherches, qui voient la matérialité urbaine principalement sous l'angle des dispositifs techniques. C'est d'ailleurs précisément ce qu'investiguent les travaux sur les niches (Bulkeley, Castán Broto et Maassen, 2014 ; Geels, 2010b) : dans ces conceptions, la ville est vue comme le lieu de l'émergence, de l'expérimentation ou de la diffusion de l'innovation technique, mais les évolutions métaboliques qui peuvent découler de ce changement ne sont pas abordées (Hodson *et al.*, 2012). Dans ce cadre, les recherches de Laurence Rocher sur les politiques et stratégies de la Métropole de Lyon quant aux réseaux de

chaleur font exception en reliant explicitement les questions de flux et d'infrastructures (Rocher, 2013).

Néanmoins, la notion de métabolisme utilisée ici, qui désigne un ensemble de flux de matière et d'énergie traversant un système donné (voir Encadré 2.1), n'est certainement pas un angle mort de la recherche sur les relations entre les sociétés urbaines et les « non-humains » (Broto, Allen et Rapoport, 2012). L'ouvrage dirigé par Nikolas Heynen *et al.* en fait la démonstration : que l'on parle d'eau, d'assainissement ou de nourriture, les auteurs s'efforcent de démontrer l'aspect fondamentalement politique du rapport entre la ville et son environnement physique, dans le but de construire une « écologie politique urbaine » (Heynen, Kaika et Swyngedouw, 2006b ; Swyngedouw, 1996). Les fondements du champ peuvent s'expliquer très simplement au travers d'un parallèle avec les STS. En effet, alors que ces dernières ambitionnent de comprendre les multiples interrelations entre la technique et le social, l'écologie politique urbaine s'attèle à révéler celles qui lient le physique (la « nature ») et le social dans la construction de la ville : *"the Myriad transformations and metabolisms that support and maintain urban life – such as, for example, water, food, computer or movies – always combine physical and social processes as infinitely connected"* (Swyngedouw et Heynen, 2003, p. 899). Nous passons ainsi d'une approche sociotechnique à une approche socioécologique ou socionaturelle (Kaika, 2005).

Encadré 2.1 – **La métaphore du métabolisme**

La notion de métabolisme se rapporte, dans sa conception classique, au fonctionnement des organismes vivants et, plus précisément, à « l'ensemble […] des processus de transformation de matière et d'énergie par la cellule ou l'organisme […] »[43]. L'utilisation du terme pour faire référence à d'autres types de systèmes date toutefois de la formation de l'écologie en tant que discipline scientifique, avec l'émergence de l'écologie urbaine (Barles, 2010a). Ainsi, dès 1965, Abel Wolman définit le métabolisme urbain comme « l'ensemble des matériaux et commodités nécessaires pour subvenir aux besoins des habitants des villes à la maison, au travail et pour leurs loisirs »[44] (Wolman, 1965, p. 179). Le métabolisme d'une ville désigne alors le bilan des flux de matières et d'énergie qui sont prélevés d'un côté et rejetés d'un autre dans l'environnement pour faire fonctionner l'ensemble des activités urbaines. Ainsi, comme Paul Duvigneaud le fait pour la ville de Bruxelles, il s'agit de comptabiliser les flux d'énergie,

[43] Définition du Larousse

[44] Traduction personnelle. Version originale : *"all the materials and commodities needed to sustain the city's inhabitants at home, at work and at play"* (Wolman, 1965, p. 179).

d'eau ou de différents éléments chimiques qui entrent et qui sortent du système urbain (Duvigneaud, 1974).

Après le déclin de ce premier courant de l'écologie urbaine, l'analyse des métabolismes urbains réapparaît au début des années 2000, inspirée des travaux d'écologie industrielle. Se basant sur la méthode d'analyse des flux de matières développée par le champ (*Material Flow Analysis* – MFA (Hendriks *et al*., 2000)), sur les méthodes d'analyse des flux de substances ou d'énergie, ou encore sur le calcul de l'empreinte écologique, l'objectif est toujours de quantifier ce qui rentre et ce qui sort de la ville (Barles, 2010b). Des analyses des sous-parties du métabolisme sont également menées, donnant naissance à des concepts tels que le métabolisme alimentaire (Bognon, 2014) ou le métabolisme énergétique (Kim, 2013) urbains. D'autres échelles sont également considérées au travers des notions de métabolisme territorial (Barles, 2014 ; Buclet et Brullot, 2009) ou bien de métabolisme d'un quartier (Codoban et Kennedy, 2008).

Une particularité de nombre des approches quantitatives du métabolisme est de prendre la ville comme un tout : ce sont ses relations avec l'environnement qui intéressent et non ce qui se passe à l'intérieur du système. La conception du métabolisme dans l'écologie politique urbaine est quant à elle toute autre. Il s'agit en effet de comprendre l'ensemble ville/nature comme un tout et donc de voir le métabolisme de façon continue : on s'intéresse autant à ce qui circule entre la ville et son environnement qu'aux enjeux socioécologiques qui mènent à la transformation des flux au sein du système urbain (Heynen, Kaika et Swyngedouw, 2006b).

Se plaçant davantage dans cette lignée dont il perçoit une résonnance avec les travaux de Timothy Mitchell aux échelles de nations ou d'empires (Mitchell, 2011), tout en faisant référence à l'écologie urbaine, Eric Verdeil évoque le « métabolisme énergétique » des villes (Verdeil, 2015). Il explique que se saisir de la notion de métabolisme implique, dans ses travaux, d'« étudier des circulations des flux […] et les infrastructures qui les portent […], d'étudier des transformations de matière qui sont à l'origine de plusieurs autres circuits […], d'assumer le caractère fondamentalement hybride, naturel et social, matériel et politique, des circuits et des circulations ainsi identifiés […], d'articuler ces différentes notions de métabolisme urbain avec des territoires » (Verdeil, 2015, p. 35). On retrouve donc ici, au-delà de la notion de circulation, c'est-à-dire de déplacement (prélèvement, rejet), celle de transformation, et donc les deux tenants de la définition biologique du métabolisme.

Si l'on prend en compte l'ensemble de ces visions, la notion de métabolisme énergétique présente un fort intérêt pour notre recherche puisqu'elle considère les flux dans leurs dimensions physiques, sociales et politiques et qu'elle peut s'adapter à différentes échelles. C'est en ce sens que nous faisons dans cette thèse référence à des évolutions du métabolisme énergétique d'une ville, d'un quartier, d'un bâtiment ou encore d'une activité.

Cette citation révèle toutefois une première lacune : l'énergie n'apparaît pas dans les exemples de flux qui permettent le fonctionnement urbain et un regard porté sur les cas

d'études effectivement investigués montre une focalisation sur la question de l'eau (Renou, 2013 ; Verdeil, 2015). En outre, si le champ s'intéresse à la façon dont les flux entre la ville et son environnement sont politisés et contestés, on n'y trouve pas d'approche qui caractérise matériellement ces flux à l'intérieur de la ville (Cousins et Newell, 2015). Ainsi, se donnant pour mission d'en révéler la dimension sociale, le champ ne conceptualise pas la forme matérielle qu'ils prennent, soit, en d'autres termes, la façon dont ils circulent entre les acteurs qu'ils contribuent à connecter.

Ce choix se traduit en particulier par une prise de distance avec les infrastructures en elles-mêmes. Comme le montre Jochen Monstadt alors qu'il s'interroge sur les possibilités de construire une écologie politique des infrastructures urbaines, ces travaux oublient le rôle important de ces dernières dans l'organisation et la gestion des flux à l'intérieur des espaces urbains (Monstadt, 2009) : *"for instance, the socioecological role of the technostructure has been neglected in spite of the fact that these durable technical artifacts not only directly shape resource flows for long time periods, but also that they shape individual interactions, and the socioeconomic, institutional, and spatial structures that regulate these resource flows".*

Enfin, dans une perspective critique envers les inégalités socioécologiques, les objets étudiés sont le plus souvent en rapport avec de grandes décisions politiques et luttes de pouvoir (Heynen, Kaika et Swyngedouw, 2006a) qui accompagnent les prélèvements et rejets de flux entre la ville et son environnement et qui guident le fonctionnement de grandes zones urbaines dans leur entièreté. Les processus plus fins d'orientation des flux entre les différentes activités urbaines, à l'intérieur de ces zones, ne sont donc pas abordés.

Se dessinent ainsi les contours de deux champs explorant pour l'un la dialectique ville/technologie et pour l'autre la dialectique ville/nature, l'un comme l'autre considérant que la dichotomie entre ces concepts est artificielle et qu'il est nécessaire d'étudier les multiples relations qui les lient. Le premier fait récemment de la problématique de l'énergie l'un de ses objets de prédilection tandis que le second semble l'oublier. Le premier laisse de côté les questions de flux, pourtant fondamentales pour ce qui concerne l'énergie, tandis que le second les met au centre, sans pour autant précisément les qualifier ou les quantifier. Dès lors, demeurent des creux dans le paysage ainsi dressé, que d'autres travaux, présentés dans ce qui suit, contribuent en partie à combler.

B. De l'écologie industrielle aux symbioses urbaines

Pour situer ces autres champs de recherche, nous pouvons repartir de la notion de métabolisme urbain. En effet, cette dernière n'est pas uniquement un concept utilisé par l'écologie politique urbaine comme support à une pensée politique des relations entre la ville et l'environnement. Elle possède une définition et un usage plus prosaïques dont Erik Swyngedouw fait une critique acerbe : *"studies of urban metabolism have often uncritically pursued the standard industrial ecology perspective based on some input-output model of the flow of "things". Such analysis merely poses the issue, and fails to theorize the making of the urban as a socio-environmental metabolism. While insightful in terms of quantifying the urbanization of nature, it fails to theorize the process of urbanization as a social process of transforming and reconfiguring nature"* (Swyngedouw, 2006). Les études auxquelles l'auteur fait ici référence passent ainsi d'une écologie politique urbaine à une écologie urbaine, déjà évoquée dans le chapitre précédent et dans l'Encadré 2.1, dans laquelle le métabolisme équivaut à un bilan d'entrées et de sorties de matière ou d'énergie.

La référence à l'écologie industrielle peut ici surprendre, mais elle devient claire lorsqu'on se réfère à la généalogie les différents champs de l'écologie appliqués aux systèmes humains telle qu'elle est révélée par Sabine Barles (2010a). Comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre précédent, l'écologie urbaine, si l'on entend par-là la discipline qui vise à quantifier le métabolisme des villes[45], apparaît de manière contemporaine à l'écologie dans son ensemble : les systèmes urbains sont parmi les premiers auxquels les concepts qui naissent au sein de la discipline sont appliqués (Bai, 2007). Cette première mouvance, qui date des années 1960 disparaît toutefois au cours des années 1980, faute d'avoir produit des résultats mobilisables pour l'action, et face à la difficulté d'obtenir des données sur les flux urbains.

De manière indépendante, se développe à partir de la fin des années 1980 une autre forme d'écologie appliquée à un système humain : l'écologie industrielle, sur laquelle, comme le relève Erik Swyngedouw (2006), s'appuient les travaux plus récents d'analyse des métabolismes urbains (Barles, 2010a). L'approche est toutefois quelque peu différente : si dans le premier cas la ville est considérée avant tout comme un système générateur d'externalités négatives pour l'environnement, dans le second, le métabolisme industriel n'est pas envisagé *a priori* sous un jour négatif et le champ n'a pas, dans sa généralité, d'ambition

[45] Nous entendons par-là que nous ne faisons pas référence au champ de l'écologie urbaine qui vise à penser l'application des principes de l'écologie naturaliste dans les espaces urbains (et non à l'étude des espaces urbains) (Berdoulay et Soubeyran, 2002).

dénonciatrice. C'est que l'écologie industrielle, au-delà d'objectifs de quantification, s'accompagne d'une rhétorique normative et d'une dimension d'incitation à l'action : il s'agit d'évaluer le métabolisme du système industriel pour mieux comprendre comment le modifier afin de mener son fonctionnement vers celui d'un écosystème naturel (Diemer et Labrune, 2007). L'objectif est ainsi de réduire les prélèvements et rejets des industries depuis et vers l'environnement.

Dans une telle perspective, le champ prêche pour une réorganisation des flux au sein du système industriel et a pour cela développé un arsenal conceptuel permettant de la caractériser. La mise en application de l'écologie industrielle consiste ainsi à mettre en œuvre des « synergies éco-industrielles » : synergie de substitution dans laquelle un flux sortant d'une industrie est utilisé comme intrant d'une autre, et synergie de mutualisation, qui consiste à partager un flux entre deux industries (Beaurain et Brullot, 2011). Le stade « ultime » de l'écologie industrielle est alors la « symbiose », définie en ces termes par Marian Chertow : *"industrial symbiosis engages traditionnally separate industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and/or by-products"* (Chertow, 2000). La mise en œuvre d'une symbiose industrielle consiste donc en la recherche systématique de synergies au sein d'un groupe d'industries dont les fonctionnements respectifs sont conventionnellement séparés.

En retour de ces préconisations pour l'action, le champ conduit l'analyse de ces systèmes que sont les synergies ou les symbioses. Dans ce cadre, on peut considérer qu'Erik Swyngedouw fait en partie fausse route dans sa critique des travaux plus récents d'écologie urbaine. S'il est vrai que la plupart d'entre eux se placent dans une perspective purement quantitative (Barles, 2002), cette restriction ne peut être totalement attribuée à leur filiation avec l'écologie industrielle. En effet, la révélation du caractère non purement matériel de la mise en œuvre des synergies ou des symbioses date des débuts même du champ (Anderberg, 1998 ; Boons et Howard-Grenville, 2009 ; Cohen-Rosenthal, 2000 ; O'Rourke, Connelly et Koshland, 1996). Toutefois, alors que l'approche de Darà O'Rourke *et al.* possède une visée explicitement critique, les autres restent dans le cadre normatif de l'écologie industrielle et visent à fournir les outils organisationnels qui facilitent sa mise en œuvre. Ainsi, si certains travaux se contentent d'appeler de leurs vœux des analyses qui intègrent les composantes sociales, d'autres visent à mettre au jour les organisations les plus « efficaces » pour qu'émergent des synergies éco-industrielles. Des travaux de thèse récents sur le sujet en font un inventaire exhaustif (Abitbol, 2012 ; Cerceau, 2013).

Ainsi, les recherches qui analysent le versant social de l'organisation des flux dans les systèmes industriels ne sont pas inexistantes et, en particulier en France, elles se sont cristallisées dans le développement du champ de l'écologie industrielle *et* territoriale, désignation qui s'est toutefois jusqu'à présent peu diffusée au-delà des frontières françaises (Barles, 2010a). Par l'adjonction du territoire, la dénomination vise à traduire deux objectifs : d'abord, ne pas oublier les acteurs impliqués dans les synergies qui construisent et sont construits par le territoire et ensuite, ne pas restreindre l'analyse des flux aux activités purement industrielles (Brullot, Maillefert et Joubert, 2014).

Ce deuxième objectif s'appuie sur une volonté de renouer avec l'intention initiale du champ qui consistait à comprendre le métabolisme des sociétés industrielles et non simplement des secteurs industriels (Decouzon et Maillefert, 2013 ; Diemer et Labrune, 2007 ; Erkman, 1997, 2001, 2004 ; O'Rourke, Connelly et Koshland, 1996). Malgré cette volonté, les travaux du champ, quelle que soit la discipline à laquelle ils se rattachent, ont en effet concentré leurs efforts sur l'analyse des entreprises industrielles. Cette focalisation, tout comme l'approche normative, peuvent trouver une explication dans l'implication des industriels eux-mêmes dans les travaux de recherche, depuis l'origine, puisque le fondement du champ est daté à la publication de l'article « *Strategies for manufacturing* » dans la prestigieuse revue *Scientific American* en 1989 par deux employés de General Motors (Erkman, 2001). Une bonne partie du champ, dans ses pendants opérationnels tant qu'académiques, s'est d'ailleurs concentrée sur les parcs éco-industriels comme lieu privilégié de mise en œuvre et d'analyse, c'est-à-dire sur des zones spatialement délimitées accueillant des entreprises industrielles et dans lesquelles une réflexion spécifique sur les flux est menée (Curien, 2014 ; Lambert et Boons, 2002 ; Sterr et Ott, 2004).

Cependant, une caractéristique des travaux qui s'intéressent à l'écologie industrielle sous l'angle des sciences sociales est de ne pas emprunter une approche sociotechnique ou socioécologique. En d'autres termes, la lecture du champ montre une focalisation sur les interactions et coordinations entre acteurs (Abitbol, 2012 ; Beaurain et Brullot, 2011 ; Boons, Spekkink et Mouzakitis, 2011 ; Brullot, Maillefert et Joubert, 2014 ; Cerceau, 2013 ; Desrochers, 2002 ; Maillefert et Robert, 2014 ; Tudor, Adam et Bates, 2007), sans que la matérialité des échanges de flux et des techniques qui les sous-tendent n'entre dans l'analyse autrement que comme un élément de contexte. Ainsi, l'objectif de ces travaux est de comprendre ce qui facilite ou non l'émergence et la pérennité des démarches d'écologie sans

que les spécificités matérielles et techniques de ces démarches n'entrent en compte comme paramètre explicatif.

Toutefois, des travaux anglo-saxons très récents revendiquent une approche qui dépasse cette limite sans pour autant repartir des travaux que nous venons de présenter mais en proposant de mener un rapprochement entre l'écologie industrielle et l'écologie politique urbaine (Cousins et Newell, 2015 ; Newell et Cousins, 2015). Constatant que la première s'intéresse majoritairement aux seuls bilans de matière et d'énergie tandis que la seconde oublie cette matérialité, les auteurs estiment que les deux approches peuvent se nourrir l'une de l'autre. Les fondements de ce rapprochement reposent en outre sur une investigation de leurs racines respectives : Joshua Newell et Joshua Cousins montrent ainsi que tant l'écologie politique urbaine que l'écologie urbaine et l'écologie industrielle utilisent la métaphore du métabolisme et tirent leurs concepts des travaux fondateurs d'Eugene Odum (1997). Dès lors, un dialogue entre ces champs n'apparaît pas artificiel. En outre, en France, des travaux d'écologie territoriale commencent à se développer, dont le but est de comprendre les transformations socioécologiques d'un territoire tant de façon quantitative, au travers de son métabolisme, que socioéconomique (Barles, 2014 ; Buclet, 2015). Moins centrés sur les enjeux politiques et conflictuels, ils ont davantage pour objectif de faire l'histoire de l'évolution du rapport d'un territoire donné à son environnement, mais en opérant également un rapprochement entre une entrée par le métabolisme d'un côté et par les systèmes d'acteurs de l'autre.

Le nombre de travaux relevant de ces courants reste toutefois très peu important et, comme en attestent les dates des publications citées, ils sont très récents. En outre, les échelles d'investigation ne sont pas spécifiquement urbaines (Baka et Bailis, 2014 ; Bergmann, 2013). De plus, puisque leur approche quantitative porte sur les flux, le pendant qualitatif de leurs recherches se centre également sur ces derniers et interroge peu les choix infrastructurels qui accompagnent les luttes ou conflits autour de leur gestion.

Cependant, on assiste récemment à un développement d'approches qui s'inscrivent explicitement dans le champ de l'écologie industrielle, sous l'angle des sciences sociales, mais qui prennent pour objet des systèmes non inclus dans le secteur industriel et même, plus précisément, des villes. Ces recherches considèrent ainsi des systèmes urbains comme des cas particuliers de démarches d'écologie industrielle ou de symbioses (Berkel *et al.*, 2009 ; Dong *et al.*, 2014 ; Lenhart, van Vliet et Mol, 2015 ; Lufkin, Rey et Erkman, 2015 ; Pandis Iveroth, 2014 ; Pandis Iveroth *et al.*, 2013 ; Vernay, 2013). On parle alors parfois de « symbiose

urbaine », en lui donnant des définitions diverses[46], mais on cherche globalement à comprendre comment les flux sont réorientés dans la ville, dans une perspective sociotechnique, qui fait d'ailleurs pour partie référence aux travaux de STS mentionnés au début de cette section (Vernay, 2013). Dans les faits, les études de cas menées au sein de ce champ naissant portent sur les formes de coordination entre différents services urbains.

Partant cette fois-ci de la question des réseaux et se plaçant donc dans la lignée des travaux de sociotechnique évoqués dans la section précédente, les travaux récents du projet de recherche français Syracuse[47] peuvent achever de relier les champs (Lorrain, Halpern et Chevauché, 2017a). Le programme vise, en particulier, à analyser les symbioses possibles entre les infrastructures urbaines en réseau, c'est-à-dire entre les services urbains de l'eau, de l'énergie et des déchets (Curien, 2014). Le terme symbiose est donc ici appliqué à des rapports entre des systèmes techniques avant de l'être à des flux mais certains des objets analysés recouvrent finalement ceux du champ de l'écologie industrielle.

La boucle est ainsi bouclée. On assiste en effet à l'essor de travaux qui, d'une part, partent d'objets relevant de l'écologie industrielle et adoptent des approches relevant de l'analyse sociotechnique et, d'autre part, se placent dans la lignée de l'analyse sociotechnique des réseaux et caractérisent leurs objets dans les termes de l'écologie industrielle.

Le paysage qui émerge de l'exploration de ces différents champs, synthétisé schématiquement sur la Figure 2.1, est relativement morcelé mais il en ressort une dynamique de recherche qui vise à appliquer des approches sociotechniques ou socioécologiques à des systèmes urbains. Le travail que nous présentons dans cette thèse vise pleinement à s'y inscrire, comme nous le développons dans ce qui suit.

[46] La ville comme ressource pour l'industrie ou bien comme lieu des flux.
[47] Acronyme pour Symbioses Réticulaires Adaptées à des Contextes Urbains Soutenables

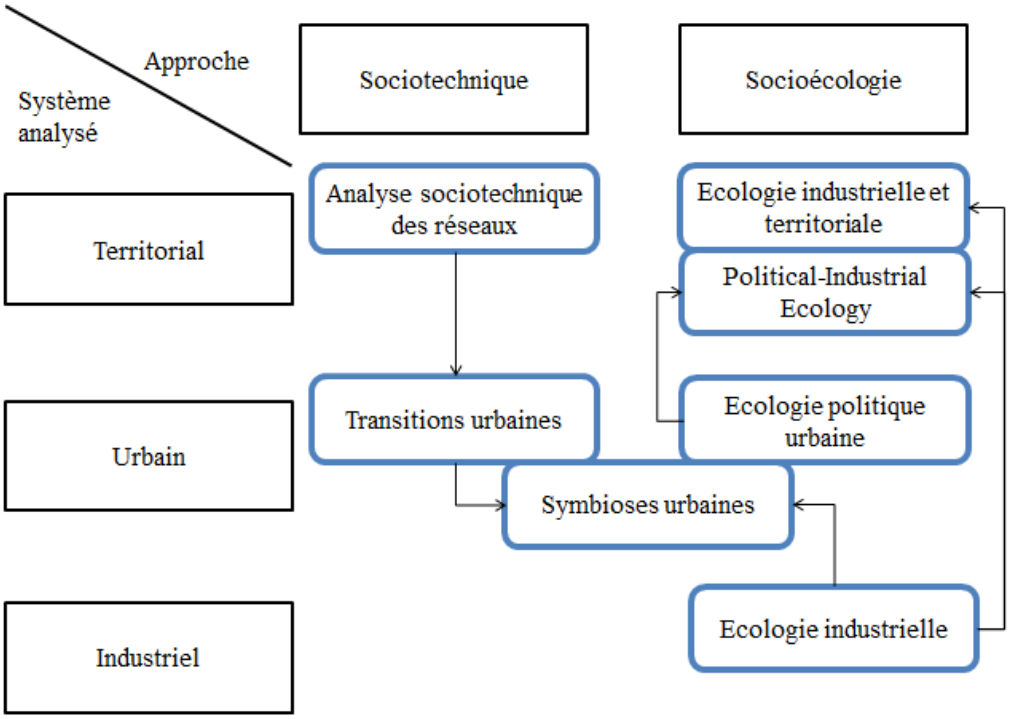


Figure 2.1 : Représentation schématique des différents champs de recherche abordés et des liens qui les unissent - Réalisation personnelle

C. Un objet d'écologie industrielle et territoriale pour une approche d'inspiration sociotechnique : problématique de la recherche

Les développements menés dans cette partie montrent à notre sens des liens entre les transformations promues des systèmes énergétiques urbains que nous avons mises en lumière et les objets de recherche étudiés par ces courants, par des entrées toutefois distinctes.

En point de départ, nous ne pouvons ignorer les efforts de conceptualisation des réorganisations des flux par l'écologie industrielle (Brullot, Maillefert et Joubert, 2014 ; Chertow, 2000). Pour cette raison, nous faisons nôtre la notion de synergie, qui nous semble particulièrement adaptée à la description des circulations d'énergie que nous avons mises au jour : la récupération ou la mutualisation dont nous avons fait état dans la section précédente correspondent en effet de manière presque tautologique aux concepts de synergie de mutualisation et de substitution dont le champ fait usage.

Toutefois, les réorganisations des flux que nous proposons de saisir sont, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, intimement liées à des réorganisations techniques qui constituent précisément l'objet des STS mais sont passées sous silence dans les approches métaboliques de l'écologie industrielle. Ce fût d'ailleurs notre point de départ : c'est parce que l'on promeut

la diffusion des énergies renouvelables et de récupération que la question de la mise en place de telles synergies se pose. Ces dernières sont ainsi la combinaison de réorganisations techniques, métaboliques et sociales. Dès lors, il s'agit de saisir une réorganisation des flux énergétiques urbains qui s'appuie sur une réorganisation sociotechnique spécifique, et inversement. Le caractère systémique de cette approche, c'est-à-dire qui considère des interactions entre le système des flux et le système sociotechnique, justifie que nous cherchions à combiner les acquis des travaux centrés sur une analyse du métabolisme d'un côté et de la technique de l'autre. En somme, nous défendons une approche sociotechnique territorialisée, n'oubliant pas les flux, qui s'applique à révéler les effets matériels, sociaux et spatiaux de certaines formes de transformation des systèmes énergétiques urbains.

Partant, nous pouvons utiliser les notions des champs auxquels nous venons de nous référer pour donner une assise conceptuelle à l'objet que nous avons jusqu'ici identifié par une lecture principalement heuristique de la littérature institutionnelle. Nous définissons ainsi une « synergie énergétique urbaine » comme étant la *valorisation d'une complémentarité d'usages ou de productions énergétiques entre des activités urbaines par la mise en œuvre de systèmes sociotechniques qui permettent la mutualisation ou l'échange de flux d'énergie entre ces dernières*.

Si l'on considère le grand réseau centralisé comme la forme sociotechnique privilégiée de circulation des flux énergétiques en milieu urbain, l'objet de cette thèse est alors de comprendre en quoi ces synergies changent (ou non) les processus et les effets de la mise en réseau de la ville par l'énergie. Puisque les recherches passées ont montré que la construction et l'évolution des grands réseaux centralisés et des territoires ne peuvent être démêlées (Offner, 2000), on peut parler de co-construction de ces systèmes. Cette approche « co-constructiviste » ou « co-évolutionniste » (Becker, Moss et Naumann, 2016), commune aux analyses STS (Guy et Karvonen, 2011, p. 122), s'applique toutefois à la ville dans une acception particulière. En effet, s'il s'agit en général de montrer comment sociétés et technologies s'influencent mutuellement, manque ici la dimension spatiale (Becker, Moss et Naumann, 2016) dont nous avons montré au chapitre précédent qu'elle devait faire partie intégrante de l'analyse : les effets et la nature des réseaux sur les ensembles urbains sont spatialement différenciés (Graham, 2000) et, en retour, l'organisation spatiale de la ville influence leur fonctionnement (Owens, 1986).

En somme, pour notre cas, il s'agit de dire qu'une évolution du système technique et métabolique de circulation de l'énergie en ville interagit avec les processus de production et le fonctionnement de l'espace urbain considéré. De là, le questionnement que nous avons posé dans le chapitre précédent peut être reformulé en ce qui constitue la problématique de notre recherche : de quelle manière la mise en œuvre de synergies énergétiques urbaines reconfigure-t-elle le processus de co-construction sociotechnique et socioécologique du réseau et de la ville ?

Par le choix de ces mots, nous montrons les apports ou oppositions que nous souhaitons développer par rapport à la littérature existante :

- Sur le plan de l'objet tout d'abord, le questionnement des relations entre les réseaux d'énergie et les territoires urbains nous permet de réinterroger et, ainsi, de compléter les résultats sur les grands réseaux centralisés obtenus à partir des années 1980 au regard des évolutions récentes.
- Ensuite, les synergies énergétiques sont des objets urbains qui intègrent des acteurs fortement hétérogènes, ce qui nous distingue de la focalisation sur les entreprises industrielles, propre à l'écologie industrielle, ou sur les acteurs des services urbains, propre à l'analyse des symbioses urbaines.
- Sur le plan de l'approche, la focalisation sur les synergies énergétiques exprime que nous partons de la matérialité urbaine à laquelle nous n'oublions pas d'adjoindre les flux. Nous nous distinguons en cela des travaux sur les transitions énergétiques urbaines qui entrent par la gouvernance ou par les systèmes techniques.
- Enfin, l'approche sous l'angle sociotechnique et socioécologique nous distingue, d'une part, de la vision purement matérielle et comptable de la littérature que nous avons abordée en fin du premier chapitre et, d'autre part, de l'approche limitée aux processus de coordination des acteurs au sein de l'écologie industrielle et territoriale.

II. Posture de recherche : qu'est-ce qu'une analyse sociomatérielle de l'urbain ?

Nous avons annoncé suivre dans cette thèse une approche sociotechnique et socioécologique, c'est-à-dire une vision de la ville comme d'un entrelacs indémêlable d'artefacts techniques et de flux d'un côté et d'acteurs sociaux de l'autre, qui s'influencent mutuellement, dans un processus de coévolution. Cependant, une telle définition ne suffit pas à définir la manière

dont cet entrelacs peut être analysé. En effet, la littérature qui revendique l'une ou l'autre de ces perspectives est multiple et s'appuie sur différents cadres d'analyse liés à des courants de recherches distincts. Il s'agit ici de nous positionner par rapport à ces derniers, afin de montrer les liens conceptuels ou théoriques que nous souhaitons entretenir avec les champs dans la continuité desquels nous nous sommes placée, au-delà des rapprochements thématiques.

Les travaux auxquels nous nous sommes référée dans ce qui précède ont pour point commun d'aborder la question du changement, qu'il soit appelé transition (Bulkeley *et al*., 2010), reconfiguration (Rocher, 2013), innovation (Vernay, 2013) ou encore environnementalisation (Curien, 2014). Ils explorent ainsi tous l'émergence de systèmes qui, d'une manière ou d'une autre, rompent avec le mode de fonctionnement dominant des sociétés humaines à un instant précis. La question se pose alors de la méthode employée pour mener une telle entreprise. De l'interrogation « de quoi parle ces travaux ? », nous passons ainsi à la suivante : de quelle manière se saisissent-ils de leurs objets ?

La lecture de ces derniers permet de constater qu'ils font référence à trois cadres différents mais bien identifiés d'appréhension de leurs objets, chacun désigné commodément par un sigle de trois lettres : *Multi Level Perspective* (MLP), *Actor-Network Theory* (ANT) et *Large Technical Systems* (LTS).

Pour autant, la première d'entre elles (la MLP), bien qu'elle soit très largement mobilisée dans les analyses de transitions dites « soutenables » (*sustainable transitions*) (Geels, 2010a ; Nciri, 2015) et en particulier des transitions bas carbone (Geels, 2014 ; Hess, 2013), parfois à des échelles urbaines (Geels, 2010b ; Hodson et Marvin, 2010), n'est pas adaptée à l'analyse de notre objet. Développée au début des années 2000 par Frank Geels à travers un rapprochement entre les *Science and Technology Studies* (STS) et l'économie évolutionniste (Geels, 2002), elle propose un cadre conceptuel générique pour expliquer les processus de transition des systèmes techniques. Ainsi, elle ne permet pas de poser la question de la nature ou de l'amplitude du changement, postulant avant la réalisation des enquêtes empiriques qu'une évolution particulière constitue une transition, alors même que ce terme est discuté dans la littérature, en particulier pour ce qui concerne les transitions énergétiques urbaines (Jaglin et Verdeil, 2013 ; Monstadt et Wolff, 2015 ; Rutherford et Coutard, 2014).

Aussi, nous nous concentrons dans ce qui suit sur les deux autres cadres régulièrement mobilisés que sont les LTS et L'ANT (A), les confrontant par la suite à notre problématique pour constituer les principes guides de notre recherche (B).

A. Deux courants d'analyse du changement sociomatériel en discussion : *Large Technical Systems* et *Actor Network Theory*

Comme nous l'avons montré plus haut, les champs de l'analyse sociotechnique des transitions énergétiques urbaines et l'écologie industrielle et territoriale tendent à se rapprocher par la mise au jour d'objets aux fortes similarités. Il est alors intéressant de constater que l'on retrouve cette similarité dans les grilles d'analyse mobilisées par les travaux qui se placent à leur frontière, tirées des STS. D'un côté, la filiation de travaux sur les systèmes matériels urbains en réseau fait rarement l'impasse sur les apports du champ de l'étude des *Large Technical Systems* (Coutard, Hanley et Zimmerman, 2004 ; Coutard et Rutherford, 2013 ; Dupuy, 1993 ; Dupuy et Tarr, 1988 ; Guy et Karvonen, 2011 ; Monstadt, 2009 ; Offner, 1996). De l'autre, une focalisation sur l'innovation ou le changement dans les systèmes techniques est associée à une adoption du cadre de l'*Actor Network Theory* (Abitbol, 2012 ; Debizet *et al.*, 2016 ; Jiao et Boons, 2014 ; Vernay, 2013).

Pour autant, comme précisé plus haut, ces deux courants émanent de champs de recherche portant sur les sciences et les techniques plutôt que sur la ville. Pourquoi et comment, alors, sont-ils ou peuvent-ils être mobilisés dans l'analyse d'objets urbains ? L'objectif de cette section est précisément d'aborder cette question afin de comprendre comment ces cadres d'analyse[48] peuvent nous aider dans notre investigation. Nous les discutons dans l'ordre chronologique de leur apparition, commençant donc par l'approche LTS (1) et poursuivant par l'ANT (2).

1. *Large Technical Systems* (*approach*) et territoires

Comme l'explique Erik Van der Vleuten (2013) le sigle LTS désigne tout à la fois un objet, comme nous l'avons expliqué plus haut, et une manière d'approcher les systèmes techniques. En premier lieu, il regroupe un ensemble de recherches ayant pour objet des « grands systèmes » ou « macro-systèmes » techniques, sans qu'il n'y ait véritablement de consensus sur ce que l'on entend ici par « grand » (Coutard, 2002a). Typiquement, un réseau électrique ou de télécommunication ou encore un système de chemins de fer interconnectés constituent des LTS. Toutefois, un réseau de chaleur dans une ville secondaire (Summerton, 1992) ou un

[48] Il faut toutefois ici nuancer l'appellation de « cadre d'analyse » que nous leur donnons puisque, comme le montrent leurs noms, aucun d'entre eux ne se présente explicitement comme tel. Le second est décrit tantôt comme une théorie tantôt comme une méthode, ou encore parfois comme une « boîte à outils », tandis que le premier se caractérise à l'origine par le type d'objet bien précis qu'il analyse, c'est-à-dire des grands systèmes techniques. Il serait donc plus correct de les qualifier de courants d'approche mais nous verrons toutefois dans ce qui suit que chacun est bien lié à une manière spécifique d'analyser le changement sociotechnique.

système local d'égouts (Chatzis, 2002) se trouvent également mis sous cette bannière malgré leur faible emprise spatiale : le « grand » du grand système technique ne vient donc pas nécessairement qualifier une taille au sens spatial, mais peut également faire référence au mode de régulation, de financement ou de gouvernance du système (Joerges, 1988). Jean-Marc Offner en particulier remarque que des réseaux urbains qui n'ont pas vocation à s'étendre spatialement possèdent toutes les caractéristiques d'un LTS (Offner, 1999), si bien que poser des frontières à la catégorie devient particulièrement peu aisé.

En second lieu, et puisqu'il n'y a finalement pas de consensus sur l'objet, le courant des LTS peut être caractérisé par la manière d'aborder les systèmes techniques, et donc, en somme, par une posture. L'une des grandes originalités du travail de Thomas Hughes (1993), dont nous avons rappelé qu'il était à l'origine de ce champ, est d'avoir rompu avec une approche des techniques par les sciences sociales qui se limitait à l'analyse d'artefacts (Mayntz et Hughes, 1988 ; Olsen, Pedersen et Hendricks, 2013) tels que la lampe ou la voiture comme lieux même du changement technique. Thomas Hughes et ceux qui l'ont suivi soutiennent au contraire que ces objets ne constituent qu'un bout, certes le plus visible, de systèmes bien plus complexes. Ainsi, pour comprendre l'influence de l'électricité sur la société, tout comme sa réciproque, il retrace le processus de construction du système par ce qu'il appelle des *system builders*[49], du moment de l'invention technique jusqu'à sa consolidation comme système dominant, composé d'infrastructures de production, de distribution et de consommation. On ne s'intéresse donc pas seulement aux nouveaux usages qu'induit l'électricité mais à l'histoire du système complet qui permet ces usages.

La seconde originalité de l'approche LTS est la révélation du caractère sociotechnique des systèmes étudiés (Olsen, Pedersen et Hendricks, 2013). Cette précision peut sembler ici relever d'un lieu commun, mais au moment où Thomas Hughes mène ses travaux, son ambition est novatrice. En effet, alors que l'analyse des techniques s'employait jusque-là à comprendre l'influence de ces dernières sur le fonctionnement social, lui propose de ne pas les séparer. Il utilise alors la métaphore du *seamless web* pour signifier l'impossibilité de démêler totalement les influences réciproques de l'un sur l'autre. Dans les faits, cela se traduit par un regard sur le processus de construction du système qui met l'accent sur la manière de résoudre (ou non) les problèmes techniques, sur les mécanismes de concurrence entre technologies alternatives, sur les stratégies de communication et de lobbying, sur la

[49] L'un des *system builders* considéré pour le cas de l'électricité étant Thomas Edison, créateur de *General Electrics*.

production d'une demande, sur la construction d'un modèle économique, financier et commercial, *etc*.

Au-delà de ces deux fondements, l'approche LTS ne repose pas sur la construction plus avancée de concepts. Tout au plus recommande-t-elle de s'intéresser aux processus, c'est-à-dire à l'évolution des systèmes dans le temps, pour comprendre ce qui mène à la mise en « boîte-noire » de certains éléments sociotechniques. Ainsi, les ouvrages séminaux relatifs à cette approche renvoient pour beaucoup au caractère évolutif des systèmes techniques, dont on considère la construction (Bijker *et al.*, 2012), le développement (Mayntz et Hughes, 1988), le changement (Summerton, 1994) ou encore la soutenabilité (*sustaining*) et la diffusion (Coutard, Hanley et Zimmerman, 2004). Thomas Hughes l'explique d'ailleurs dans un entretien publié dans la revue *Flux* en 1996 pour se démarquer de la SCOT (*Social Construction of Technology*) (Hughes et Coutard, 1996) : *"I see a dynamic, dialectical relationship between social construction and technological determinism. The combination generates a dynamic inertia, or momentum.* […] *In short, I believe the LTS approach is dynamic and complex while the social construction approach remains static and reductionist"*. Aussi, dans le champ de l'analyse des systèmes urbains en réseau, l'approche LTS est précisément utilisée pour comprendre comment ces systèmes apparaissent (Summerton, 1992) ou se développent (Coutard, Hanley et Zimmerman, 2004), voire deviennent des institutions (Rochlin, 2001).

2. *Actor-Network Theory* et *urban assemblage*

L'ANT, ou sociologie de la traduction, fait l'objet d'un grand nombre de discussions et controverses que nous n'entendons pas aborder ici dans leur ensemble. La théorie, que l'un de ses auteurs principaux se refuse d'ailleurs à nommer ainsi (Latour, 2005), a en effet pour ambition d'offrir une alternative à la sociologie dominante appelée classique ou « sociologie du social » en construisant une « sociologie des associations ». Le passage de la première à la seconde consiste à construire une science explicative de la société plutôt qu'un moyen d'expliquer l'influence du « social » sur ce qui ne le serait pas. La critique de la sociologie dite classique est donc très forte comme en témoigne cette accusation de Bruno Latour (2005, p. 8) : *"adherents of the [sociology of the social] have simply confused what they should explain with the explanation. They begin with society or other social aggregates, whereas one should end with them"*.

Suivant cette volonté d'expliquer le social, l'ANT se refuse à faire référence aux grands concepts qui sont mobilisés dans les sciences sociales (classes sociales, institutions, culture …) et préfère « suivre les acteurs » dans leur création du social, c'est-à-dire dans la création d'associations. Le social n'est ainsi pas considéré comme une « matière » préexistante et stable qui viendrait imposer son effet sur d'autres matières non sociales (comme les individus ou les systèmes techniques) mais est au contraire sans cesse construit et déconstruit, assemblé et réassemblé, par des associations instables d'acteurs dont le nombre et la taille peuvent varier. En outre, l'ANT s'oppose à l'utilisation de couches, niveaux, ou toute autre forme de hiérarchie entre des catégories sociales prédéfinies pour expliquer des phénomènes : le social est défini de façon « plate », c'est-à-dire comme un réseau d'acteurs maintenus entre eux par des relations qui évoluent dans le temps et dont l'action ne peut être comprise que par leur inscription dans de tels réseaux (*"Agency is a purely relational process"* (Graham et Marvin, 2001, p. 185)). En outre, ces réseaux sont composés d'acteurs humains autant que non humains, ce qui constitue le nœud d'une des controverses associées à l'ANT, comme nous le verrons plus loin.

Les fondements épistémologiques d'un tel débat (sociologie du social *versus* sociologie des associations) dépassent *a priori* largement le cadre de notre recherche. Nous considérons toutefois l'ANT plus avant puisque, outre sa mobilisation dans certaines des recherches déjà discutées (Abitbol, 2012 ; Debizet *et al.*, 2015, 2016 ; Vernay, 2013), elle est depuis quelques années mise à profit de manière croissante dans l'étude de l'urbain dans sa dimension sociale autant que matérielle au travers de la notion d'« assemblage » (Graham et Marvin, 2001 ; McFarlane, 2011a ; Farías et Bender, 2012 ; Rydin et Tate, 2016) qui vise à décrire la ville comme *"relentlessly being assembled* […] *as a multiplicity of processes of becoming, affixing sociotechnical networks, hybrid collectives and alternative topologies"* (Farías et Bender, 2012, p. 2). En particulier, l'utilité de cette approche par l'assemblage a très récemment été discutée pour l'analyse de formes de transition énergétique ou bas carbone (Becker, Moss et Naumann, 2016 ; Blok, 2013 ; Guy *et al.*, 2016 ; Moss, Becker et Gailing, 2016). Il s'agit donc ici de comprendre les motivations de l'usage de ce cadre et le pouvoir explicatif qu'il a sur ces objets.

À l'origine, l'ANT est pensée pour aborder la construction des innovations techniques, c'est-à-dire de systèmes qui constituent un changement ou une évolution. Bruno Latour s'en explique en particulier dans son histoire d'Aramis, un projet de métro automatique abandonné (Latour, 1996, p. 163) : « on peut tout étudier avec la sociologie classique, sauf les sciences et

les techniques, sauf les projets. Ils vont trop vite. Ils deviennent trop durs ou trop mous. […] Pour les suivre, il faut passer de la sociologie classique à la sociologie relativiste et ne voir dans l'ancienne qu'un cas particulier, qu'une approximation, valable certes, mais quand plus rien ne bouge, quand les projets sont devenus des objets, des institutions. La sociologie relativiste n'a pas de repère fixe et, par conséquent, pas de méta-langage ». Ainsi, l'ANT propose de décrire les systèmes techniques « en train de se faire »[50] et paraît tout à fait adaptée à l'analyse de ceux qui rompent avec les formes dominantes.

À cette fin, l'ANT se fonde sur trois principes de méthode (Callon, 1986), que nous rappelons ici sans développer, puisqu'ils le sont largement ailleurs. Le premier est appelé « agnosticisme de l'observateur face aux sciences sociales » et signifie que le chercheur ne doit pas avoir d'idées préconçues de ce dont la société est faite. Il doit laisser les acteurs exprimer leur conception du social autant que de la technique. Le second est celui d'une symétrie générale dans le registre utilisé pour décrire les désaccords sur la nature (ou la science, ou la technique) et la société, ledit registre, qui correspond en fait à une grille de lecture, étant du ressort de celui qui mène l'analyse. Le troisième principe, et sûrement le plus controversé, est celui de la « libre association » qui autorise les réseaux d'acteurs à relier des acteurs (ou actants) humains autant que non-humains. Le fondement de ce principe s'appuie sur la vision plate de la société que nous avons évoquée plus haut. En effet, si l'action est purement relationnelle et ne se comprend que par le dessin du réseau d'acteurs, il est nécessaire de prendre en compte des éléments non-humains qui ont un rôle déterminant dans l'action et se trouvent donc associés au réseau autant que les humains (Latour, 2005, p. 75) : *"in addition to 'determining' and serving as a 'backdrop for human action', things might authorize, allow, afford, encourage, permit, suggest, influence, block, render possible, forbid, and so on. ANT is not the empty claim that objects do things 'instead' of human actors: it simply says that no science of the social can even begin if the question of who and what participates in the action is not first of all thoroughly explored, even though it might mean letting elements in which, for lack of a better term, we would call non-humans"*. En définitive, l'ANT se donne pour objectif de comprendre comment se forment ces réseaux d'acteur, notamment selon le processus de traduction (Callon, 1986) qui consiste à passer d'un « problème » à une mobilisation d'un réseau d'acteur autour d'une action.

[50] Nous reprenons l'expression à Bruno Latour lorsqu'il explique regarder la science en train de se faire (Latour, 1987).

Cette description de la méthode, tout comme le concept d'assemblage évoqué plus haut font très largement écho au *seamless web* dans lequel technique et social ne peuvent être démêlés, tel que décrit par Thomas Hughes (1993). Pourtant, ce dernier ne revendique pas une même symétrie entre humains et non-humains, comme il l'explique dans l'entretien cité plus haut (Hughes et Coutard, 1996) : *"Callon and Latour give the inanimate and animate actors – electrons and engineers – equal billing in their scripts. Their approach is imaginative and intellectually engaging, but I find inventors, engineers, and system builders are moral agents playing leading roles in historical dramas. The electrons are passive, constructed and determined. I should argue that the inventors, engineers, and system builders have considerable freedom to depart from the circumstantial script"*. L'absence de symétrie est donc explicite ici et en cela les deux approches se distinguent fondamentalement, bien que les auteurs de la seconde évoquent les travaux de Thomas Hughes comme une référence justifiant leur démarche (Akrich, Callon et Latour, 1988).

L'*assemblage urbanism*, courant des études urbaines mobilisant le cadre de l'ANT, le fait alors pour deux raisons. En premier lieu, l'ANT permettrait de saisir la ville en termes d'assemblages hétérogènes d'acteurs humains et d'éléments matériels en constante construction et déconstruction (Graham et Marvin, 2001 ; Farías et Bender, 2012), ce qui correspondrait à une réalité empirique (McFarlane, 2011b, p. 652)[51] : "*we can think of assemblage as both orientation to the world (eg a form of thinking about urban policy production) and as an object in the world (eg an urban policy, house, or infrastructure)".* En cela, les objectifs se rapprochent des travaux de sociotechnique visant à comprendre les relations entre réseaux et territoires dans lesquels les uns et les autres sont co-construits (Offner et Pumain, 1996 ; Coutard, Hanley et Zimmerman, 2004). En outre, les approches par l'*assemblage* se veulent sociomatérielles, c'est-à-dire à la fois socioécologiques et sociotechniques, ce qui correspond à l'approche que nous défendons lorsque nous avons expliqué nous intéresser à la fois aux acteurs, aux systèmes techniques et aux flux d'énergie.

En second lieu, l'*urban assemblage* ouvre la possibilité de se départir d'une vision de l'urbain hiérarchisée en adoptant une « ontologie plate » tirée de la lecture de l'ANT et des travaux du philosophe Manuel DeLanda (DeLanda, 2006 ; Escobar, 2007). Cette orientation, au-delà d'un choix méthodologique, rompt avec les grands paradigmes des études urbaines, et notamment avec le paradigme néo-marxiste (Farías et Bender, 2012), ce qui mène à

[51] C'est selon cette définition que les systèmes énergétiques urbains sont considérés comme des assemblages (Debizet *et al.*, 2015 ; Debizet, Blanchard et others, 2015 ; Debizet *et al.*, 2016).

l'émergence d'un débat opposant les tenants de l'assemblage d'un côté et d'une théorie urbaine critique de l'autre (Brenner, Madden et Wachsmuth, 2011 ; McFarlane, 2011a). En effet, les seconds reprochent à l'approche « plate », qui se veut *a priori* naïve à l'égard des relations hiérarchiques et institutionnelles qui animent les dynamiques urbaines (Brenner, Madden et Wachsmuth, 2011 ; Rankin, 2011 ; Tonkiss, 2011), et notamment à l'égard des relations liées aux processus capitalistes, une impossibilité de se montrer critique vis-à-vis de ces dernières (Brenner, Madden et Wachsmuth, 2011) : "*the normative foundations of such approaches are based upon a decontextualized standpoint rather than an immanent, reflexive critique of actually existing social relations and institutional arrangements"*[52]. On retrouve finalement ici, dans le champ spécifique des études urbaines, le débat plus fondamental amené par Latour lorsqu'il oppose sociologie du social et sociologie des associations (Latour, 2005).

Les tenants de l'urbanisme d'assemblage avancent alors que l'objectif premier de ce dernier n'est précisément pas la critique mais l'enquête : *"a more open and explorative form of engagement with the world; in a word, inquiry, not critique"* (Farías, 2011). En d'autres termes, l'*assemblage urbanism* n'a pas pour mission de se substituer à l'urbanisme critique mais ambitionne de proposer une manière alternative de penser l'urbain qui s'attache moins à comprendre les implications politiques, et notamment en termes d'inégalités, des structures hiérarchiques, que les processus qui mènent à leur existence. Aussi, les tenants de l'*assemblage urbanism* estiment qu'il n'est pas contraire à une approche critique mais qu'il la complète puisqu'il permet de comprendre les mécanismes qui créent ce qui peut ou doit être critiqué (McFarlane, 2011c), conception à laquelle nous souscrivons pleinement.

B. Confrontation à la problématique : le choix d'une approche dynamique qui ne s'arrête pas aux frontières de la technique

En définitive, l'une comme l'autre de ces approches semblent proposer une posture correspondant à ce que suggère notre problématique. En effet, à la suite des travaux qui analysent les relations entre réseaux et territoires sous un angle sociotechnique d'un côté et de ceux de l'*urban assemblage* qui envisagent la ville comme le résultat d'un processus sociomatériel de l'autre, nous proposons de concevoir les synergies énergétiques urbaines comme des assemblages d'acteurs humains, de systèmes techniques et de flux qui entretiennent des relations en constante évolution.

[52] Ou, comme l'explique Ignacio Farías (2011), "*ANT would be guilty of "affirming the current conditions of cities" (Brenner 2009: 198), of implicitly justifying all sort of inequalities and injustices*".

Dans cette perspective, il apparaît que les points communs entre les deux postures sont plus nombreux que les désaccords. L'introduction d'une symétrie entre humains et non-humains par l'ANT, à laquelle s'opposent *a priori* les LTS, n'est à notre sens pas fondamentale, d'autant plus qu'elle n'est pas maintenue dans la plupart des travaux de l'*assemblage urbanism* (Moss, Becker et Gailing, 2016) : dans les deux cas, il s'agit bien de comprendre comment matérialité et acteurs s'influencent réciproquement dans les situations d'action. Il n'est d'ailleurs pas anodin que les fondateurs de l'ANT prennent Thomas Hughes pour référence justifiant l'intérêt de considérer le social et la technique comme un entrelacs : il ne nous semble pas qu'il soit nécessaire de partir du principe d'une symétrie entre acteurs humains et non-humains pour suivre un tel programme.

Pour le reste, l'une comme l'autre des postures revendiquent une approche dynamique qui vise à mettre au jour des processus. Autant les liens entre acteurs humains et non humains que la construction de réseaux d'association instables apparaissent dans les travaux relevant de ces deux cadres. La différence fondamentale entre ces approches se trouve dans l'explicitation ou non de ces deux points par un vocabulaire désigné (symétrie, acteur-réseau, traduction, assemblage). À la suite de Simon Guy *et al.* (2016), il nous semble en définitive que l'*assemblage urbanism* forme la continuité des travaux de LTS. On peut la considérer comme une version plus conceptualisée et plus large dans la nature des objets dont elle vise l'analyse, notamment parce qu'elle ne restreint pas sa lecture de la matérialité aux systèmes techniques et qu'elle n'exclut pas dans ses termes l'analyse de micro-systèmes (*micro-level studies*) (Moss, Becker et Gailing, 2016, p. 68), ce qui correspond précisément à l'orientation que nous avons donnée jusqu'ici à ce travail. En outre, en raison de son orientation proprement urbaine, l'*assemblage urbanism* se positionne explicitement sur son rapport à l'espace, postulant qu'il n'est pas seulement le cadre de l'action mais qu'il joue un rôle dans les assemblages autant qu'il est produit par ces derniers (Becker, Moss et Naumann, 2016 ; Farías, 2010), ce que ne fait pas l'approche LTS dans sa généralité.

Au-delà de ce positionnement plus explicitement tourné vers l'analyse d'objets proches du notre, il n'existe à notre sens pas de véritable différence méthodologique entre ces deux courants. En conséquence, les résultats qui peuvent être obtenus au travers de l'usage de l'une ou de l'autre de ces postures ne sont pas fondamentalement différents, tout au moins lorsqu'ils sont appliqués à des objets urbains[53]. Au regard de ces considérations, nous proposons dans

[53] Cette précision est ici faite principalement pour signifier que nous ne nous positionnons pas sur le cas des controverses scientifiques.

cette thèse d'aborder notre objet d'une manière que l'on pourrait qualifier de « minimale », commune à ces deux postures, sans y adjoindre de grille de lecture surplombante. En réduisant les « consignes » au plus, l'approche LTS nous paraît ouvrir les possibles plutôt que de les fermer, ce que l'ANT propose précisément lorsqu'elle incite à « suivre les acteurs ». Finalement, le précepte que nous adoptons est l'un des dénominateurs communs à l'ensemble des approches que nous avons abordées : nous ne cherchons pas à isoler le social et le matériel, considérant le tout comme un *seamless web* indémêlable, et adoptons pour précepte d'en exposer les multiples interactions dans la construction de systèmes urbains.

Cela présuppose en particulier que notre investigation ne s'arrête pas aux frontières de la technique, bien au contraire. En cela, l'enquête menée par Bruno Latour sur le métro automatique Aramis (1996) est une inspiration concrète que l'on pourrait presque considérer comme un guide méthodologique, tant le processus de recueil du matériau empirique y est détaillé : les documents techniques sont récoltés et analysés jusque dans les formules mathématiques et le discours des acteurs sur les contraintes, normes ou fonctionnements techniques est mis en question, confronté à la documentation et aux autres discours. Nous suivons ces mêmes principes dans notre recherche. Ainsi, nous ne nous interdisons en rien d'exposer et de détailler le fonctionnement des systèmes techniques que nous considérons, quand bien-même une telle démarche pourrait sembler ne pas trouver sa place dans un travail de sciences sociales.

En outre, et il s'agit ici d'un autre nœud central de notre approche, nous proposons une analyse dynamique, au sens où nous nous intéressons aux processus. Ce ne sont pas les systèmes sociomatériels à un instant précis que nous analysons mais bien les processus qui les mènent à être ce qu'ils sont et qui guident leur évolution. Là encore, cette caractéristique est commune aux deux grilles de lecture. Cependant, alors qu'elle est appelée traduction dans le cas de l'ANT pour désigner un ensemble d'étapes prédéfinies du changement sociotechnique, l'approche LTS laisse au récit du terrain le soin de faire ressortir des étapes qui sont propres à chaque situation. Une fois de plus, et pour les mêmes raisons que précédemment, nous nous plaçons dans cette perspective.

En définitive, notre posture de recherche se place dans la continuité des LTS et de l'*urban assemblage* et est guidée par deux principes :

- Elle ne cherche pas à démêler le social et le matériel mais au contraire à montrer finement les relations qui les lient : elle ne s'arrête donc pas aux frontières de la technique ;
- Elle ne donne pas à voir les systèmes sociomatériels comme des objets statiques ou comme la conséquence de structures hiérarchiques mais au contraire comme le résultat toujours mouvant de processus qui constituent ce qui doit être montré. Elle s'attache donc à faire le récit de ces processus, et non un exposé figé des systèmes, en n'oubliant pas de rendre compte de leurs traductions spatiales.

Conclusion

Nous avions, à la fin du chapitre précédent, conclu qu'un décentrement du regard était nécessaire pour comprendre la façon dont la littérature existante pouvait nous permettre de saisir les évolutions apparaissant dans les discours institutionnels. Nous avons ainsi exploré les différents champs sociotechniques ou socioécologiques appliqués, d'un côté, à des contextes urbains et, de l'autre, à des mises en lien d'activités humaines traditionnellement déconnectées. Passant de l'analyse des transitions sociotechniques urbaines à l'écologie industrielle et territoriale, nous avons ainsi pu définir l'objet « synergie énergétique urbaine » afin de regrouper sous une même expression mutualisations et récupérations énergétiques mises en lumière au chapitre précédent.

Cette exploration nous a en outre permis de définir une problématique, qui met en question la manière dont la mise en œuvre des synergies fait évoluer les relations entre la construction sociotechnique des villes et des réseaux. Nous appuyant ensuite sur les cadres analytiques adoptés et défendus par les différents courants de l'analyse sociotechnique, de laquelle nous nous sommes revendiquée, nous avons construit les fondements de notre grille de lecture, entre ANT et LTS. Cette dernière est constituée de deux principes que nous nous imposons dans l'analyse empirique. En premier lieu, nous nous contraignons à entrer dans la boîte noire de la technique pour bien comprendre toutes ses relations avec le social. En second lieu, nous cherchons à rendre compte des processus qui mènent au système sociomatériel tel qu'il est et tel que son évolution est projetée.

Alors que nous pourrions entamer l'analyse empirique à ce stade, dans une démarche inductive passant avant tout par l'exploration du terrain, nous proposons d'aller plus loin et de développer une méthode abductive (Dumez, 2012) qui, telle que définie par Marta Anadón et

François Guillemette (2006, p. 35) « conjugue le caractère *a posteriori* de la théorisation fondée sur les données empiriques avec le caractère *a priori* de l'utilisation inférentielle des théories ». Ainsi, présentée par Charles Peirce (1955) comme étant la seule méthode véritablement capable de créer des connaissances nouvelles (contrairement à l'induction et à la déduction), elle suppose une « comparaison continue – ou un « flip-flop » – entre les données (déjà collectées ou entrantes) et les construits théoriques en constante évolution » (Anadón et Guillemette, 2006, p. 35). Concrètement, ce positionnement implique de mener une première étape de raisonnement déductif à partir de connaissances théoriques précédemment construites dans la littérature. Il s'agit ainsi de constituer un jeu d'hypothèses de réponse à notre problématique que nous puissions mettre à l'épreuve du terrain et faire évoluer par la lecture de ce dernier. Le chapitre suivant présente la construction de ces hypothèses et la réalité empirique à laquelle nous souhaitons les confronter.

Chapitre 3 – Efficacité, solidarité et croissance : quelles remises en cause des principes et effets de la mise en réseau de l'urbain ?

> *"New infrastructural territorialities are emerging as discursive ideals, material constructions and situated practices. Tracing their emergences as indissociably socio-technical, critically analyzing their rationales, modalities and outcomes, and (thus) unsettling (and repoliticizing) pre-conceived notions of the changes they can contribute to is one of the key tasks for urban studies in the years to come."*
>
> Coutard et Rutherford, 2015

Les synergies énergétiques urbaines apparaissent tant comme une vision idéelle d'une des formes que pourraient prendre les systèmes énergétiques urbains que comme une réalité matérielle que l'on trouve déjà mise en œuvre dans des opérations concrètes. Bien sûr, l'une et l'autre ne sont pas indépendantes et chacune pèse dans le processus d'évolution que nous cherchons à caractériser. Comment alors rendre compte de cet ensemble de manière convaincante sans se perdre dans sa grande complexité ?

L'objectif de ce chapitre est de proposer une réponse à cette question en mobilisant et discutant les résultats généraux des différents travaux dans la lignée desquels nous nous sommes placée. Ainsi, en premier lieu, nous construisons un jeu de trois hypothèses en confrontant les travaux d'analyse sociotechnique des transitions énergétiques et d'écologie industrielle à notre objet de recherche (I). En second lieu, nous y montrons que nous souhaitons développer une approche en deux temps qui commence par l'analyse approfondie d'un petit nombre d'études de cas de synergies existantes, cœur de la recherche, et termine par la construction d'une vision plus globale des modèles d'évolution des réseaux que proposent les acteurs de la fabrique des systèmes énergétiques urbains (II).

I. Du réseau centralisé aux synergies : trois hypothèses d'évolution du rapport entre villes et réseaux

Reprenons les réseaux là où nous les avions laissés. Lorsqu'ils sont grands et centralisés, nous avons vu que la littérature leur prête différentes caractéristiques dans leurs rapports au

territoire. D'abord, la forme du réseau est justifiée par son efficacité technico-économique à fournir un service homogène sur un territoire. Ensuite, la mise en lien qu'il produit aurait pour effet de solidariser le territoire. Enfin, les stratégies qui gouvernent leur évolution sont guidées par un principe de croissance des consommations et par l'extension ou l'intensification territoriale. Le Tableau 3.1 ci-dessous récapitule ces résultats, qui sont repris pour chacun en début des sections de cette partie.

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la co-construction des territoires urbains et des grands réseaux centralisés

Logique sous-tendant la mise en réseau	Efficacité technico-économique pour fournir un service d'approvisionnement énergétique homogène sur le territoire
Effets de la mise en réseau	Solidarisation du territoire
Principe d'évolution du réseau	Croissance de la consommation par l'intensification et l'extension spatiale

Puisque c'est un changement de ces rapports que nous souhaitons interroger, la thèse se propose de remettre ces caractéristiques en question. Dès lors, il s'agit de s'interroger sur trois plans au regard de la littérature existante et sous la forme d'hypothèses de recherche : quelles sont les logiques qui sous-tendent la mise en réseau (A) ? Quels effets a-t-elle sur le fonctionnement du territoire (B) ? Quels principes guident son évolution (C) ? Au terme de ces réflexions, nous proposons une synthèse de l'appareillage problématique et hypothétique de la thèse (D).

A. Les logiques qui sous-tendent la mise en réseau : au-delà de l'efficacité technico-économique

Nous avons vu que les fondements de la construction des grands réseaux centralisés se placent dans le registre de l'universalisation. La pensée qui prévaut à leur développement est en effet celle d'offrir un service homogène sur l'ensemble d'un territoire donné, la forme réticulaire centralisée permettant alors des économies d'échelle et d'envergure qui justifient son développement par des arguments d'efficacité technico-économique (Curien, 2000 ; Hughes, 1993). La forme réseau serait ainsi la plus efficace pour amener un même service à l'ensemble des habitants d'un territoire et une forte intervention publique appuie son

développement (Coutard et Pflieger, 2002). En somme, les arguments avancés sont avant tout technico-économiques et suivent la perspective de fourniture d'un service universel gouverné par la puissance publique.

Or, la particularité des synergies énergétiques urbaines, telles que nous les avons définies, est de mettre directement en lien des activités qui n'appartiennent pas au secteur des services urbains. Ainsi, des systèmes sociotechniques et des acteurs très hétérogènes qui ne sont ni des opérateurs dont il s'agirait du cœur de métier, ni des acteurs publics qui en sont garants sont mis en relation au travers de circulations d'énergie. Nous pouvons donc aisément supposer que l'universalité du service n'est pas ce qui motive leur implication dans l'assemblage sociomatériel qu'est la synergie et ainsi leur mise en réseau. Dès lors, se pose la question des logiques qui fonderaient ou non leur intérêt pour les synergies.

Une réponse intuitive à cette dernière est celle des gains financiers qui découleraient des échanges de flux pour chaque acteur, ce qui nous ramènerait à une justification d'ordre technico-économique. En effet, ces gains représentent l'un des arguments principaux donnés pour justifier la mise en œuvre de l'écologie industrielle qui reposerait sur l'indentification de situations « gagnant-gagnant » (*win-win*) permettant de déclencher l'implication des industries (Baas et Boons, 2004 ; Chertow, 2007 ; Esty et Porter, 1998).

Toutefois, face à cette vision, émerge une contradiction apparente : comment expliquer, si l'écologie industrielle est un principe gagnant pour tous, que les expériences ne soient pas plus répandues, voire généralisées ? Un courant de travaux vise précisément à répondre à cette question à travers la problématique de la coordination des acteurs dans des cas purement industriels (Beaurain et Brullot, 2011 ; Boons et Berends, 2001 ; Chertow, 2007) mais également urbains (Pandis Iveroth *et al.*, 2013 ; Vernay, 2013), s'en remettant en particulier à la sociologie des organisations (Abitbol, 2012 ; Hoffman, 2003). L'hypothèse qui constitue leur point de départ est la complexité inhérente à la collaboration entre des acteurs traditionnellement séparés.

Plusieurs résultats ressortent de ces travaux qui s'appuient pour la plupart sur des études de cas d'expériences d'écologie industrielle[54]. Tout d'abord, les synergies sont plus susceptibles d'émerger entre des entreprises qui sont déjà familiarisées avec les coopérations inter-firmes

[54] Deux types d'études de cas sont ainsi le plus souvent menées : ou bien l'analyse d'un parc éco-industriel (Boons et Berends, 2001 ; Chertow, 2007), ou bien celle d'une stratégie ou politique de développement de l'écologie industrielle émanant d'un acteur public (Beaurain et Brullot, 2011).

au travers de processus divers, non nécessairement liés à l'écologie industrielle (Mirata, 2004), entre lesquelles il existe une confiance (Ehrenfeld, 2004) ou une importante densité de relations (Ashton et Bain, 2012). La création de réseaux d'échanges au sein d'un groupe d'entreprises, animés par des acteurs publics ou non, permettrait de faciliter cette familiarisation et l'échange d'information sur les processus techniques, prérequis à la mise en œuvre d'une synergie (Abitbol, 2012 ; Mirata et Emtairah, 2005).

Ensuite, ces coopérations créent des dépendances entre les différents acteurs (Andrews, 1999 ; Beaurain et Varlet, 2014a ; Roberts, 2004) et ces derniers sont d'autant plus disposés à s'investir dans les symbioses que ces dépendances sont faibles (Vernay, 2013). Anne-Lorène Vernay, qui s'intéresse aux symbioses urbaines comme intégration de systèmes sociotechniques, propose une typologie de formes d'intégration qui mènent à différents degrés de dépendances et coordinations (Vernay, 2013, p. 26) : elle distingue la connexion, la jonction et l'union (*connection, junction and union*), allant ainsi de l'intégration la plus faible à la plus forte. Elle illustre son propos par des exemples recouvrant chaque forme d'intégration, qu'il nous semble opportun de citer pour bien donner à voir la graduation dans l'intégration des systèmes (Vernay, 2013, p. 27). Tout d'abord, la production de composte par le système de gestion des déchets organiques au profit de l'agriculture locale est une connexion : il s'agit en fait d'une simple relation de marché. Ensuite, l'utilisation d'un réseau de tramway pour collecter les déchets solides municipaux, qui nécessite une coordination partielle entre les systèmes sociotechniques mais les laisse indépendants, est une jonction. Enfin, la cogénération, qui intègre la production d'électricité et de chaleur, est une union puisque le fonctionnement des deux systèmes dépend des mêmes configurations techniques et que l'exploitation est conjointe. La typologie est ensuite affinée au regard des études de cas menées pour arriver à six formes d'intégration, tout en gardant cette graduation (Vernay, 2013, p. 280). On comprend ainsi que les synergies ne se valent pas toutes face à la complexité des coordinations que leur mise en œuvre sociotechnique requiert.

Partant également de cette idée d'interdépendance, des travaux d'écologie industrielle montrent que les entreprises peuvent former une résistance à s'investir dans une synergie, justement parce qu'elle leur ferait perdre une partie de leur indépendance (Boons et Baas, 1997). Ainsi, Leo Baas et Frank Boons expliquent que la coopération entre les entreprises est favorisée lorsqu'elles possèdent déjà un objectif commun qui crée de fait une dépendance (Baas et Boons, 2004) : *"without some common problems/goals (which create dependency), the actors in the system deal with each other only on matters that are not strategic to their*

survival". Anne-Lorène Vernay conclue qu'il existe un « paradoxe de l'autonomie » : *"on the one hand, systems integration inherently requires that actors lose part of their autonomy by accepting to become linked to and partly dependent on others. On the other hand, the more autonomy they can maintain, the easier it is to get them involved in the process"*.

Dès lors, l'ampleur des gains que chaque acteur peut retirer de la synergie ne suffit pas à expliquer son émergence car elle doit être confrontée à l'importance des dépendances qui en découlent. De manière générale, ces travaux montrent donc que l'analyse ne peut se limiter au caractère gagnant-gagnant des synergies, car il se fonde sur une vision purement technico-économique de ces dernières qui oublie la complexité inhérente, plus ou moins forte, à faire fonctionner des systèmes sociomatériels hétérogènes entre eux. Ainsi, au-delà de coûts purement financiers, la mise en concordance des différents systèmes engendre des coûts organisationnels qui ne sont quant à eux pas compensés par des gains directement liés à la synergie. En définitive, on peut donc supposer que l'engagement dans une synergie s'intègre à des stratégies, au sens de séries d'actions plus ou moins efficaces pour parvenir à un but, dont les objectifs dépassent le seul intérêt technico-économique.

Ce résultat nous semble un bon point de départ pour construire une première hypothèse, auquel il nous faut toutefois confronter deux spécificités des synergies énergétiques urbaines. D'une part, les échanges reposent sur des infrastructures pour lesquelles les investissements s'inscrivent dans le temps long. En effet, contrairement à certains échanges de matière entre entreprises dans les démarches d'écologie industrielle dont la circulation s'appuie sur des infrastructures de transport existantes, échanger des flux d'énergie nécessite la construction d'infrastructures dédiées qui affectent la réversibilité du système.

D'autre part, on touche ici à un service public jugé essentiel dont les acteurs publics sont les garants et dont la continuité est une des qualités fondamentales (Chevallier, 2015). Lorsque des entreprises privées échangent des flux de matière ou d'énergie, l'interruption de ces derniers, du fait d'un changement dans une activité ou une autre, n'a de conséquence, *a priori*, que pour leur fonctionnement. Pour le cas d'un système énergétique urbain, lié à un service essentiel, la notion de collectivité prend part à l'équation et l'on peut faire l'hypothèse que les risques d'interruption du service ont une importance déterminante dans la dynamique d'émergence et de fonctionnement des synergies. Les acteurs publics ont donc un rôle à jouer dans le système et l'on peut supposer que leurs stratégies vis-à-vis de la synergie ne sont pas les mêmes que celles des acteurs privés.

Les résultats de l'écologie industrielle ne peuvent donc à notre sens pas être appliqués à notre objet sans être réinterrogés. Partant, nous pouvons poser une première sous-question de recherche : comment expliquer que de tels systèmes émergent malgré l'apparente complexité à faire fonctionner ensemble des systèmes sociomatériels hétérogènes ?

L'hypothèse de réponse que nous proposons d'examiner découle du constat de non-suffisance *a priori* de l'efficacité technico-économique pour expliquer l'engagement des acteurs dans une synergie énergétique urbaine. Nous supposons ainsi que la coordination entre les différents systèmes sociomatériels est justifiée par des stratégies, dont nous ne préjugeons *a priori* de la nature, qui dépassent l'intérêt technico-économique propre de la synergie.

L'hypothèse se précise alors en trois sous-hypothèses qui recouvrent les arguments que nous avons avancés quant à la spécificité des synergies énergétiques urbaines :

- Le gain technico-économique que représente la synergie n'est pas suffisant pour justifier l'intérêt des acteurs ;
- Des stratégies qui dépassent l'intérêt propre de la synergie entrent en jeu ;
- Le caractère spécifique du flux échangé, lié à un service essentiel, entraîne un décalage des stratégies entre les acteurs publics et privés.

B. La mise en lien du territoire urbain par le réseau : de la solidarité aux interdépendances

Des développements de la section précédente, nous avons conclu qu'il existe une complexité inhérente aux synergies liée aux interdépendances qu'elles créent entre des systèmes sociomatériels hétérogènes. Dès lors, au-delà de leur importance dans les dynamiques d'émergence, se pose la question des effets de ces interdépendances sur le territoire. Alors que nous avons utilisé le terme « territoire » de manière heuristique jusqu'ici, il nous faut à présent, pour construire précisément notre questionnement, en donner une définition : nous adoptons celle d'Alexandre Moine qui le conceptualise comme la résultante des interactions entre l'espace aménagé, les systèmes d'acteurs et les représentations individuelles (Moine, 2006), ce qui se rapproche de notre point de vue de la définition d'un assemblage et correspond donc à notre posture (Bennett, 2005 ; Farías et Bender, 2012).

Par cette acception particulière du terme, nous n'entendons pas en occulter la nature polysémique (Giraut, 2008) mais simplement en proposer une définition opératoire pour notre recherche. Ainsi, comme le montre Frédéric Giraut, il existe deux polarisations extrêmes de la

conception du territoire dans la géographie classique. La plus large le considère comme un espace délimité par une frontière et renvoie ainsi à « tout phénomène dont l'inscription spatiale est aréolaire » tandis que dans son acception la plus restrictive, il désigne « l'espace borné de l'exercice de la souveraineté » et est donc lié à la notion de pouvoir (Giraut, 2008). La proposition d'Alexandre Moine qui consiste à concevoir le territoire comme un système d'interactions entre les trois sous-systèmes déjà évoqués – l'espace aménagé, les acteurs et leurs représentations – nous semble davantage opérante pour analyser les objets qui nous intéressent car elle s'appuie sur une vision dynamique du territoire et montre que sa construction est processuelle. Il n'existe ainsi pas de délimitation spatiale *a priori* du territoire, ce qui correspond également à la vision de Robert Sack, Claude Raffestin ou Sylvy Jaglin (Jaglin, 2014 ; Raffestin, 1980 ; Sack, 1986). Le territoire est la résultante toujours en mouvement d'un processus de territorialisation qui provient de l'action collective des acteurs sur leur environnement, elle-même influencée par la matérialité et par les représentations qu'ils s'en font.

En nous interrogeant sur les effets des synergies sur le territoire, nous posons donc la question de la manière dont elles modifient ce processus de territorialisation : de quelle façon changent-elles les interactions dynamiques entre l'espace aménagé et les relations d'acteurs qui mènent à cet aménagement ? Les travaux analysant les réseaux dans une perspective sociotechnique centrée sur la notion de territoire mettent en évidence, comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, une caractéristique importante : les grands réseaux historiques seraient l'armature matérielle du territoire et contribueraient à le solidariser (Offner et Pumain, 1996) sur les plans matériel, économique et social (Coutard et Rutherford, 2015 ; Dupuy, 1984).

Face à ce postulat, les transformations récentes des services urbains ont mené à une remise en question de cette capacité solidarisante. En premier lieu, la thèse du *splintering urbanism* (fragmentation par les réseaux) défendue par Stephen Graham et Simon Marvin (2001) et discutée par Olivier Coutard (2002b; 2008) part du principe que les réseaux conventionnels qui visent un service universel ont un rôle de redistribution et donc d'homogénéisation par des mécanismes de solidarité que permet le monopole public sur un territoire donné. La thèse du *splintering urbanism* propose de démontrer l'altération de ces mécanismes par l'émergence de *premium network spaces* qui s'extraient des réseaux conventionnels, rendus possible par la libéralisation des services. En second lieu, la thèse du post-réseau, discutée en introduction de cette thèse, s'accompagne d'un questionnement du même ordre, focalisé sur les solidarités

socio-spatiales (Coutard et Rutherford, 2013 ; Rutherford et Coutard, 2015). La sortie d'usagers du réseau centralisé pose en effet la question de sa pérennité économique (Coutard et Rutherford, 2013, p. 19) : « l'introduction et la promotion des systèmes technologiques décentralisés […] peuvent se trouver en contradiction avec les objectifs traditionnels de cohésion sociale en termes de fourniture de services en réseaux […]. En réduisant l'étendue territoriale de la fourniture de services, ces systèmes et leurs usagers se retirent des grands systèmes centralisés et ne contribuent plus à assurer leur viabilité techno-économique ». Le Tableau 1.1 issu de ces recherches et reproduit dans le premier chapitre de cette thèse montre d'ailleurs comment s'opposent dans cette conception les notions d'autonomie locale et de solidarité.

Toutefois, face aux perspectives de l'hyper-connexion dessinées par Fanny Lopez (2014) et discutées au premier chapitre, Jean Daniélou et François Ménard (2014) suggèrent de « réfléchir simultanément aux conditions et aux bénéfices de l'autonomie et de la solidarité en matière d'accès à l'énergie […] ; passer d'une solidarité mécaniste d'État de moins en moins protectrice socialement à une mutualisation coopérative entre territoires ; passer d'une gestion centralisée descendante à une intégration archipélagique des territoires, garantie et non plus assurée par des opérateurs centraux. Les soviets plus l'électricité, en somme, à moins que ce ne soit par elle ». Ainsi, les évolutions récentes de fourniture de l'énergie que sont l'émergence de circulations très locales de flux considérées dans cette thèse ne signeraient pas nécessairement la fin de la solidarité et de l'intégration du (ou des) territoire(s), mais elles en changeraient la nature. On peut d'ailleurs noter que certains acteurs économiques utilisent précisément l'expression « solidarité énergétique » pour désigner les échanges énergétiques locaux que nous considérons dans cette thèse (nous revenons plus précisément sur ces éléments empiriques dans le chapitre 6). La relation des synergies énergétiques urbaines à la solidarisation du territoire par le réseau doit alors être interrogée dans ses dimensions matérielle, économique et sociale.

Nous en arrivons ici à notre seconde sous-question de recherche, esquissée au départ de cette section : à quel point les synergies énergétiques urbaines génèrent-t-elles des interdépendances sur le territoire urbain et quels en sont les effets sur le fonctionnement de ce dernier ?

En d'autres termes, alors que les hypothèses du post-réseau ou du *splintering urbanism* auraient pour conséquence une perte de solidarité, nous nous posons la question de la

transformation des interdépendances que l'émergence de synergies énergétiques urbaines entraîne. Le passage du concept de solidarité à celui d'interdépendance nous permet précisément de ne pas préjuger du type d'interdépendances qui émergent, ce qui justifie d'ailleurs que nous n'utilisions pas la typologie d'Anne-Lorène Vernay citée plus haut (Vernay, 2013). Dès lors, il nous faut souligner une première différence fondamentale entre les connexions qui accompagnent le grand réseau centralisé et celles produites pour mettre en œuvre une synergie. En effet, alors que les premières sont indirectes entre les éléments du système sociotechniques pris deux à deux (Dupuy, 1984), les secondes créent des interdépendances directes entre la fourniture d'un service urbain et des activités dont l'existence ne dépend pas de ce service. Ainsi, les interdépendances créées par les synergies s'expriment à l'échelon local, voire micro-local, tandis que les solidarités qu'amène le réseau conventionnel sont diffuses, au sens où elles ne sont pas perçues individuellement par chaque acteur connecté. Dit autrement, il faut que le nombre d'usagers qui se retirent du grand réseau dépasse un certain seuil pour que son équilibre socioéconomique soit modifié tandis que le retrait d'un unique acteur d'une synergie peut y mettre fin.

Pour affiner cette hypothèse, nous nous tournons alors vers le champ de l'écologie industrielle et territoriale dont l'objet est précisément d'expliciter le caractère territorial des démarches d'écologie industrielle (Barles, 2010a). On y trouve effectivement quelques pistes mais qui restent à ce jour peu développées. En effet, si le territoire y est bien entendu considéré, il est, dans la majorité des travaux, davantage question d'évaluer quelles configurations territoriales, c'est-à-dire, par exemple, quels modes de gouvernance territoriale (Brullot, Maillefert et Joubert, 2014) ou quelles conceptions implicites du territoire par les acteurs de la démarche (Cerceau *et al.*, 2014) facilitent son émergence. On retrouve ici la portée normative ou « recherche-action » (Cerceau, 2013) de l'écologie industrielle.

Christophe Beaurain et Sabrina Brullot font toutefois une conception de l'écologie industrielle sous la forme d'un processus de développement territorial qui se rapproche davantage de l'angle sous lequel nous considérons le territoire (Beaurain et Brullot, 2011). Il s'agit en effet pour les auteurs de révéler le « caractère dynamique du processus de déploiement d'une symbiose industrielle au sein du territoire » et, au-delà, de montrer qu'une démarche d'écologie industrielle participe par elle-même à la construction d'un territoire. Ce dernier n'est donc pas réduit à un élément de contexte exogène et immuable mais constitue au contraire ce dont on observe l'évolution. De même, Juliette Cerceau explore l'hypothèse d'une co-construction du territoire et des symbioses industrielles, ces dernières se faisant

l'expression de l'émergence d'un territoire collectif (Cerceau, 2013, p. 44) : « l'écologie industrielle permettrait ainsi de penser les capacités et finalités de la mise en œuvre d'un projet collectif de territoire en cohérence avec les spécificités d'un territoire commun aux acteurs en présence. Elle deviendrait processus d'émergence et de prise de connaissance réflexive de ce territoire commun ». Ressort ainsi une conception de l'écologie industrielle, c'est-à-dire de la circulation de flux de matière et d'énergie, comme d'une forme d'armature matérielle du territoire, semblable en cela au réseau technique.

Cependant, ces travaux, s'ils proposent bien une approche qui résonne avec les questionnements que nous posons, ne peuvent nous fournir de piste quant aux réponses que nous pourrions y donner. En premier lieu, leur faible nombre et leur focalisation exclusive sur des études de cas industrielles ne nous permettent pas de tirer des conclusions que nous pourrions extrapoler au cas des synergies énergétiques urbaines. En second lieu, les analyses qui sont menées ne portent pas sur la question des effets des interdépendances qui émergent. En d'autres termes, c'est la construction de ces interdépendances, vu comme un processus de construction territoriale, qui est considérée (Beaurain et Brullot, 2011 ; Cerceau, 2013 ; Maillefert et Robert, 2014) et non la manière dont elles changent le fonctionnement territorial. Plus précisément, les effets de l'instabilité d'une synergie éco-industrielle, c'est-à-dire de l'évolution des relations matérielles, sociales et économiques qui l'entourent au cours du temps ne sont pas analysés. Ainsi, si les risques liés aux interdépendances supportés par les industries investies dans des synergies éco-industrielles (interruption ou variation non prévue du flux, impact du flux sur le processus interne de l'entreprise) sont connus depuis les débuts du champ (Ehrenfeld et Gertler, 1997), ce sont dans ces travaux davantage les aspects perçus positivement par les acteurs du territoire qui sont mis en avant.

Prenant le contrepied de cette vision, nous proposons une hypothèse qui incite à s'interroger sur les incertitudes que peuvent engendrer les interdépendances liées aux synergies et sur leurs effets. Il s'agit ainsi de se demander ce qu'il advient d'un service public essentiel lorsqu'il dépend de façon critique de l'implication d'acteurs individuels privés. En guise d'illustration, nous pouvons prendre l'exemple de l'usage d'une source de chaleur fatale industrielle pour chauffer une portion de territoire, mais l'analyse peut s'appliquer à toute autre forme de synergie : qu'advient-il du système énergétique local si l'industrie disparaît ou se désengage ? Comment cette incertitude est-elle prise en compte, quels risques entraîne-t-elle et quels sous-systèmes sociomatériels y sont vulnérables ? Plus particulièrement encore,

peut-on considérer que l'industrie est aussi vulnérable à l'interruption de la synergie que le service public local ?

De là, nous formulons notre deuxième hypothèse en ces mots : les synergies énergétiques urbaines sont à l'origine d'interdépendances fortement instables qui font peser des risques sur le fonctionnement du système énergétique local.

En somme, nous supposons que les synergies énergétiques génèrent bien des interdépendances au sein du territoire mais qu'elles peuvent évoluer sur le court terme sans que tous les acteurs ne le maîtrisent, ce qui empêche qu'elles engendrent une solidarité de long terme comme le fait le grand réseau centralisé. Pour éprouver cette hypothèse, il s'agit donc de vérifier qu'il existe bien des interdépendances, puis qu'elles entraînent des incertitudes qui entraînent à leur tour des risques et enfin que ces derniers ont des implications sur le système énergétique dans lequel s'inscrit la synergie. Nous avons ainsi défini trois sous-hypothèses :

- Des relations d'interdépendances sont créées entre les différents systèmes ;
- Les incertitudes quant à l'évolution des systèmes sociomatériels impliqués font peser un risque sur le devenir des flux, en raison des interdépendances ;
- Le système énergétique local s'en trouve vulnérabilisé.

C. Les principes d'évolution du réseau : un rapport à l'espace empreint de stabilisation plutôt que de croissance

Face à ces risques, se pose la question de la manière dont les différents acteurs perçoivent, projettent et par quelles stratégies ils construisent l'évolution d'un système énergétique local ainsi lié à une synergie. Comme nous l'avons vu, l'évolution des réseaux conventionnels est guidée par des prévisions, des objectifs ou des stratégies de croissance de la consommation (Coutard, 2010 ; Curien, 2014 ; Florentin, 2015), tandis que le cadre de transition énergétique dans lequel se place la promotion des synergies enjoint à l'opposé. Quels principes, alors, guident l'évolution de ces systèmes ?

Si l'on se réfère aux travaux d'écologie industrielle, on constate que, bien souvent, la synergie est considérée comme une première étape dont l'aboutissement serait la symbiose, c'est-à-dire la multiplication jusqu'à la systématisation des échanges de flux de matière et d'énergie entre industries, et plus largement sur le territoire (Beaurain et Brullot, 2011 ; Chertow, 2000, 2007 ; Erkman, 2004). On est donc face à un autre type de stratégie de croissance : non pas

celle des consommations individuelles, mais celle des flux prenant part à l'assemblage sociomatériel guidé par les principes de l'écologie industrielle.

À nouveau, les caractéristiques spécifiques des synergies énergétiques urbaines nous incitent à nuancer la possibilité d'y étendre ce résultat. La mise en place de ces dernières repose nécessairement sur la construction d'une infrastructure *ad hoc*, dont la faisabilité technico-économique est influencée par l'organisation spatiale du territoire. En outre, la construction et, plus précisément, le dimensionnement de cette infrastructure s'appuie sur la prévision des flux qu'elle doit faire circuler pour une durée déterminée. Or, comme nous l'avons mis en lumière afin d'arriver à notre seconde hypothèse, les flux, qui sont liés aux activités mises en réseau par la synergie, sont dans une certaine mesure incertains. Il existe donc une tension entre la construction d'une infrastructure statique pour une durée de long terme et des flux à l'évolutivité possiblement de court terme.

Nous n'entendons toutefois pas par-là que le modèle du réseau conventionnel centralisé n'est pas confronté à cette même problématique. Au contraire, comme nous l'avons mentionné dans le premier chapitre, la question de l'évolution de la pointe sur le réseau électrique pose de très nombreuses questions quant aux changements infrastructurels qui doivent ou non en découler (FNCCR, 2013 ; Poignant et Sido, 2010). Mais il existe ici une différence fondamentale : dans le modèle classique, l'incertitude sur le flux se trouve du côté de la demande, qui peut varier tant à la hausse (Guy et Marvin, 1996) qu'à la baisse (Florentin, 2015), mais pas du côté de la production sur laquelle l'opérateur exerce un contrôle bien plus fort. Ainsi, lorsque des stratégies de gestion des flux sont mises en œuvre, elles le sont du côté de la consommation et portent le nom de « maîtrise de la demande d'énergie » (Zelem, 2002) ou, plus récemment médiatisé, d'« effacement des consommations » (ADEME, 2014b). Les opérateurs et pouvoirs publics jouent alors sur les tarifications, la communication, l'information, la sensibilisation ou encore le contrôle à distance des appareils électriques pour faire évoluer à la baisse ou la hausse les niveaux de consommations en fonction du lieu et du moment. Ces stratégies sont en outre récentes relativement à l'histoire des grands réseaux centralisés : l'expression *demand-side management* ne fait son irruption qu'à la fin des années 1970 au sein d'entreprises d'électricité qui planifient jusque-là l'évolution du système sociotechnique en termes exclusivement infrastructurels (Sioshansi, 1992).

L'introduction d'une incertitude du côté de la demande tant que de la production qu'amènent les synergies dans une infrastructure en réseau est donc une situation peu connue, tant d'un

point de vue opérationnel qu'académique. Ainsi, nous en arrivons à notre troisième sous-question de recherche : quelles visions et stratégies d'évolution de la synergie sur le territoire sont construites par les acteurs, en particulier face aux incertitudes quant à l'évolution des flux ?

L'hypothèse que nous souhaitons défendre est que l'introduction de ces incertitudes change le rapport à l'espace dans les stratégies d'évolution du système en réseau. Si l'évolution spatiale des réseaux historiques s'est assise sur une logique de croissance des consommations, inscrite dans leur modèle économique, celle des réseaux qui sont le support des synergies serait liée à la recherche d'une stabilité. En cela, leur logique d'évolution se rapprocherait davantage de celle de l'interconnexion nationale et européenne des réseaux d'électricité (Chevalier *et al.*, 2008) qui, plus que la croissance des consommations, recherche une facilitation de l'équilibre entre productions et consommations en tout temps, mais la grande différence ici se trouverait dans l'échelle d'application de ce principe puisqu'elle serait infra-urbaine.

En outre, face à une telle hypothèse, se pose alors la question de la manière dont la proximité entre le système existant et les flux qu'on projette d'y intégrer est construite. La problématique de la proximité fait précisément l'objet de débats dans le champ de l'écologie industrielle et la notion se trouve d'ailleurs au cœur de l'un des arguments qui fonde le passage à l'écologie industrielle et territoriale, comme l'écrivent des auteurs du champ (Brullot, Maillefert et Joubert, 2014) : « l'écologie industrielle n'a de sens que si elle est considérée selon une perspective locale […] la construction du périmètre pertinent étant elle-même un des enjeux de l'action ». Plus précisément, s'appuyant sur l'exemple le plus fameux de symbiose industrielle, Suren Erkman montre comment la mise en œuvre de l'écologie industrielle est liée à l'organisation des activités dans l'espace (Erkman, 2001, p. 111) : « la symbiose de Kalundborg se caractérise par la proximité de quelques grandes entreprises qui sont à la fois différentes et complémentaires. Pour reproduire ailleurs un tel système, il faudrait donc favoriser certains « panachages industriels » propices aux échanges de déchets et de ressources ». Marian Chertow relève également que la symbiose industrielle s'appuie sur la proximité entre des activités complémentaires : *"the keys to industrial symbiosis are collaboration and the synergistic possibilities offered by geographic proximity"* (Chertow, 2000). Frank Schiller *et al.* en appellent à une considération plus étendue de l'espace dans les travaux d'écologie industrielle (Schiller *et al.*, 2014). Les auteurs estiment en effet que la plupart de ces derniers font de la localisation des activités une variable externe au problème, c'est-à-dire une donnée statique, alors que la simple observation montre qu'elle ne l'est pas.

À partir de ce constat, un débat s'est développé dans le champ quant au rôle des acteurs publics dans la construction de cette proximité et donc quant à leur implication dans la co-construction des circulations de flux de matière et d'énergie et de l'organisation spatiale du territoire. Cependant, ce débat reste centré sur une question d'efficacité : on cherche à mettre au jour les politiques publiques qui favorisent l'émergence des symbioses. Alors que certains auteurs considèrent que l'orientation des localisations des activités doit être considérée comme un instrument à part entière de la construction des parcs éco-industriels (Roberts, 2004 ; Tudor, Adam et Bates, 2007 ; Van Leeuwen, Vermeulen et Glasbergen, 2003), d'autres avancent qu'il est illusoire, voire non souhaitable, de chercher à planifier ces localisations (Conticelli et Tondelli, 2014). On se trouve donc face à des conceptions opposées de l'écologie industrielle, l'une planificatrice et l'autre libérale (Curien, 2014), mais qui font ressortir l'existence de stratégies différenciées des acteurs, dont certains uniraient en partie une certaine vision de la circulation des flux de matière et d'énergie et la planification de l'espace.

Dans une approche cette fois-ci plus analytique que prescriptive, quelques travaux s'interrogent sur les réponses des services urbains en réseau à des variations de flux et montrent qu'elles interagissent avec le processus de planification urbaine (Guy et Marvin, 1996) ou qu'elles peuvent prendre la forme d'un changement de territorialité et notamment d'une évolution des « échelles géographiques de leur exercice » (Florentin, 2015, p. 256). En outre, Pauline Gabillet autant que Laurence Rocher montrent que le déploiement des réseaux de chaleur inscrit dans des stratégies de transition énergétique entre en interaction avec les pratiques de planification du territoire (Gabillet, 2015a, 2015b ; Rocher, 2013). On constate donc, d'une part, que les évolutions de flux interrogent la planification spatiale et, d'autre part, qu'il existe un mouvement, certes perçu pour l'instant à la marge, d'intégration des planifications spatiales et énergétiques du territoire. L'ensemble de ces travaux encourage à supposer que l'émergence de synergies énergétiques vient resserrer les liens entre ces dernières.

Au terme de ce raisonnement, notre hypothèse se scinde en trois sous-hypothèses, qui s'expriment de la manière suivante :

- Les acteurs perçoivent une forme d'instabilité de l'assemblage sociomatériel en raison du caractère incertain qu'ils attribuent à l'évolution des flux échangés ;

- Ils déploient des stratégies d'évolution du réseau pour contrer cette instabilité ;
- Ces stratégies interagissent avec la planification spatiale du territoire sur lequel la synergie est déployée.

D. Synthèse de l'appareillage problématique et hypothétique de la thèse

Le Tableau 3.2 ci-dessous regroupe de manière synthétique l'ensemble des questions de recherches, hypothèses et sous-hypothèses qui constituent l'appareillage à travers lequel nous proposons d'explorer les synergies énergétiques urbaines. Il n'a pas pour objectif de pouvoir être lu de manière autonome mais simplement de proposer un récapitulatif de ce à quoi nous sommes arrivée au terme du raisonnement mené, qui a consisté à relire les résultats des champs de l'analyse sociotechnique des transformations des services urbains d'un côté et de l'écologie industrielle de l'autre, sous le prisme de notre objet.

Tableau 3.2 : Synthèse de l'appareillage problématique et hypothétique de la thèse

Problématique :	De quelle manière la mise en œuvre de synergies énergétiques urbaines reconfigure-t-elle le processus de co-construction sociomatérielle du réseau et de la ville ?	
Question de recherche	**Hypothèse**	**Sous hypothèses**
Comment expliquer que de tels systèmes émergent malgré l'apparente complexité à faire fonctionner ensemble des systèmes sociomatériels hétérogènes ?	La coordination entre les différents systèmes sociomatériels est justifiée par des stratégies, dont nous ne préjugeons *a priori* de la nature, qui dépassent l'intérêt technico-économique propre de la synergie.	Le gain technico-économique que représente la synergie n'est pas suffisant pour convaincre les acteurs.
		Des stratégies qui dépassent l'intérêt propre de la synergie entrent en jeu.
		Le caractère spécifique du flux échangé, lié à un service essentiel, entraîne un décalage des stratégies entre les acteurs publics et privés.
À quel point les synergies énergétiques urbaines génèrent-t-elles des interdépendances sur le territoire urbain et quels en sont les effets sur le fonctionnement de ce dernier ?	Les synergies énergétiques urbaines sont à l'origine d'interdépendances fortement instables qui font peser des risques sur le fonctionnement du système énergétique local.	Des relations d'interdépendances sont créées entre les différents systèmes.
		Les incertitudes quant à l'évolution des systèmes sociomatériels impliqués font peser un risque sur le devenir des flux, en raison des interdépendances.
		Le système énergétique local s'en trouve vulnérabilisé.
Quelles visions et stratégies d'évolution de la synergie sur le territoire sont construites par les acteurs, en particulier face aux incertitudes quant à l'évolution des flux ?	Les acteurs développent des stratégies d'évolution spatiale du système qui visent à en faire croître la stabilité.	Les acteurs perçoivent une forme d'instabilité du système sociomatériel en raison du caractère incertain qu'ils attribuent à l'évolution des flux échangés.
		Ils déploient des stratégies d'évolution du réseau pour contrer cette instabilité ;
		Ces stratégies interagissent avec la planification spatiale du territoire sur lequel la synergie est déployée.

II. Une approche en deux temps : des études de cas à la recherche de modèles de réorganisation

Alors que nous sommes parvenue à l'énoncé d'une question et nourrissons l'ambition d'y répondre, il nous faut à présent déterminer la façon de le faire, problématique tout aussi complexe sinon plus que la question posée. En effet, alors que l'objectif du chercheur est de rendre intelligible l'objet qu'il souhaite donner à comprendre, il doit dès les premiers temps de sa recherche accepter de le réduire pour pouvoir le saisir. Un compromis doit nécessairement être fait entre la finesse des grains de l'image donnée et la largeur du point de vue.

Face à cette contrainte, nous avons choisi dans cette thèse de mener notre recherche en deux temps, l'un principal et l'autre secondaire, l'un cherchant la finesse et l'autre l'ouverture, que nous présentons successivement dans une première section (A) : le premier passe par l'analyse fine de cas de synergies énergétiques effectivement mises en œuvre, dont le choix est un enjeu en lui-même tandis que le second s'appuie sur l'analyse des recompositions plus larges dans la manière de mettre l'urbain en réseau proposées par certains acteurs. Dans une seconde section, nous détaillons le protocole d'enquête suivi pour mener ces deux analyses et les sources que nous mobilisons (B).

A. Des études de cas pour comprendre finement les recompositions sociomatérielles à une observation plus large

L'approche par études de cas est au cœur de notre recherche. Si on la retrouve aujourd'hui de manière régulière au sein du champ de l'aménagement et des études urbaines tout comme de l'analyse sociotechnique (Latzko-Toth, 2009), elle ne va pas pour autant d'elle-même. Nous expliquons donc ici le raisonnement qui nous mène à la choisir (1) avant d'expliciter la manière dont nous avons sélectionné les trois cas qui constituent le matériau empirique de la deuxième partie de cette thèse (2). Enfin, nous présentons l'approche secondaire que nous entendons mener, qui vient compléter la première par une lecture plus large mais nécessairement moins fine des recompositions à l'œuvre (3).

1. Pourquoi des études de cas ?

La problématique choisie impose de notre point de vue sans conteste une démarche empirique principale par études de cas plutôt qu'une entrée par secteurs, acteurs, discours ou encore politiques publiques. Il s'agit en effet de faire tenir ensemble les spécificités d'un système

technique, de flux matériels et d'un territoire, ce qui ne peut se faire qu'en concentrant l'attention sur l'assemblage sociomatériel en lui-même. En d'autres termes, suivant notre problématique, nous ne pouvons extraire les synergies de la réalité qui les entoure, ce à quoi s'oppose précisément l'étude de cas (bien menée) (Feagin, Orum et Sjoberg, 1991).

Se pose alors la question du nombre de cas d'études (Yin, 2013). On pourrait en effet tout à fait envisager mener une monographie ou bien multiplier les cas pour viser une représentativité. Plusieurs raisons nous incitent à faire un choix intermédiaire. En premier lieu, la monographie ne nous paraît pas adaptée car comme nous l'avons montré dans le premier chapitre, les synergies ne se définissent pas par un modèle économique, une politique publique ou un modèle d'organisation communs. Au contraire, il s'agit d'un foisonnement de conceptions et d'initiatives que nous avons nous-mêmes regroupées dans la construction de notre objet mais duquel ressortent tout de même des formes canoniques (la récupération de chaleur fatale sur une activité productrice ou la mutualisation de productions décentralisées). La limitation à l'analyse d'un seul cas risquerait donc d'effacer des variations fondamentales entre ces formes.

Toutefois, étant donné le foisonnement rappelé plus haut, nous n'entendons pas donner à voir cet objet dans toute sa diversité, tâche impossible à mener : il s'agit plutôt de mettre en regard plusieurs synergies pour multiplier les interprétations possibles de cette évolution sociomatérielle. En d'autres termes, la démarche a pour objectif d'ouvrir de nouvelles voies d'exploration de l'évolution des systèmes énergétiques urbains plutôt que d'en fermer et ne vise donc pas à en produire un modèle unique qui serait le fruit d'une analyse quantitative. Ainsi, notre démarche ne relève pas tant de la comparaison que de l'accumulation, au sens où la diversité des interprétations qui peuvent ressortir d'études de cas fines et variées n'est pas considérée comme un inconvénient de la méthode mais, au contraire, comme un vecteur de richesse dans l'analyse des possibles.

En second lieu, le choix d'un grand nombre d'études de cas ne nous semble pas non plus opportun puisque, comme le montre l'énoncé de nos questions de recherche et hypothèses, nous ne souhaitons pas mener une lecture du terrain par une liste d'indicateurs simples et prédéfinis. De là, il n'est possible ni d'aborder un grand nombre de cas dans le temps d'une recherche doctorale, ni d'en rendre compte à l'écrit de manière suffisamment synthétique.

Enfin, il nous faut également constater que le nombre d'études de cas est limité par le nombre de synergies effectivement mises en œuvre ou projetées. Si le discours est foisonnant, on note

dans les faits que de nombreuses expériences restent à l'état de projet ou sont abandonnées en cours de route[55].

En définitive, notre choix se porte vers l'approche d'un petit nombre d'études de cas diversifiées, choisies après un recensement selon certains critères présentés dans ce qui suit.

2. Choix des études de cas : une accumulation plutôt qu'une comparaison

L'exploration des cas d'étude possibles a été menée par divers moyens :

- revue de presse *via* des bases de données nationales et internationales explorées par une liste spécifique de mots clés,
- consultation des descriptions des opérations urbaines labellisées ou primées sur les questions énergétiques et environnementales (label éco-cité ou éco-quartier, sur le site du MEDDE),
- consultation de sites internet spécialisés sur les questions de transition énergétique ou de projets urbains durables (sites du CEREMA),
- ou encore relevé des exemples cités dans la littérature opérationnelle et institutionnelle exploitée dans la première section.

Quelques entretiens ou échanges informels avec des spécialistes des questions d'écologie urbaine et industrielle, de la conception énergétique dans les projets urbains (bureaux d'étude) et des systèmes énergétiques urbains alternatifs ont également été menés pour tenter de garantir une relative exhaustivité de l'exploration du paysage à l'origine de notre enquête.

Au terme de ces recherches, nous avons relevé dans le contexte français une quinzaine d'opérations revendiquant la récupération ou la mutualisation de flux d'énergie comme fondement de la conception d'un système énergétique local, en fonctionnement, en développement, à l'état de projet, ou bien même arrêtés. Le Tableau 3.3 ci-dessous présente les synergies repérées par cette méthode.

[55] Ce constat est un résultat en lui-même, mais il n'est pas celui que nous cherchons à obtenir, comme l'indique notre problématique.

Tableau 3.3: synergies énergétiques urbaines en projets, en fonctionnement ou arrêtées repérées en France - dernière actualisation en février 2016

Type de synergie	Description de la synergie	Etat au début de l'enquête
Récupération	Récupération de chaleur sur une raffinerie à Strasbourg pour chauffer un quartier d'habitation	Arrêté
	Récupération de chaleur sur une usine d'enrichissement d'uranium pour chauffer la ville à Pierrelatte	Arrêté
	Récupération de chaleur fatale sur une usine d'Arcelor Mittal pour l'approvisionnement du réseau de chaleur urbain à Dunkerque	En fonctionnement
	Récupération de la chaleur d'un *data center* pour l'approvisionnement du réseau de chaleur du parc d'activités Val d'Europe	En fonctionnement
	Récupération de chaleur sur la Vallée de la Chimie pour chauffer la métropole de Lyon	En projet
	Récupération de la chaleur d'aciéries pour chauffer un quartier à Strasbourg	En projet
Mutualisation	Mutualisation de productions d'électricité photovoltaïque à Perpignan (Saint-Charles 2.0)	En projet
	Mutualisation des productions d'énergie renouvelable sur l'îlot Hikari (Lyon Confluence)	En fonctionnement
	Mutualisation des productions d'électricité photovoltaïque à Issy-les-Moulineaux (IssyGrid)	En fonctionnement
	Mutualisation énergétique sur les entrepôts MacDonald à Paris	Projet abandonné
	Mutualisation énergétique sur l'îlot Allar à Marseille	En projet
Combinaison	Mutualisation et récupération de chaleur des groupes de froid du tertiaire pour l'ECS du résidentiel à Châtenay-Malabry (Innovéa)	En fonctionnement
	Mutualisation et récupération de chaleur au travers d'un réseau basse température pour l'opération Paris-Saclay	En projet
	Mutualisation et récupération de chaleur au travers d'un réseau basse température à Marseille (Smartseille)	En projet

Trois critères ont alors été considérés pour le choix de nos cas d'étude principaux :

- Un avancement suffisant du projet, c'est-à-dire qu'il ne soit pas au simple stade de réflexion, mais qu'au mois une décision ait été prise et affichée de le mettre en œuvre ;
- Une communication suffisamment importante autour de la synergie. Ce critère possède une double portée : d'une part, il sous-entend que la synergie fasse partie d'une forme de stratégie pour certains acteurs et, d'autre part, il garantit que les acteurs soient ouverts, au moins dans une certaine mesure, à échanger sur le sujet.
- Une représentativité limitée, basée sur trois catégories caractérisant les systèmes :
    - Le principe de conception énergétique : récupération ou mutualisation ;
    - L'échelle de l'opération : îlot, quartier, agglomération ;
    - Le type d'activités impliquées dans la synergie : activités industrielles, tertiaires, commerciales, résidentielles ou équipements publics.

La conjonction de l'ensemble de ces critères nous a conduite à retenir en un premier temps quatre synergies :

- La récupération de chaleur fatale sur une usine d'ArcelorMittal pour l'approvisionnement du réseau de chaleur à Dunkerque ;
- La récupération de chaleur d'un *data center* pour l'approvisionnement du réseau de chaleur du parc d'activités du Val d'Europe (Marne-la-Vallée) ;
- La mutualisation des productions d'énergie renouvelable sur l'îlot Hikari à Lyon Confluence entre des bureaux, des commerces et des logements ;
- La mutualisation et les échanges énergétiques sur un îlot mixte à Châtenay-Malabry (opération Innovéa).

Cependant, les premières investigations de terrain pour le dernier de ces quatre cas (Châtenay-Malabry) nous ont montré que l'opération était considérée par certains acteurs comme un avatar moins ambitieux du projet Hikari, inscrit dans une même stratégie mais moins abouti. Il ne nous a donc pas semblé judicieux d'en faire un cas d'étude à part entière et nous avons décidé de faire de cette synergie un cas annexe, permettant de mettre en perspective les résultats obtenus par l'analyse des autres, au même titre que d'autres cas convoqués dans des encadrés au cours de l'analyse.

Malgré ce retrait, nous obtenons une diversité de situations satisfaisante au regard des critères que nous avons fixés : récupération et mutualisation, trois échelles spatiales (l'agglomération,

le quartier et l'îlot) et une diversité d'activités impliquées dans les échanges de flux (bureaux, logements, industries, installations tertiaires lourdes, commerces).

3. Une observation plus large des stratégies d'acteurs : quels modèles en construction ?

Comme nous l'avons expliqué dans l'introduction du chapitre, notre approche est menée en deux temps, la première étant toutefois largement privilégiée dans l'espace de la thèse car elle est un prérequis à une compréhension fine des mécanismes à l'œuvre. Ainsi, après l'analyse de cas d'étude, l'enjeu est de comprendre comment les modèles de systèmes énergétiques urbains évoluent ou non de manière plus large avec ces transformations sociomatérielles.

En d'autres termes, alors que les études de cas nous permettent de comprendre les recompositions qu'entraîne la mise en œuvre de synergies, nous agrandissons par la suite la focale pour explorer la manière dont les acteurs proposent, mettent en œuvre ou non des changements plus fondamentaux dans leur manière de concevoir la mise en réseau de la ville par l'énergie, qui s'extraient de cas particuliers liés à un contexte territorial. Ainsi, si l'on souhaite schématiser la distinction entre ces deux approches, nous pouvons qualifier la première d'approche par les systèmes sociomatériels en eux-mêmes et la seconde par les stratégies des acteurs impliqués ou projetant leur implication dans la production de ces derniers.

L'objectif de cette seconde approche est alors de sonder ces différentes stratégies afin d'y rechercher l'émergence de modèles alternatifs de réseaux qui, partant d'une volonté de mise en œuvre plus généralisée de synergies, viendraient remettre en cause l'organisation de la chaîne d'acteurs de l'approvisionnement énergétique. De là, il s'agit de comprendre en quelle mesure et de quelle manière ils se confrontent à ces derniers, c'est-à-dire, conformément à notre problématique, ce qu'ils reconfigurent dans la co-construction de la ville et des réseaux.

B. Protocole de recherche : sources et organisation du matériau empirique

De notre investigation du champ des STS, nous avons conclu qu'une méthode tirant son inspiration de l'approche commune des LTS et de l'ANT, poursuivant une analyse dynamique des assemblages sociomatériels, convenait bien à l'exploration de notre problématique. Nos hypothèses de recherche viennent ensuite fournir un guide plus précis des formes de processus

que l'on souhaite observer : l'initiation des synergies, leur exploitation et la construction de leur évolution. De là, nous tenons les fondements de notre protocole de recherche.

Toutefois, avant d'entrer dans l'analyse empirique de notre objet, il nous reste à présenter les sources que nous avons mobilisées pour mener notre investigation (1) et la manière dont nous entendons rendre compte de cette dernière (2).

1. Définition du périmètre d'investigation et des sources

Alors que nous avons défini un guide pour aborder les sources, nous n'avons pas répondu à une question qui vient pourtant en premier lieu lorsqu'il s'agit d'entrer dans le travail concret de l'investigation : quelles sont ces sources ? En d'autres termes, où commence et où s'arrête l'exploration du réel ? Sur ce point, il nous semble que le précepte de l'ANT consistant à « suivre les acteurs » résume parfaitement le travail qui doit être mené. Bruno Latour l'explique dans son analyse d'Aramis, sous la forme d'un dialogue entre un professeur et son élève, faisant en particulier référence à la notion de contexte par une approche qui nous semble tout à fait stimulante (voir Encadré 3.1 pour un développement plus long sur le contexte) (Latour, 1996, p. 128) :

> *« Il faut bien s'arrêter quelque part.*
> — *N'importe où, quand nous serons fatigués ?*
> — *Un, quand nous n'aurons plus d'argent pour des frais de mission ; deux, quand les contextualisateurs eux-mêmes s'arrêtent. S'ils nous disent : « Le ministre ne s'y est intéressé que quelques minutes, il avait d'autres chats à fouetter, il m'a chargé du dossier », nous pouvons rebrousser chemin puisque Aramis est perdu de vue par le ministre. Au-delà de cette limite, les analyses ne sont plus valables puisqu'elles ne sont plus spécifiques. On enquêterait sur autre chose, par exemple sur les transports terrestres ou sur les ministres communistes ou sur la technocratie. »*

Ainsi, la détermination du périmètre d'investigation des sources est menée de manière processuelle : les premières sources documentaires indiquent les premiers acteurs qui, eux-mêmes, indiquent d'autres sources ou d'autres acteurs, jusqu'à ce que l'on arrive à saturation, c'est-à-dire que les mêmes documents et interlocuteurs soient cités, ou bien jusqu'à ce que l'on ait plus accès au terrain. C'est ainsi que nous avons procédé, nous appuyant en premier lieu sur les documents publics ou sur la presse pour identifier nos premiers interlocuteurs et continuant de proche en proche jusqu'à ne plus rencontrer de nouveauté.

Encadré 3.1 – **Qu'est-ce que le contexte d'un projet technique ? Une lecture par Bruno Latour**

Extrait d' « Aramis ou l'amour des techniques », expliquant comment se construit et comment doit être analysé le contexte d'un projet (Latour, 1996, p. 115-116) :

« Un projet technique n'est pas dans un contexte, il se donne un contexte ou parfois ne s'en donne pas. Il ne faut pas « replacer les projets dans leur contexte », comme on le dit sottement, mais suivre comment le projet se contextualise ou se décontextualise. Pour cela, il faut remplacer le gros mot rigide de contexte par le petit mot souple de réseau. Les grandes explications par la politique, par l'économie, par l'organisation ou par la technique servent toujours fidèlement : « c'est inacceptable politiquement », « ce n'est pas rentable », « la société est bloquée », « c'est inefficace ». Précisément, ces explications servent toujours parce qu'elles sont inusables. Elles ne sont pas faites pour expliquer – auquel cas elles devraient s'user au contact des dures et tordues circonstances –, mais pour passer de main en main et servir, comme au furet, à se débarrasser du problème en désignant celui qui, par mégarde, a gardé l'anneau dans sa main.

[…]

Les quelques élus recrutés pas le projet, ce n'est pas La Politique ; les économistes qui calculent la rentabilité, ce n'est pas L'Economie ; les quelques ingénieurs qui évaluent Aramis est techniquement au point, ce n'est pas du tout la même chose que La Technique. L'impression d'un contexte qui entourerait le projet vient de ce qu'on oublie de compter les quelques médiateurs qui parlent au nom des sous, des *Corps*, des puces ou des électeurs. Rajoutons les porte-parole, et tout s'éclaire : le réseau s'étend mais il ne change pas de nature. A réseau, réseau et demi. »

Ainsi, dans les faits, pour nos études de cas, la collecte de données a été menée en deux temps : en premier lieu, nous avons collecté toutes les publications, rapports, présentations et articles de presse publiés en ligne concernant les cas retenus. Cette étape nous a en particulier permis de repérer une partie des acteurs impliqués. Nous avons également mené une revue des potentielles publications académiques mentionnant ces terrains d'une manière ou d'une autre et pouvant fournir des éléments empiriques de seconde main. Cette recherche s'est avérée infructueuse pour le cas du Val d'Europe et de Lyon, si ce n'est pour des éléments sans rapport direct avec la synergie, mais plus probante pour le cas de Dunkerque dont la démarche d'écologie industrielle a fait l'objet de nombreuses recherches (Beaurain et Brullot, 2011 ; Brullot, Maillefert et Joubert, 2014 ; Maillefert, 2014). Nous préciserons notre positionnement vis-à-vis de ces dernières lorsque nous aborderons spécifiquement ce cas.

En second lieu, nous avons mené des entretiens semi-directifs auprès des acteurs identifiés et avons ensuite suivi les indications qu'ils nous donnaient pour poursuivre notre enquête auprès d'interlocuteurs qui n'apparaissaient pas dans les documentations consultées. Une grille d'entretien générique visant à comprendre l'implication de l'acteur dans la synergie et sa lecture des processus qui l'animent a été construite et réadaptée à chaque situation, en fonction des données collectées au cours de l'enquête. Nous avons également tenté d'obtenir toutes sortes de documents de travail, techniques ou administratifs, jugés pertinents et diffusables par nos interlocuteurs au cours de ces entretiens. Dans le cas de Dunkerque, qui constitue la synergie la plus ancienne, nous avons pu consulter les archives municipales et communautaires, ce qui nous a permis de reconstituer en partie son émergence. Enfin, nous avons dans chaque cas pu effectuer une visite de terrain avec des experts techniques sur le site de la récupération ou du système de mutualisation, ce qui nous a permis de comprendre au plus près les contraintes spatiales et techniques de chaque système et la matérialité des différentes formes d'assemblages, au-delà des discours écrits et oraux. Nous nous sommes arrêtée lorsque les différents processus que nos hypothèses amènent à interroger (l'émergence, l'exploitation et la construction de l'évolution des synergies) ont pu être reconstitués avec suffisamment de précision ou bien que les portes se fermaient face à nos demandes, ce qui ne s'est produit qu'à la marge.

De manière générale, l'accès aux acteurs n'a pas été difficile : dans chacun des cas, nous avons pu rencontrer en face à face au moins une personne et, la plupart du temps, deux personnes appartenant aux diverses organisations impliquées dans l'émergence et le fonctionnement des synergies étudiées. Parfois, des demandes d'entretien répétées, malgré des accords de principe, sont restées sans réponse. Nous avons alors suivi une méthode de substitution consistant à rechercher des interventions publiques ou semi-publiques (lors de séminaires professionnels) des acteurs que nous cherchions à rencontrer, récoltant ainsi un discours moins orienté que lors d'un entretien mais tentant de profiter de ces événements pour poser des questions plus précises.

Dans l'ensemble, les acteurs n'ont pas exprimé de réticence à répondre à nos questions et ont exposé de manière relativement ouverte les situations de conflit qui pouvaient exister au sein du système d'acteurs. Cependant, nous avons éprouvé des difficultés à obtenir des données d'ordre financier, celles-ci demeurant souvent vagues autant dans le discours que dans les documents que les acteurs ont concédé nous communiquer. Nous revenons plus précisément

sur les limites spécifiques à chaque enquête au cours des analyses empiriques présentées dans les chapitres suivants.

Pour notre seconde approche, portée sur les modèles alternatifs de réseaux qui émergent des stratégies d'acteurs plutôt que sur des systèmes sociomatériels, notre entrée a sensiblement été la même. Nous avons conduit une veille des prises de position publiques des acteurs impliqués dans les synergies (promoteurs, aménageurs, collectivités, agences étatiques ou locales, énergéticiens, bureaux d'études, associations …) sur ces questions. Tout comme pour la mise au jour de cas d'étude, les sites et publications spécialisés ont été une première entrée pour identifier, en particulier, les acteurs les plus prolifiques et aux prises de position les plus tranchées. Par la suite, nous avons procédé de proche en proche en nous appuyant sur la co-identification des acteurs au travers d'entretiens, c'est-à-dire la référence d'un acteur à un autre sur le motif que ce dernier ait également investi la question. Les études de cas en elles-mêmes ont en outre été l'occasion de mettre au jour un certain nombre de ces acteurs, investis dans ces premières opérations. Enfin, les rencontres et séminaires professionnels portant sur l'énergie et/ou la ville auxquels nous avons pu assister (séminaires organisés par le Plan Urbanisme Construction Architecture, par l'association Amorce, par le réseau national de l'aménagement opérationnel, par l'ADEME, Assises européennes de la transition énergétique … *etc.*, voir liste complète en annexe) ont été une manière efficace de construire une vue d'ensemble des stratégies des acteurs et des modèles qu'ils proposent face à ces recompositions.

Ce travail peut *a priori* apparaître très complexe et sans fin si l'on considère l'ensemble des acteurs potentiels qui travaillent à la construction de la ville ou des systèmes énergétiques urbains et la diversité des stratégies qui peut en découler. Toutefois, l'ensemble des méthodes d'identification présentées ici nous a permis de parvenir rapidement à une saturation, c'est-à-dire que les mêmes entreprises, institutions ou collectivités ainsi qu'un petit nombre de modèles-types de réseaux alternatifs fondés sur la mise en œuvre de synergies revenaient sans cesse dans les discours, publics ou non. À partir de là, nous avons analysé ces modèles comme les formes les plus consolidées, au moment de notre enquête, de remise en cause des réseaux d'énergie conventionnels par l'émergence d'échanges décentralisés de flux entre activités urbaines.

L'ensemble des matériaux mobilisés (entretiens, visites accompagnés, séminaires, articles de presse, documents de travail, institutionnels ou d'archive) est répertorié en annexe.

2. Organisation du matériau empirique

Une fois que le matériau empirique est recueilli, ou tout au moins que l'on décide d'en cesser la récolte, se pose la question de la manière dont on souhaite le donner à voir. De notre point de vue, cette interrogation se pose en termes binaires : doit-on organiser le récit des différents processus reconstitués par hypothèses de recherche ou par terrain ?

Dans cette thèse, nous avons retenu la seconde alternative, pour trois raisons. En premier lieu, nous souhaitons de cette manière éviter de devoir présenter en amont les trois études de cas dans un texte qui soit déconnecté d'une lecture par les hypothèses et entraîne un certain nombre de redites. En second lieu, nous souhaitons que les éléments propres à chaque terrain soient plus facilement repérables dans le document et ainsi plus aisément mobilisables pour qui chercherait des éléments factuels propres à l'un d'entre eux. En outre, nous considérons à la suite de Dominique Lorrain que la mise en perspective des études de cas est d'autant plus convaincante que la spécificité de chacun d'entre eux dans son ensemble a été donnée à voir (Lorrain, 2011a, p. 34‑35) : « vouloir faire une comparaison terme à terme condui[t] à écraser cette réalité. L'usage de quelques indicateurs de comparaison n'a de sens qu'une fois compris l'organisation d'ensemble de chaque ville, ce qui en fonde la singularité ». Enfin, comme nous l'avons déjà précisé, notre seconde approche se nourrit de la première, ce qui nous incite à en présenter les résultats après le récit des études de cas.

Ainsi, nous présentons les résultats empiriques en deux temps. Tout d'abord, chacune des trois études de cas fait l'objet d'un chapitre au sein duquel chaque hypothèse est mise à l'épreuve au travers de récits processuels. Cependant, nous ne nous interdisons pas le dialogue entre ces chapitres, notamment lorsque les résultats présentés dans l'un répondent sans équivoque à d'autres évoqués plus tôt. Ensuite, nous faisons une analyse croisée de ces trois études pour faire émerger des résultats plus généraux, que nous mettons finalement à l'épreuve de modèles émergents de recomposition des réseaux énergétiques urbains face au développement des synergies, confrontés également à nos hypothèses.

Conclusion

À la suite de la construction d'une problématique et d'une posture de recherche, nous avons dans ce chapitre constitué un jeu d'hypothèses qui puissent être confrontées aux processus empiriques qui animent l'émergence et le fonctionnement des synergies. Pour cela, nous avons mis au jour les particularités de notre objet :

- En premier lieu, la forte hétérogénéité des systèmes sociomatériels qu'il met en lien ;
- En second lieu, sa relation à un service public essentiel ;
- Et enfin, l'introduction d'une vulnérabilité quant à la continuité des flux tant du côté de la production que de la consommation.

Convenant que ces caractéristiques appellent un réexamen des résultats de l'analyse des systèmes énergétiques urbains et des démarches d'écologie industrielle, nous avons émis trois hypothèses. La première porte sur les logiques qui poussent ou non les acteurs à prendre part à une synergie tandis que la seconde s'intéresse à l'importance des interdépendances qui naissent de cette mise en lien de l'urbain par l'énergie et que la troisième interroge les principes qui guident l'évolution du réseau ainsi construit. Le Tableau 3.4 ci-dessous récapitule, en termes très synthétiques et quelque peu schématiques, les hypothèses d'évolution qu'amènerait le développement des synergies énergétiques urbaines.

Tableau 3.4 : Hypothèses d'évolutions amenées par les synergies énergétiques urbaines dans la co-construction sociomatérielle de la ville et des réseaux d'énergie

	Grand réseau conventionnel	**Hypothèses d'évolution amenée par les synergies énergétique urbaines**
Logique sous-tendant la mise en réseau	Efficacité technico-économique pour fournir un service d'approvisionnement énergétique homogène sur le territoire	Stratégies qui dépassent l'intérêt technico-économique de la mise en réseau
Effets de la mise en réseau	Solidarisation du territoire	Interdépendances locales instables
Principe d'évolution du réseau	Croissance de la consommation par l'intensification et l'extension spatiale	Stabilisation du système qui interagit avec la planification urbaine

De là, partant de notre problématique, nous en sommes arrivée à proposer une approche en deux temps qui joint une analyse fine de trois études de cas choisies au terme d'un recensement le plus exhaustif possible à une investigation plus large des stratégies d'acteurs face aux recompositions qu'induisent les synergies énergétiques urbaines. La première constitue le cœur de notre recherche puisqu'elle seule permet de saisir la co-construction d'un

système sociomatériel et d'un territoire urbain, sous la forme d'un « assemblage ». La seconde a pour objectif de comprendre si les recompositions dans cette co-construction, dont nous avons fait l'hypothèse, sont prises en compte par les acteurs et se diffusent ainsi au-delà de cas spécifiques dans leur manière d'envisager la mise en réseau de l'urbain.

En second lieu, pour construire un guide plus précis de l'approche du terrain, nous traduisons nos hypothèses dans le vocabulaire des acteurs, afin de construire des grilles d'entretien ou de lecture de documents. La collecte du matériau est en outre incrémentale puisque, conformément au précepte de l'ANT, nous suivons les acteurs, qui nous guident vers les limites de ce qui appartient à l'assemblage sociomatériel.

Enfin, des considérations tant pratiques que méthodologiques nous incitent à présenter les éléments empiriques par terrain plutôt que par hypothèse. La partie suivante de la thèse donne donc à voir, selon cette logique, les cas de Dunkerque, du Val d'Europe et de Lyon les uns après les autres tandis que les formes de recompositions plus larges sont développées dans la dernière.

Partie 2

Une analyse sociomatérielle de formes alternatives de mise en réseau de la ville

Alors que nous avons construit des hypothèses et une méthodologie dans la partie précédente, nous menons dans ce qui suit une analyse de trois cas de synergies énergétiques urbaines, telles que nous les avons définies. La première d'entre elles se trouve à Dunkerque (Chapitre 4), la seconde au Val d'Europe (Chapitre 5) et la troisième à Lyon (Chapitre 6). Dans chaque cas, les trois hypothèses que nous avons construites sont tour à tour mises à l'épreuve des éléments empiriques récoltés au travers d'enquêtes de terrain et tout particulièrement d'entretiens semi-directifs, qui sont largement cités. Chacun de ces chapitres peut être lu indépendamment mais des références croisées sont régulièrement faites : les cas sont sommairement comparés aux cas analysés dans les chapitres précédents pour construire progressivement des conclusions d'ordre général. Toutefois, une mise en perspective bien plus systématique est menée dans la dernière partie de la thèse.

Chapitre 4 – Des minerais au réseau d'agglomération : la récupération de chaleur industrielle à Dunkerque

« L'agglo' ? J'y ai travaillé pendant un moment. Quand j'y étais, je me disais, il y fait tellement chaud … on pourrait s'en servir pour faire du chauffage ! »

Conversation informelle avec un agent de sécurité du site d'ArcelorMittal Dunkerque, le 16/04/2015

« Le Nord Pas de Calais, c'est le Qatar de l'énergie fatale. »

Frédérick Mabille, directeur énergie de la communauté urbaine de Dunkerque (CUD), citant Louardi Boughedada, ancien vice-président de la CUD, aux 11èmes rencontres des réseaux de chaleur

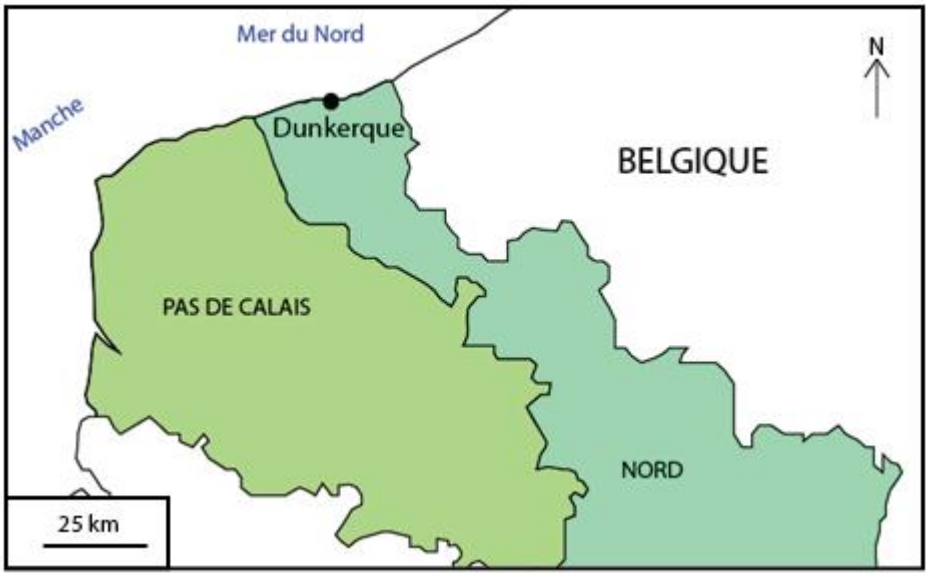


Figure 4.1 : Localisation de Dunkerque dans le Nord-Pas-de-Calais – Réalisation personnelle

Le premier de nos cas d'études se situe à Dunkerque, dans le département du Nord (voir la localisation Figure 4.1). Ville fortement industrialisée, son économie est marquée par le développement de la sidérurgie « sur l'eau » dans les années 1960, suite à une décision de l'Etat (voir Figure 4.3 les installations sidérurgiques depuis la mer). Depuis cette époque, nombre d'activités industrielles sont implantées dans la région dunkerquoise et tout particulièrement sur le port, géré par un Port Autonome au territoire d'action inclus dans celui de la Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD – voir la composition de cette dernière

Figure 4.2). Malgré les difficultés économiques du secteur industriel émergeant au cours des années 1970, qui se traduisent par une forte décroissance des effectifs dans la sidérurgie et par la fermeture des chantiers navals dans les années 1980, les élus locaux font le pari de continuer à asseoir le développement économique du territoire sur ce secteur (Laperche, Lorek et Uzunidis, 2011).

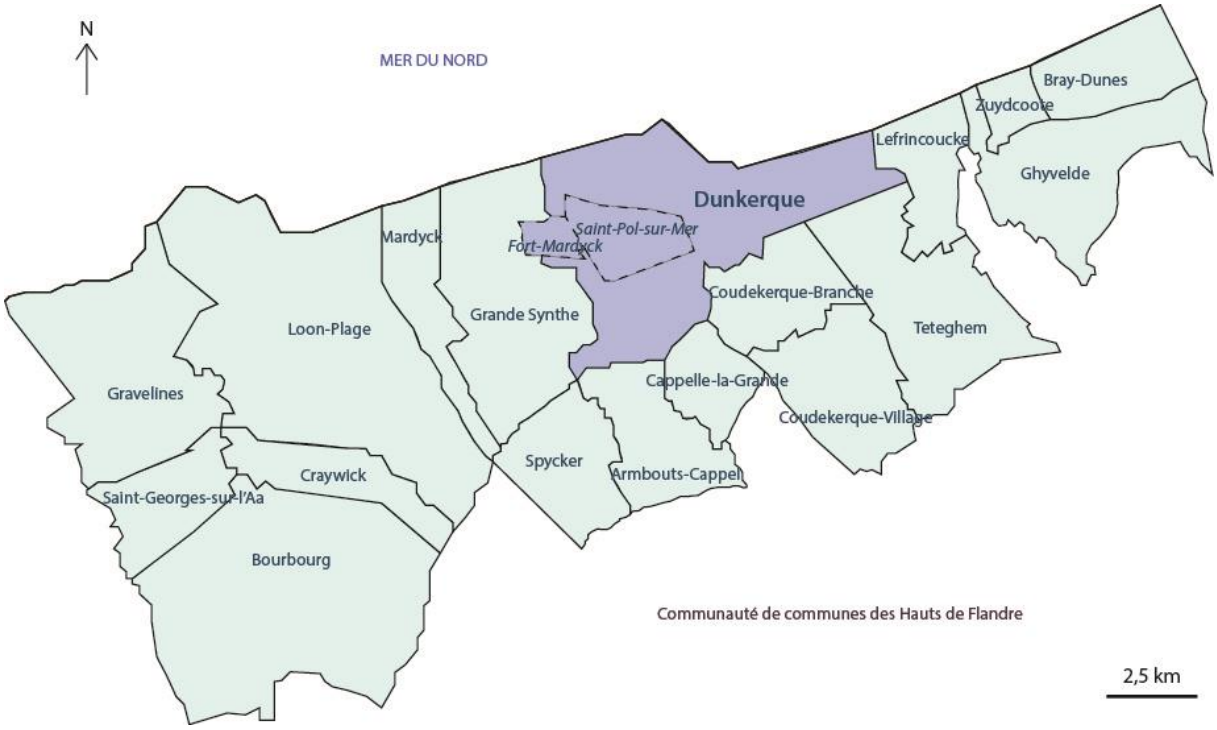


Figure 4.2 : La Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD) - Réalisation personnelle

Figure 4.3 : Installations industrielles d'ArcelorMittal Dunkerque vues depuis la mer - Par Franz-Josef Molitor - Dunquerke_12177, CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38771974

Au cours des années 1980 également, émerge un système énergétique local singulier qui tire précisément parti de cette présence industrielle : un réseau de chauffage urbain alimenté par une partie de la chaleur fatale produite par l'activité sidérurgique est construit. C'est précisément cette synergie qui fait l'objet de ce chapitre.

Avant d'entrer dans l'analyse de cette récupération, il nous faut préciser que l'agglomération dunkerquoise a déjà fait l'objet de recherches sur la question de la circulation des flux de matière et d'énergie dans le cadre de l'écologie industrielle et territoriale. Le territoire abrite en effet une association d'écologie industrielle ayant pour vocation la mise en lien des industries pour favoriser les échanges de matière et d'énergie ainsi qu'un certain nombre de synergies effectives (Varlet, 2012). Plus précisément, les démarches et relations d'acteurs qui entourent l'écologie industrielle ont été étudiées dans le cadre de deux enquêtes, l'une centrée sur les enjeux de gouvernance (Beaurain et Brullot, 2011 ; Brullot, Maillefert et Joubert, 2014), l'autre sur les entreprises impliquées (Beaurain et Varlet, 2014b, 2014a, 2015 ; Varlet, 2012). Ainsi, la question de la construction du réseau de chaleur en tant que système d'approvisionnement énergétique est laissée de côté. La récupération de chaleur fatale n'est pas oubliée, mais lorsqu'elle est évoquée individuellement, elle est considérée comme un échange entre deux entreprises (Beaurain et Varlet, 2014a, 2014b ; Maillefert, 2014). Dès lors, le processus de construction de l'infrastructure urbaine ne fait pas partie de l'analyse.

Concentrant au contraire notre regard sur cette dernière et sur sa relation à la récupération, nous commençons par présenter les acteurs impliqués dans sa construction et son exploitation et, surtout, leur évolution dans le temps, ainsi que la nature précise de la chaleur récupérée et du réseau qui la distribue (I). Puis, nous montrons que la récupération de chaleur s'est développée en deux étapes qui correspondent à des logiques différentes de construction de la synergie et d'évolution du réseau (II). Nous montrons ensuite que l'exploitation de la synergie entraîne sans ambiguïté des interdépendances entre les modes de fonctionnement du réseau et de l'entreprise productrice de la chaleur fatale (III). Enfin, nous avançons que cette synergie est replacée par les acteurs publics ou parapublics du territoire dans une stratégie plus large de multiplication des circulations thermiques qui contribuent à guider l'évolution de la mise en réseau local et qui mettent la question des incertitudes au cœur de leurs réflexions (IV).

I. Un système technique hétérogène encadré par un système d'acteurs en recomposition

Avant d'entrer dans l'analyse de la synergie guidée par nos hypothèses de recherche, il nous faut donner des repères quant aux acteurs qu'elle implique et à ses spécificités techniques. Autrement dit, il nous faut présenter les acteurs humains comme non-humains (Latour, 1996) qui seront les protagonistes de notre récit analytique. La séparation faite entre ces deux sous-ensembles du système, qui peut sembler s'opposer à notre revendication d'une approche sociomatérielle, disparaît dans la suite du chapitre. Elle n'est faite à ce stade que dans un souci de clarté, notamment pour comprendre les évolutions locales qui n'ont pas directement à voir avec la synergie mais qui impliquent des changements dans la configuration des acteurs au cours de son histoire.

Ainsi, dans une première section, nous présentons les nombreuses recompositions que les acteurs impliqués ont subies depuis l'initiation de la synergie, mais de manière plate, c'est-à-dire sans expliquer la formation de cette configuration d'acteurs qui fait l'objet de la partie suivante de ce chapitre (A). Dans une seconde, nous présentons le système technique et son organisation, d'une part du côté de la récupération et, d'autre part, du côté de la distribution de la chaleur (B).

A. Une organisation tripartite sujette aux évolutions locales comme mondiales

L'organisation des acteurs directement impliqués dans l'émergence et l'exploitation de la synergie que l'on se propose d'analyser dans ce chapitre est, à première vue, relativement simple. En effet, elle n'est composée que de trois acteurs centraux – nous verrons au cours du récit que quelques acteurs « ressources » sont plus récemment convoqués – : un industriel producteur de chaleur fatale, lié par un contrat de fourniture de chaleur à un opérateur énergétique, lui-même sous contrat de concession lié à une délégation de service public (DSP) pour construire et exploiter le réseau pour le compte d'une collectivité locale.

Pour autant, depuis son origine en 1985, ces différents acteurs ont subi des transformations que nous nous proposons de retracer ici. Ainsi, si la chaleur fatale récupérée provient des mêmes installations techniques liées à des aciéries (voir la section suivante) depuis le début, le propriétaire de ces dernières a changé. En 1985, c'est l'entreprise privée Usinor – pour Union Sidérurgique du Nord de la France – résultat de la fusion de plusieurs sidérurgistes du Nord et de l'Est de la France, qui gère les installations locales. Comme l'indique son nom,

l'implantation des activités de l'entreprise est de portée régionale. À la fin des années 1970, l'entreprise connaît de grandes difficultés économiques : un plan de sauvetage du secteur de la sidérurgie est lancé par l'Etat, qui devient majoritaire dans l'actionnariat d'Usinor et mène de nouvelles fusions (Malézieux, 1980). Finalement, en 1982, alors que les difficultés économiques persistent, l'entreprise est nationalisée avec l'accord de ses dirigeants (Berger, 2006). En 1986, une nouvelle fusion à l'échelle nationale fait naître Usinor-Sacilor. La crise de la sidérurgie perdure jusque dans les années 1990 mais la santé économique de l'entreprise apparaît meilleure, si bien que l'Etat décide en 1995 de la « rendre » au secteur privé.

Au début des années 2000, l'entreprise sort de l'échelon national à travers une fusion avec plusieurs sidérurgistes européens – l'espagnol Arcelaria et le luxembourgeois Arbed – pour donner Arcelor, officiellement créé en 2002, qui devient le premier producteur mondial d'acier. Quelques années plus tard, en 2006, l'entreprise européenne subit une offre publique d'achat hostile, très médiatisée, de la part de son concurrent principal, l'indien Mittal Steel Company (Drouvot, Amaral et Magalhães, 2010) : c'est ainsi que naît le géant mondial ArcelorMittal. Aussi, inscrites au départ dans une stratégie régionale dans laquelle les acteurs publics ont toujours joué un rôle plus ou moins resserré, les aciéries de Dunkerque ne sont à présent qu'un petit morceau d'une entreprise mondiale sur laquelle les acteurs locaux ont peu de prises, ce qui, nous le verrons plus loin, n'est pas sans effet sur la synergie.

À l'autre bout de la valorisation de chaleur fatale, se trouvent les collectivités locales. En 1985, elles sont trois communes adjacentes à être impliquées dans l'émergence du réseau : Dunkerque, Saint-Pol-sur-Mer et Grande-Synthe (voir Figure 4.2 leurs localisations respectives). Pour mettre en œuvre la construction et la gestion du réseau, un syndicat *ad hoc* est créé, regroupant les trois communes : ainsi est né le Syndicat Intercommunal de Chauffage Urbain de la Région Dunkerquoise (le SICURD). En 1987, suite aux résultats d'études montrant l'impossibilité d'étendre le réseau à la commune de Grande-Synthe dans un futur proche, cette dernière se retire du syndicat, si bien que seules les deux premières communes y ont une participation. En 2011, les communes de Dunkerque et de Saint-Pol-Sur-Mer fusionnent et, en conséquence, le SICURD est dissout. La gestion du réseau revient alors à la ville de Dunkerque, mais ce changement administratif a peu d'influence concrète puisque le travail opérationnel d'administration reste mené par le service énergie de la ville, qui fait partie de la direction des services techniques. Il ne s'agit toutefois que d'une faible part de son travail, qui consiste bien plus largement à gérer l'approvisionnement en énergie et en eau des

bâtiments et équipements municipaux (Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015)[56].

Plus tard, en 2015, un changement plus profond survient en conséquence de la promulgation de la loi de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (dite loi MAPAM). Cette dernière dispose en effet que les compétences liées à la gestion des réseaux de chaleur des communes doivent être transférées vers les communautés urbaines. À Dunkerque, les charges, dettes et contrats liés au réseau sont donc progressivement transférés de la ville à la CUD au cours de l'année 2014 (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014). Cette dernière se saisit début 2015 du rôle d'autorité concédante pour la gestion du réseau de chaleur, compétence mise en œuvre dans les faits par la direction énergie de la CUD[57], dont l'un des agents a pour mission de gérer les contrats de concession avec l'ensemble des opérateurs énergétiques. L'échelle de conception et de gestion du réseau de chaleur n'est donc plus la même et nous verrons que l'anticipation de cette évolution amène des réflexions sur l'organisation des sources de chaleur, et en particulier sur la question des synergies. En outre, ce passage de compétence à l'échelon de la communauté urbaine fait de la CUD l'autorité organisatrice de l'ensemble des réseaux d'énergie sur le territoire communautaire, c'est-à-dire en plus du réseau de chaleur, des réseaux de distribution d'électricité et de gaz. Alors que la gestion de ces derniers est en général déléguée à des syndicats (le plus souvent départementaux) (Gabillet, 2015b ; Poupeau, 2007), il s'agit ici d'une particularité du territoire dunkerquois[58].

[56] Il n'a jamais existé de poste dédié à la gestion du réseau de chaleur dans ce service composé de 5 personnes au moment de notre enquête : le directeur du service s'en est toujours chargé, cela représentant en outre une très faible part de son activité (Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015).

[57] Cette direction, qui comprend 19 agents au moment de notre enquête, fait partie de la direction générale « Ville et environnement » de la CUD qui regroupe l'ensemble des services techniques dont elle a la compétence. Outre la gestion des contrats de concession menée par le service « production et distribution », la direction énergie s'occupe de la gestion énergétique des bâtiments et équipements propriétés de la CUD, de l'information et de la sensibilisation du public *via* un espace info-énergie, le tout au travers d'un service « utilisation rationnelle de l'énergie » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014).

[58] Cette particularité est d'ailleurs revendiquée comme un avantage pour mettre en œuvre une stratégie énergétique locale en tirant parti du regroupement de l'ensemble des compétences liées à l'aménagement du territoire au sein d'une même structure : « *[La valeur ajoutée des syndicats]* est technique, on est bien d'accord, le réseau électrique, les enfouissements de travaux, ça d'accord. Mais ce n'est pas ça, l'avenir il n'est pas là. Il est dans les structures communes intégrées, politiquement et techniquement sur l'aménagement, la ville durable. […] Je travaille beaucoup en transversalité. En quoi mes projets ont un impact ou pas chez mes collègues ? Que ce soit dans l'habitat, il y a de l'énergie aussi dans l'eau, dans l'assainissement, il y en a partout. Moi je dis, je suis le directeur énergie, donc vos activités autour, vous êtes des ressources pour moi. L'eau en étant une, avec l'assainissement, j'ai des réseaux de chaleur partout dans la ville. C'est un peu de l'économie circulaire si vous voulez, mais c'est un déchet, c'est une chaleur fatale qui est à disposition, pourquoi je n'irais

Enfin, entre l'aciériste et la collectivité, se trouve l'exploitant du réseau. À l'origine, en 1985, la concession est attribuée à la Compagnie Générale de Chauffe (la CGC), spécialisée dans l'exploitation de services énergétiques. Cette dernière devient Dalkia en 1998 suite à un rachat par la Compagnie Générale des Eaux (CGE) qui deviendra plus tard Véolia. Au départ, Dalkia est une filiale commune de Véolia et d'EDF mais l'entreprise est aujourd'hui entièrement détenue par EDF pour ses activités en France[59]. Finalement, en 2001, une filiale locale de Dalkia, uniquement dédiée à l'exploitation du réseau de chauffage de Dunkerque, est créée et prend le nom d'Energie Grand Littoral (EGL), suivant une logique de séparation claire des comptes liés au réseau de chaleur dans ceux de l'entreprise, dans le cadre du suivi de la concession. EGL reste jusqu'à aujourd'hui l'exploitant du réseau. Contrairement au cas des deux autres acteurs, ces transformations successives ne changent pas concrètement le cadre de la gestion du réseau, notamment parce que les agents de la gestion restent employés de l'entreprise mère Dalkia : l'exploitation est donc depuis les débuts menée par une antenne locale d'un acteur spécialisé dans l'exploitation de services énergétiques.

L'ensemble de ces évolutions et des relations formelles (juridiques) qui lient ces acteurs centraux est récapitulé sur la Figure 4.4.

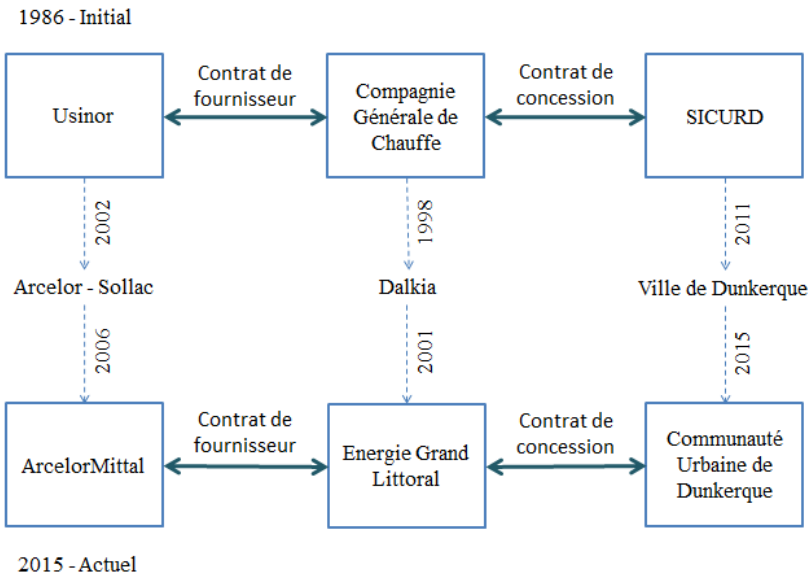


Figure 4.4 : Récapitulatif de l'évolution des acteurs de la synergie entre 1986 et 2015 – Réalisation personnelle

pas la chercher, pourquoi je ne permettrais pas de chauffer des bâtiments ? Les déchets je les incinère, je les récupère » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014).

[59] Voir la page « qui sommes-nous » du site internet de l'entreprise, consultée la dernière fois le 17/03/2016 http://www.dalkia.fr/fr/groupe/

B. Le système énergétique

Cette présentation des acteurs donne finalement une première image du système énergétique mais elle n'est pas suffisante. Si la chaleur distribuée par le réseau provient en majorité des installations d'ArcelorMittal, cette seule caractéristique n'épuise pas la diversité de la nature des flux d'énergie et des infrastructures qui composent le système, pour deux raisons. En premier lieu, les installations d'ArcelorMittal sont nombreuses, étendues spatialement et de nature très diverses. En second lieu, la seule récupération ne suffit pas à fournir une chaleur correspondant à la demande des abonnés en tout temps et elle est donc complétée par d'autres sources réparties sur le territoire urbain. Cette section aborde ces deux points, présentant en premier lieu les caractéristiques de la source principale de chaleur (1) et traitant ensuite de l'organisation du réseau et de la distribution des sources complémentaires (2).

1. Cuire puis refroidir : une source de chaleur industrielle

La chaleur, présentée en général dans la communication des collectivités et du concessionnaire comme provenant des « hauts fourneaux » d'ArcelorMittal, est en fait récupérée au sein d'une partie très spécifique du processus de fabrication de l'acier, qui ne correspond précisément pas aux hauts fourneaux. Elle est générée au sein de l'unité « matagglo » de l'entreprise, abrégé de matières agglomérées, dont la gestion ne représente qu'une petite partie du processus de production de l'acier et donc de l'effectif de l'entreprise (300 sur 3500), tout comme son étendue spatiale ne représente qu'une petite partie du site de l'industriel (voir Figure 4.5) (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015).

L'ensemble du site d'ArcelorMittal à Dunkerque a pour fonction la transformation de matières brutes, qui arrivent sur le port par voies maritimes, en acier conditionné sous forme de « brames » et de « bobines laminées », principalement par la fusion de fer et de charbon au sein de ce que l'on appelle les hauts fourneaux. Au cours de la transformation des minerais, il est nécessaire de produire ce qui porte le nom d'« aggloméré ». Ce dernier correspond à un état intermédiaire du minerai dans lequel le fer forme des petits morceaux solides qui contiennent de l'air. Pour l'obtenir, on mélange des minerais de fer fin avec de l'eau et un

combustible et on chauffe à très haute température (1100 à 1200°C), ce qui provoque l'agglomération des minerais fins et leur confère une porosité[60].

Figure 4.5 : Organisation spatiale des différents processus au sein d'ArcelorMittal Dunkerque – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) et d'un plan d'ArcelorMittal

Cette cuisson du mélange est menée au sein de ce que l'on appelle les « chaînes d'agglomération » (voir Figure 4.6) : à l'entrée, une hotte d'allumage crée une flamme qui évolue tout au long des 125 mètres de la chaîne. Le tout peut être comparé à une « grande pipe » (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015). Lorsque les matières arrivent au bout de la chaîne, le mélange est « cuit » et donc solide. Pour le déplacer, il est alors nécessaire de le casser et, surtout, de le refroidir. Le matériau ainsi produit sort en effet de la chaîne d'agglomération à une température de plusieurs centaines de degrés Celsius (proche de 900°C), ce qui compromet son transport en l'état puisque qu'il entraînerait une

[60] Nous avons obtenu ces informations auprès du responsable environnement et risques technologiques et du responsable des travaux des chaînes d'agglomération du site d'ArcelorMittal Dunkerque. Le premier nous a décrit ce processus en le comparant à la fabrication d'un « gâteau » (ce qui correspond au jargon utilisé dans le milieu de la sidérurgie) : en chauffant un mélange d'eau et de fer fin et en le chauffant, on forme des « grumeaux ».

usure trop importante des équipements (Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015).

Figure 4.6 : La chaîne d'agglomération n°3 du site d'ArcelorMittal à Grand-Synthe – Source : capture reportage explicatif de la récupération de chaleur réalisé pour le compte de Dalkia pour les Assises de l'énergie 2008 – vidéo fournie par Energie Grand Littoral

Aussi, immédiatement après avoir été chauffé, l'aggloméré doit être refroidi. Cette alternance de chauffage et refroidissement n'est pas unique dans le procédé de traitement des minerais, ce qui provoque d'importantes consommations d'énergie au cours des différents processus de fabrication de l'acier[61]. Pour le cas particulier de l'aggloméré, l'abaissement de la température est réalisé au sein de ce que l'on appelle un « refroidissoir » (voir Figure 4.7), structure circulaire dans laquelle l'aggloméré tourne tandis que de l'air ambiant circule pour venir le refroidir, jusqu'à une température inférieure à 100°C (de l'ordre de 80 à 100°C).

C'est à cette étape précise de la fabrication de l'acier que la chaleur fournie au réseau de chauffage urbain est récupérée, grâce à une hotte de captation qui aspire l'air chaud et

[61] L'extrait d'entretien suivant en est une illustration particulièrement parlante : « il y a des pertes partout. On n'arrête pas de chauffer et de refroidir. Il faut chauffer pour transformer, il faut refroidir pour avoir les caractéristiques, après il faut réchauffer pour d'autres traitements et puis il faut chauffer, même quand on est à peu près chaud. Si vous prenez, une brame, une tôle *etc.*, quand c'est chaud, par définition, c'est jamais chaud à la même température partout, l'extérieur est plus froid, l'intérieur est plus chaud *etc.*, tandis que quand vous voulez faire un traitement, vous avez besoin d'une température homogène. Donc la température homogène comment … ben vous réchauffez un peu tout. Et une fois que c'est fait, qu'est-ce que vous voulez ? Vous voulez refroidir … » (Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015).

transfère ses calories à l'eau qui circule dans les tuyaux du réseau au travers d'un échangeur thermique. Le système est comparé à « une grosse cocotte-minute » (Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015) : un ventilateur refroidit l'aggloméré qui est placé sous le « couvercle » qu'est la hotte de captation après laquelle se trouve un échangeur[62] de chaleur « air-eau » qui permet de réchauffer l'eau qui « s'en va à Dunkerque réchauffer les petits vieux, les hôpitaux, la piscine … » (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015).

Figure 4.7 : Aggloméré en cours de refroidissement sur un refroidissoir – Source : capture reportage explicatif de la récupération de chaleur réalisé pour le compte de Dalkia pour les Assises de l'énergie 2008 – vidéo fournie par Energie Grand Littoral

La première captation fonctionnant sur ce principe, mise en œuvre en 1985, récupère la chaleur à la sortie de la chaîne d'agglomération « n°3 » du site, qui produit environ 20 000 tonnes d'aggloméré par jour. En 2008, une deuxième captation est mise en place, sur la chaîne d'agglomération « n°2 »[63], qui ne produit « que » 5000 tonnes d'aggloméré par jour[64]. Cette différence de volume de production se traduit dans la puissance énergétique disponible sur chacune des installations de récupération : 20 MW pour la première et seulement 8 MW pour

[62] Un échangeur est un équipement technique qui permet de transférer des calories d'un fluide à un autre sans que les matières ne se mélangent. Dans ce cas, on transfère la chaleur de l'air qui a servi à refroidir l'aggloméré à l'eau qui circule dans le réseau de chaleur.
[63] Les chaînes d'agglomération n°2 et n°3 sont les seules en fonctionnement à ce jour, la première étant hors service depuis de nombreuses années car jugée trop ancienne.
[64] Ce chiffre comme le précédent nous ont été communiqués en entretien, et comme nous le verrons plus loin, il reflète une capacité plutôt qu'une production réelle.

la seconde. Au travers de la seconde opération, la récupération de chaleur est couplée à celle de poussières, qui sont réinjectées dans le système de production alors qu'elles étaient auparavant dispersées dans l'atmosphère. La quantité de chaleur récupérée par les captations est mesurée directement au niveau des hottes, par des compteurs dont les mesures sont utilisées dans la facturation de l'énergie d'ArcelorMittal vers EGL, dont nous analyserons plus loin les ressorts (Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015).

2. La production complémentaire et la distribution

Depuis l'installation de la deuxième captation de chaleur, la récupération fournit environ 100 000 MWh par an aux abonnés du réseau. Toutefois, la consommation totale enregistrée sur ce dernier est quant à elle de l'ordre de 140 000 MWh. La chaleur fatale industrielle ne constitue donc qu'un peu plus de 70% de l'énergie livrée par le réseau. Le complément provient de deux types de sources différentes.

Figure 4.8 : Plan du réseau de chaleur de Dunkerque – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) – Source plan du réseau : document Raccordement au CVE de Dalkia - 22/03/2013

En premier lieu, dès 1986, des chaudières d'appoint approvisionnées au fioul sont installées au sein de la « chaufferie de l'Île Jeanty » qui remplit également d'autres fonctions que nous

développons plus loin. En second lieu, trois centrales à cogénération qui brûlent du gaz naturel pour produire de l'électricité et de la chaleur sont installées en 1993 (pour les deux premières) puis en 2004 (pour la dernière). La localisation de l'ensemble de ces points et des différents tronçons du réseau est représentée sur la Figure 4.8. Au total, ce sont 40km de canalisations qui permettent d'acheminer la chaleur depuis les différents points de production et de la distribuer sur la zone la plus dense de l'agglomération qui s'étend à l'est d'ArcelorMittal. Le maillage, c'est-à-dire le nombre et la localisation des sources complémentaires de production de chaleur du réseau est une problématique courante pour le cas de Dunkerque, sur laquelle nous reviendrons, car nous verrons que si elle peut paraître décorrélée des questions de synergie, elle n'en est en fait pas indépendante.

Le réseau peut fonctionner en quatre « phases » différentes, en fonction de la saison et de la température de l'eau obtenue à l'issue de la captation chez ArcelorMittal. Le passage de l'une à l'autre est automatique et piloté depuis un poste de contrôle localisé dans les locaux d'EGL à Petite-Synthe (Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015). De manière générale, l'eau en provenance d'ArcelorMittal traverse la chaufferie de l'Ile Jeanty qui comprend, comme nous l'avons vu, un complément de production de chaleur par la combustion de fioul lourd d'une puissance totale de 45 MW, ainsi qu'une « pomperie », qui sert à augmenter la vitesse de circulation de l'eau dans le réseau. Elle peut cependant y subir différents traitements qui correspondent précisément aux différentes phases de fonctionnement. En première phase, la chaleur récupérée par la captation est suffisante pour irriguer tout le réseau, de même que le débit obtenu grâce à une première pomperie installée sur le site d'ArcelorMittal : l'eau traverse la chaufferie mais n'y est pas réchauffée. En seconde phase, la production de chaleur de la captation ne suffit pas, il faut réchauffer l'eau : la chaufferie au fioul lourd entre en fonctionnement. La troisième phase correspond à un arrêt de la production de chaleur par la captation et à un fonctionnement unique de la chaufferie et la dernière phase à un fonctionnement de la pomperie secondaire, mais pas de la chaufferie au fioul lourd : elle est déclenchée lorsque la production de chaleur fatale est suffisante mais que le débit provenant d'ArcelorMittal est trop faible. La compréhension de ce fonctionnement est importante car elle montre que dans la plupart des cas, le flux en provenance d'ArcelorMittal doit subir divers traitements qui représentent des consommations d'énergie supplémentaires. Nous verrons plus loin quelles sont les amplitudes et les origines des variations du flux d'origine entraînant la nécessité de ces traitements.

Enfin, l'hiver, soit du premier novembre au 31 mars, le réseau est « îloté » : une partie est alimentée uniquement par la captation et la chaufferie au fioul lourd en appoint tandis que le reste est chauffé par les cogénérations, sans interaction entre les deux parties du réseau qui sont physiquement séparées durant cette période. Au contraire, l'été, la chaleur fatale seule suffit à approvisionner l'ensemble du réseau. On peut observer le passage d'une phase à l'autre, envisagé par EGL en 2012 sur la Figure 4.9 : on observe en effet la part bien plus importante de chaleur produite par les cogénérations (« îlotages cogénérés ») entre novembre et mars.

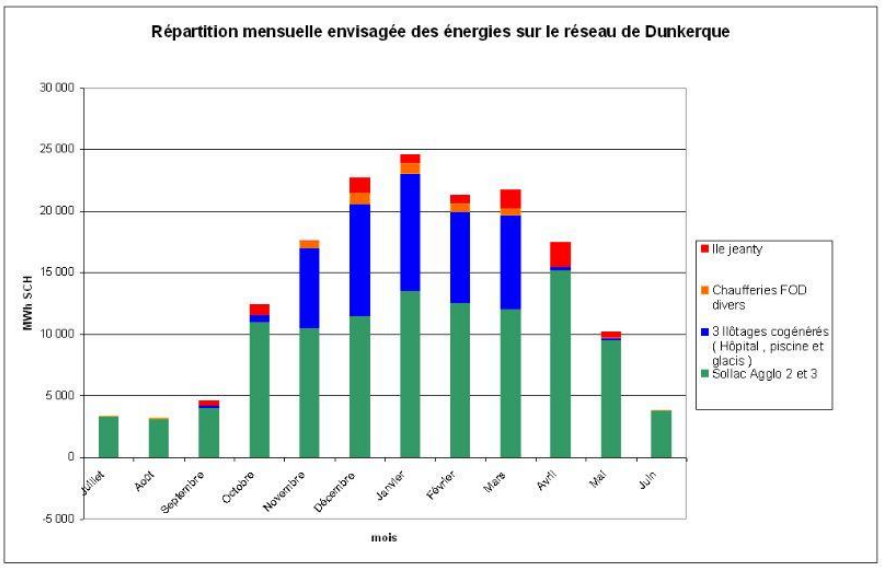


Figure 4.9 : Répartition mensuelle envisagée par EGL en 2012 des sources d'énergie pour le réseau de chaleur de Dunkerque – Source : Document "Le réseau de chauffage urbain de Dunkerque - Branchement au CVE - Dalkia - 22/03/2013

L'exploitant du réseau justifie cet îlotage par un souci de gestion de la puissance : puisque la chaleur en provenance d'ArcelorMittal n'est pas suffisante pour alimenter l'ensemble du réseau à cette période où la demande est plus importante, on confine la circulation de cette chaleur à un réseau plus petit pour éviter d'avoir à la complémenter de manière trop importante par le fioul lourd (Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015).

Du côté de la consommation, les abonnés du réseau sont majoritairement des équipements publics et des logements sociaux, complétés, à la marge, de quelques logements collectifs

privés et bâtiments du secteur tertiaire (voir Figure 4.10). En tout, ces usagers représentent l'équivalent de 50 000 habitants, la ville de Dunkerque en comptant environ 89 000.

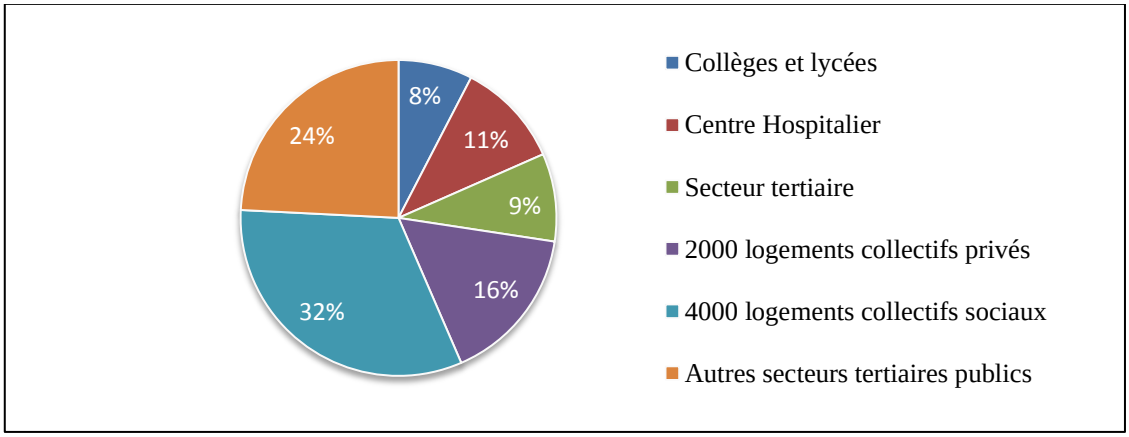


Figure 4.10 : Répartition entre types de consommateurs clients du réseau en 2013 - Source : Document "Le réseau de chauffage urbain de Dunkerque - Branchement au CVE - Dalkia - 22/03/2013

En définitive, l'ensemble des données présentées dans cette partie nous donne une image de l'assemblage sociomatériel que nous proposons d'étudier dans ce chapitre : trois acteurs centraux sont organisés pour faire circuler et complémenter une chaleur produite au cours d'un processus de refroidissement de matériaux d'aciéries et la distribuer à des activités principalement résidentielles et tertiaires, dont une bonne partie est contrôlée au moins partiellement par des acteurs publics. Cependant, cette image est « plate », c'est-à-dire qu'il s'agit d'une photographie de l'assemblage qui n'explique pas comment il s'est formé. Dans ce qui suit, conformément à l'un des principes guides de notre recherche, nous animons cette image en cherchant à révéler les processus qui l'ont construite et qui continuent de la construire, selon les trois axes privilégiés par nos hypothèses.

II. La récupération en deux étapes : de l'indépendance énergétique à l'environnement, des intérêts mouvants pour la synergie

Comme première étape de compréhension de la synergie, nous proposons ici, conformément à l'organisation de nos hypothèses, d'explorer les logiques qui ont mené à son émergence. Or, nous l'avons évoqué dans la partie précédente de ce chapitre, la récupération de chaleur telle qu'elle existe aujourd'hui à Dunkerque a été menée en deux phases liées à deux systèmes de

captation différents. L'enquête de terrain montre que ces dernières sont sous-tendues par des logiques d'acteurs distinctes marquant une évolution dans les intérêts pour la synergie. Pour cette raison, nous abordons en premier lieu la captation de 1986 (A), initiée par des questions d'indépendance énergétique. L'analyse de cette dernière est principalement fondée sur des sources documentaires écrites puisque, en raison de son ancienneté, il ne nous a pas été possible de rencontrer la majorité des acteurs en présence à cette période. Cependant, la consultation des archives du SICURD conservées par la CUD nous a permis de mettre au jour un certain nombre de documents qui donnent une image du processus ayant mené à son émergence. En second lieu, nous nous penchons sur la captation initiée en 2008 placée quant à elle sous le signe d'enjeux environnementaux (B), perçue au travers de l'analyse d'entretiens comme de documents.

A. Une première captation marquée par un souci d'indépendance énergétique

Du côté des acteurs publics locaux, la mise en œuvre de la première captation de chaleur est présentée comme la suite de réflexions relatives à la dépendance énergétique du territoire dunkerquois. On lit ainsi dans le numéro d'avril 2006 du magazine de la CUD qu'à la fin des années 1970, « le premier choc pétrolier a fait grimper la facture énergétique vers des sommets douloureux et la question de *[l']*indépendance *[du territoire dunkerquois]* vis-à-vis du pétrole préoccupe les esprits »[65]. De la même façon, le mémoire présenté pour les « *Global Energy District* » par le SICURD et Dalkia en 2009 explique qu'« après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, les communes de Saint-Pol-Sur-Mer et de Dunkerque sont confrontées au besoin de trouver des solutions alternatives aux énergies fossiles »[66]. Ce sont ainsi les besoins importants de chauffage du territoire et la forte dépendance au fioul qui inquiètent les municipalités face à un contexte mondial de hausse des prix.

Pour remédier à ce qu'ils considèrent comme un problème, les élus locaux tranchent alors pour la construction d'un réseau de chaleur qui distribuerait une énergie d'origine locale. En 1982, la ville de Dunkerque commande une étude visant à évaluer la pertinence technico-économique de différentes ressources : une chaufferie charbon, l'utilisation des gaz sidérurgiques[67], la chaleur produite par la centrale thermique d'EDF (le centrale de

[65] Communauté urbaine de Dunkerque, Avril 2006, « Montée en pression », Le Mag n° 100, p. 14.
[66] Mémoire présenté pour le réseau de chauffage urbain de Dunkerque en 2009 pour les « Global District Energy Awards » à Copenhague.
[67] Notons que les gaz sidérurgiques, issus du processus d'ArcelorMittal, sont valorisés sur le plan énergétique par la centrale DK6 exploitée par EDF qui produit de l'électricité qu'elle revend à ArcelorMittal.

Gravelines), et enfin la « récupération de chaleur dans l'établissement dunkerquois de la Société Usinor »[68]. Bien que la décision de chercher une indépendance énergétique ait des fondements politiques, la pré-sélection de ces sources, et notamment de la récupération de chaleur, provient des services techniques de la ville.

> « Ce sont les techniciens qui sont à l'origine de la réflexion. […] Cela étant, moi, j'ai toujours poussé. Mais ce n'est pas moi qui ai eu l'idée, je ne me suis pas réveillé un beau matin en disant, tiens, on va récupérer. Non. Ce n'est pas comme ça que ça s'est passé. Il y a eu des techniciens qui ont validé ce genre de choses. »[69]

Entretien avec Michel Delebarre – ancien maire de Dunkerque et président de la CUD – 15/12/2015

La commande de l'étude est entièrement centrée sur des facteurs techniques et économiques. D'une part, il s'agit d'évaluer les caractéristiques physiques des différentes sources (puissance, température, évolution dans le temps), la nature des investissements à réaliser pour récupérer la chaleur et le prix estimé de cette dernière. D'autre part, on souhaite qu'y soit estimé le potentiel de consommation sur les trois communes initialement membres du syndicat et que les critères techniques et économiques de choix des secteurs à desservir soient établis. À partir de cela, il est demandé de présenter des propositions de réseaux et d'en fournir une étude financière[70].

Nulle part, donc, on ne trouve de référence à des questions environnementales pourtant aujourd'hui largement mises en avant dans la communication du territoire, qui se targue d'éviter l'émission de 26 000 tonnes de CO_2 chaque année grâce à la solution, en comparaison d'une alternative au gaz[71]. C'est d'ailleurs ce point précis qui lui permet de remporter en 2008 un prix aux *Global District Energy Awards* organisés par l'Agence Internationale de l'Energie.

> « L'enjeu environnemental est devenu un acteur important du faire-savoir. »

Entretien avec Michel Delebarre – ancien maire de Dunkerque et président de la CUD – 15/12/2015

[68] Ville de Dunkerque, Fiche technique pour la pré-étude d'un réseau de chauffage urbain dans la région dunkerquoise, 1982

[69] Il faut bien noter ici que Michel Delebarre n'était ni maire de la ville ni président de la Communauté Urbaine de Dunkerque au moment de l'initiation de la première récupération. Il veut signifier dans ce *verbatim* que l'idée de la récupération est provenue des services techniques avant d'être saisie par les élus.

[70] Ville de Dunkerque, Fiche technique pour la pré-étude d'un réseau de chauffage urbain dans la région dunkerquoise, 1982

[71] Mémoire présenté pour le réseau de chauffage urbain de Dunkerque en 2009 pour les « Global District Energy Awards » à Copenhague

Malgré cette communication à rebours dans le répertoire environnemental, c'est bien sur des critères financiers que la récupération chez Usinor apparaît à la suite de l'étude comme la plus intéressante pour garantir une forme d'autonomie énergétique locale. Les élus locaux, au travers du SICURD, prennent alors contact avec le sidérurgiste pour lui proposer la solution[72], dont ils s'engagent à financer l'ensemble des infrastructures.

Il nous est difficile de reconstituer *a posteriori* la réponse d'Usinor à cette demande : les documents (courriers, rapports …) sont inexistants dans les archives publiques et les personnes impliquées n'ont pas pu être identifiées. Cependant, le recoupement de discours tenus en entretien et d'analyses documentaires nous permettent de construire plusieurs hypothèses. Une première découle de ce que nous a rapporté le responsable de l'environnement et des risques technologiques actuel d'ArcelorMittal à Dunkerque, à l'importante ancienneté au sein de l'entreprise. Il explique en effet qu'au moment où les collectivités prennent contact avec l'industriel, des questions se posent déjà au sein de l'entreprise quant à la récupération de chaleur dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique du site. Pour autant, les analyses internes s'avèrent peu concluantes, si bien que la proposition des élus aurait apporté une réponse simple à cette problématique.

> « La récupération d'énergie, on avait un peu regardé en disant … on pourrait faire quelque chose, mais la rentabilité n'est pas … bon, ok c'est bien mais enfin sans plus. Et du coup je ne sais pas comment est arrivée la question du réseau de chauffage urbain. […] Un des premiers points qu'on avait regardé, c'est de la recycler sur la chaîne d'agglomération elle-même, en la remettant au niveau de la hotte d'allumage où on avait besoin de réchauffer nos matières. Après on a regardé le côté hauts fourneaux, mais compte-tenu du niveau de températures, des flux *etc*. ça ne marche pas. […] Ça pourrait, il y a des installations qui le font. Des installations qui échauffent un peu le mélange de quelques degrés et ça permet d'économiser en combustibles. Mais on aurait besoin que d'un … enfin on n'aurait pas forcément besoin de l'ensemble de la chaleur et donc une partie serait perdue. Et on a essayé de voir à une époque de l'utiliser ailleurs sur le site mais finalement c'est de l'assez basse calorie donc ce n'est pas si facile que ça à réutiliser, à recycler, à valoriser. Et là on aurait un petit gain pour une partie et certains le font. Mais ils ne valorisent pas toute la chaleur de ce refroidissoir. […] Globalement pour la société, pour la terre, on rentabilise plus de thermies en faisant comme ça *[en valorisant au travers du réseau de chaleur]*. »
>
> Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015

[72] Compte-rendu de la séance plénière du 27 novembre 2008 du conseil de développement durable de l'agglomération dunkerquoise.

Toutefois, une autre interprétation *a posteriori* est proposée par des acteurs publics. Elle touche aux registres de l'ancrage territorial (Zimmermann, 2005)[73] et de l'intérêt financier : « l'industriel y voyait un intérêt. En tant qu'acteur du territoire c'était un bon moyen de s'intégrer aussi. Et aussi modeste soit-il, ça lui faisait une petite rentrée d'argent. Enfin, plutôt que quelque chose qui était perdu, quoi » (Entretien avec un assistant parlementaire de Michel Delebarre – 15/12/2015).

> « On contribue un peu à la compétitivité. […] Et quelque part ça fait un lien entre les besoins, les problématiques énergie-climat et puis aussi les besoins des gens. S'ils voient que les industriels leur amènent de l'emploi mais aussi qu'ils les chauffent … »
>
> Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

L'hypothèse d'une décision liée à une dynamique d'ancrage territorial est corroborée par l'histoire des relations entre les industries et les acteurs publics dans le territoire dunkerquois : « je pense que, sur le dunkerquois, il y a une culture collectivité, collégiale, territoriale, qui est peut-être plus importante qu'ailleurs. Plus importante historiquement, plus importante, plus forte que j'ai pu tester » (Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015).

Les travaux de Christophe Beaurain *et al.* sur les relations entre industriels et acteurs publics autour des questions environnementales au sein du territoire dunkerquois parviennent aux mêmes conclusions (Beaurain, 2004, 2008 ; Beaurain, Longuépée et Soussi, 2009). Ils montrent en effet que dès la fin des années 1970, une « densité organisationnelle » émerge entre les acteurs ayant un impact sur l'environnement local : « les politiques environnementales engagées dès la deuxième moitié des années 70 au sein de l'agglomération dunkerquoise doivent se comprendre comme une double réponse à une demande sociale d'amélioration de la qualité environnementale dans le territoire et à une volonté de poser les bases d'une nouvelle dynamique de création d'emplois industriels et tertiaires susceptible de porter la croissance économique du territoire » (Beaurain, 2008, p. 376). L'objectif poursuivi est donc bien celui d'une co-construction du territoire entre acteurs publics et industriels. Ainsi, dès 1976, un réseau de surveillance de la qualité de l'air est mis en œuvre en partenariat avec les industriels puis, dans les années 1990, émerge le Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles au sein duquel industries et collectivités échangent sur

[73] Jean-Benoît Zimmerman définit l'ancrage territorial comme « une communauté de destin d'une firme avec un territoire, […] l'idée d'une construction commune, l'idée d'un apprentissage collectif fondé sur la co-production de ressources » (Zimmermann, 2005).

ces thématiques. Puis, en 1993, un schéma d'environnement industriel qui fixe les conditions d'aménagement de la zone industrielle en accord avec des prérogatives environnementales est construit en concertation avec les entreprises. Enfin, dans les années 2000, apparaît l'association d'écologie industrielle ECOPAL, dont l'émergence et le rôle ont été étudiés au sein de plusieurs projets de recherche évoqués en introduction (Beaurain et Brullot, 2011 ; Brullot, Maillefert et Joubert, 2014). Cette analyse scientifique de l'histoire du territoire fait en outre largement écho à certains discours qui nous ont été tenus :

> « Le territoire, suite à la crise économique *[de l'industrie]*, avait fait le pari de poursuivre son développement économique sur de l'industrie, à condition justement, c'était la volonté des élus, de pouvoir intégrer un aménagement du territoire plus respectueux des problématiques environnementales et puis surtout des problématiques de risque. Donc on a eu au début des années 90 l'élaboration de ce qu'on appelle le schéma de l'environnement industriel qui intégrait toutes les logiques. C'est vraiment un outil qui a été écrit sur la base de la concertation avec les acteurs économiques, mais également les associations environnementales. »

Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014

> « Le S3PI c'est un collège avec les collectivités, l'administration, les riverains, les industriels *etc.*, qui se réunit de temps en temps pour des problématiques air, rejets *etc.* et je crois que le S3PI du dunkerquois est un des premiers de France. Il existe pas loin ECOPAL, donc une association pour la promotion de l'écologie industrielle, qui regroupe des industriels, enfin il y a un certain nombre de structures, enfin … je pense que la partie culture collégiale territoriale est peut-être plus forte qu'ailleurs et donc, après, pour ce projet-là particulièrement … est-ce que ça a contribué parce que c'était dans la tête un peu des gens d'être un peu plus collectifs ? »

Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015

Ces différentes analyses rendent donc plausible l'hypothèse d'une volonté de la part de l'industriel de s'inscrire dans une dynamique partenariale avec les acteurs publics locaux, et ainsi de répondre positivement à leur demande.

En revanche, l'hypothèse d'un intérêt financier de l'entreprise est contredite par plusieurs éléments. D'une part, l'industriel revendique que le prix de la chaleur vendue soit calculé pour rentabiliser les investissements et les frais d'exploitation supplémentaires propres à la récupération qu'il doit supporter et non pour réaliser un profit : « on cherchait à ne rien gagner dans l'affaire, mais bon, à ne pas perdre. C'est-à-dire que l'investissement supplémentaire lié

à la partie chauffage, à la fois on ne le payait pas et on ne profitait pas du bénéfice de la récupération de chaleur. On voulait se faire payer les coûts de maintenance de l'installation en quelques sortes »[74] (Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015)[75].

D'autre part, quand bien même on considère que le sidérurgiste réalise un profit à travers la revente de chaleur, celui-ci est d'un ordre de grandeur excessivement faible en comparaison du chiffre d'affaire de l'entreprise, de l'ordre de 100 millions de dollars pour le groupe en Europe, et même en comparaison des volumes financiers que représente l'activité du site de Dunkerque. L'industriel ne voit donc pas d'incitation financière à favoriser la bonne marche de la synergie.

> « Je ne veux pas mettre un peu plus de perlimpinpin pour que ça chauffe plus, ce n'est pas notre intérêt. On est quand même très tributaire de la marche de la chaîne qui est quand même un sacré *process*. Il faut savoir que c'est assez atypique, on fait des cailloux […] et on en fait 20 000 tonnes par jour. […] Et puis la chaleur qu'on fournit, les 20 MW, c'est à 3,5€ le kWh *[un peu plus de 5€ en réalité,* cf. *plus loin]* … donc il n'y a pas d'enjeu par rapport à tous les enjeux qu'on peut avoir autrement. […] Eux [EGL], oui, c'est leur intérêt. Que nous … fournir beaucoup d'énergie, c'est pas là où on gagne de l'argent. Et quelque part on aimerait en fournir un maximum, parce que ça voudrait dire que nos chaînes fonctionnent bien et qu'elles sont fiables, et donc on travaille sur la fiabilité mais pour autre chose, pas pour la chaleur. Donc on cherche à travailler dans ce sens-là, de leur fournir le plus de chaleur, mais ce qui va nous revenir en étant plus fiable, les enjeux sont 10 fois plus importants que la vente de la chaleur. Pour nous c'est assez anecdotique, tout à fait … enfin c'est anecdotique … ça doit être quand même 500 000€ par an. Mais bon c'est … un bateau de minerais de 120 000 tonnes qui arrive à Dunkerque vous prenez 100€ la tonne et vous comprenez combien … »
>
> Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015

En définitive, alors que l'intérêt des acteurs publics pour la construction de la synergie est clair, celui de l'industriel est plus difficile à reconstituer. Si l'hypothèse d'un intérêt financier semble difficilement soutenable, celles de la recherche d'une efficacité énergétique et de la volonté de s'inscrire dans une dynamique partenariale avec les acteurs du territoire sur les

[74] Une redevance fixe est effectivement payée par la CGC puis par Dalkia pour l'accès au site, correspondant aux coûts estimés par ArcelorMittal pour l'électricité ou les frais de nettoyage qui dépendent de la captation. On peut le constater dans le contrat (de droit privé) de fourniture d'énergie qui lie ArcelorMittal et Dalkia que nous avons pu consulter aux archives de la CUD.

[75] Ce discours doit toutefois être relativisé, puisque la formule de révision du prix de la chaleur telle qu'inscrite dans le contrat liant EGL et ArcelorMittal à ce jour ne prend pas en compte la fin du remboursement des investissements, qui devrait dans un tel schéma mener à une baisse du prix.

questions environnementales sont corroborées par davantage d'éléments empiriques. La faiblesse du risque pris par l'industriel qui, comme nous l'avons précisé plus haut, ne finance aucunement les installations de captation pour cette première opération, est également un élément de compréhension que nous jugeons important et qui pourrait expliquer la difficulté à reconstituer un intérêt de la part de l'industriel : en définitive, plutôt qu'un intérêt, il apparaît surtout que la synergie ne présente pas de désavantage pour l'industriel.

Enfin, à la suite de l'accord conclu entre ArcelorMittal et le SICURD, l'intégration de la CGC au processus en tant qu'exploitant s'appuie sur une logique de développement commercial et d'extension des activités qui n'est pas différente de celle que l'on trouve de manière générale dans les délégations de services publics en réseaux, bien documentée par ailleurs (Defeuilley, 1996 ; Lorrain, 1995 ; Lorrain et Stoker, 1997 ; Petitet *et al.*, 2009) : il s'agit pour la CGC de répondre à une consultation et d'obtenir un contrat de longue durée (24 ans à l'origine) aux conditions de renouvellement facilitées et avec les garanties apportées par la collectivité[76].

L'analyse de l'émergence de la seconde captation mise en service en 2008 est quant à elle plus aisée et permet de voir plus clairement émerger une logique environnementale chez ArcelorMittal ainsi qu'une prise d'intérêt pour la synergie, autre que commercial, de la part de l'exploitant.

B. Une seconde captation sous le signe des problématiques environnementales

Au début des années 2000, des réflexions sont engagées, tout d'abord par Dalkia en tant que concessionnaire puis par le SICURD, quant à la manière d'augmenter le taux d'énergies renouvelables et de récupération dans le mix énergétique du réseau de chaleur. La raison en est en particulier une anticipation d'une densification[77] du réseau à plus ou moins long terme, et donc d'une augmentation de la consommation. Si le discours accompagnant cette recherche est marqué par un souci de développement durable[78], s'y cache également un intérêt pour la sécurisation du taux de TVA appliqué à la vente de chaleur aux clients du réseau. Une

[76] Christophe Defeuilley explique ainsi que dans les contrats de concession, « la durée du contrat, la sécurité d'approvisionnement, les modalités de renouvellement, la rémunération, et l'évolution du contenu du service » (Defeuilley, 1996, p. 88) sont précisément construits pour inciter les entreprises à investir. En outre, ces dernières se placent dans « une stratégie industrielle qui se base sur la recherche d'exploitations nouvelles, l'élargissement du périmètre d'activité, et la consolidation des positions acquises » (Defeuilley, 1996, p. 135).

[77] C'est-à-dire la connexion de nouveaux consommateurs sur des tronçons déjà existants du réseau. Il s'agit donc d'une forme de croissance du réseau qui ne s'appuie pas sur une extension spatiale. Nous y revenons au chapitre 7.

[78] Mémoire présenté pour le réseau de chauffage urbain de Dunkerque en 2009 pour les « Global District Energy Awards » à Copenhague.

réglementation découlant des lois grenelle permet en effet l'application d'un taux de TVA largement réduit, passant de 19,6% à 5,5% pour la vente d'une chaleur distribuée par un réseau de chauffage approvisionné au moins pour moitié par des ENR&R.

Dalkia, qui connaît les installations d'Arcelor, propose l'extension de la captation à la seconde chaîne d'agglomération pour augmenter cette part en limitant les investissements, puisqu'elle ne nécessiterait ni la construction d'une nouvelle centrale, ni la transformation des centrales au fioul ou au gaz. En outre, l'exploitant du réseau voit en la chaleur fatale une source de chaleur à la gestion matérielle aisée puisque la production n'a pas à être gérée par ce dernier.

> « La récupération, c'est un excellent produit. C'est simple, on a une très grande souplesse. Une fois que ça fonctionne, il faut surveiller mais c'est automatique. Pour nous c'est super. C'est vraiment une bonne idée. »
>
> Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

Le SICURD accueille cette proposition de manière positive et donne son aval, nécessaire au lancement de l'opération : « on a adhéré et puis on a donné notre accord, surtout que nous on participe *[aux investissements]* à hauteur de 50%. Parce que nous, enfin c'est Dalkia qui avance les fonds, mais quelque part, nous on se doit d'être garant des investissements qu'ils font, par rapport à la collectivité » (Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015).

À la même période, Arcelor se pose la question du traitement des poussières qui émanent des chaînes d'agglomération. Leur production en grande quantité et leur diffusion dans l'atmosphère pose des problèmes environnementaux au sujet desquels l'entreprise fait l'objet de remontrances régulières de la part de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement), antenne régionale des services de l'Etat. La problématique est importante pour l'industriel, d'autant plus qu'elle connaît par sa visibilité (au sens propre) une notoriété locale plus forte que celle des autres polluants émis : le site d'Arcelor est proche d'habitations appartenant aux communes de Saint Pol et de Grande-Synthe qui reçoivent ses poussières, parfois de manière spectaculaire[79].

> « Arcelor […] c'est quasiment en ville, il y a des maisons qui sont juste à côté. Bon, ben les riverains, l'été ils ne mangent pas dehors, quoi. »

[79] Par exemple, une personne interrogée nous a raconté avoir vu dans son enfance à Grande-Synthe les draps blancs étendus dans le jardin devenir gris et la table du jardin se couvrir de poussières foncées. On trouve également de nombreux articles de presse relatant des expériences similaires.

Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

> « On est énormément suivis, contrôlés par la DREAL, qui fait des mesures au niveau de nos cheminées. Et puis également il y a des tables à poussière qui sont un peu partout. »

Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015

Les discussions fréquentes entre le SICURD, Dalkia et Arcelor font apparaître cette conjonction d'intérêts et le président du SICURD fait savoir par un courrier officiel adressé au directeur du site industriel, dès 2004, qu'une étude a été confiée à un bureau d'études par EGL pour analyser la faisabilité technico-économique d'une deuxième captation. On peut ainsi y lire que « ce projet permettrait, en accompagnement, de réduire vos émissions de poussières et d'améliorer vos rejets dans l'atmosphère qui sont particulièrement sensibles dans l'opinion publique ». L'étude qui s'appuie sur des informations fournies par Arcelor conclut en mars 2004 à la faisabilité technique d'une récupération sur la deuxième chaîne d'agglomération du site, la chaîne n°2.

L'accord de principe est donné par Arcelor à la suite de ces résultats. L'entreprise s'engage à prendre en charge la moitié des investissements dans l'infrastructure de captation commune de chaleur et de poussières. Les intérêts des acteurs à s'engager dans cette seconde captation sont alors explicitement rappelés dans les documents qui se rapportent à sa mise en œuvre, et nous l'ont également été dans les entretiens que nous avons réalisés. On peut ainsi lire dans un extrait du registre aux délibérations du SICURD datant du 24 janvier 2005 que « les sociétés EGL/Dalkia et Arcelor Sollac se sont associées pour réaliser conjointement ce projet car chacune d'elles a sa propre motivation : un intérêt énergétique par la récupération thermique pour EGL et un intérêt environnemental par la réduction des émissions de poussières pour Arcelor ».

> « Et donc le partenariat qu'il y a eu c'est, nous on récupère la chaleur […] et en même temps on va aspirer leur poussière et la priorité c'est refroidir cette chaleur en dessous de … c'est 115° C si je ne dis pas de bêtise, pour que cette chaleur soit filtrée. Comme ça, toute la poussière passe dans des filtres à manches, plus ou moins. Et Arcelor, après, le réinjecte dans son *process*. Donc non seulement ça ne va pas sur le réseau mais eux le réutilisent pour le *process* d'agglo. »

Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

La Figure 4.11, extraite d'un rapport d'exploitation du réseau de Dalkia, rend compte du fonctionnement technique de cette intégration de la récupération de poussière et de chaleur.

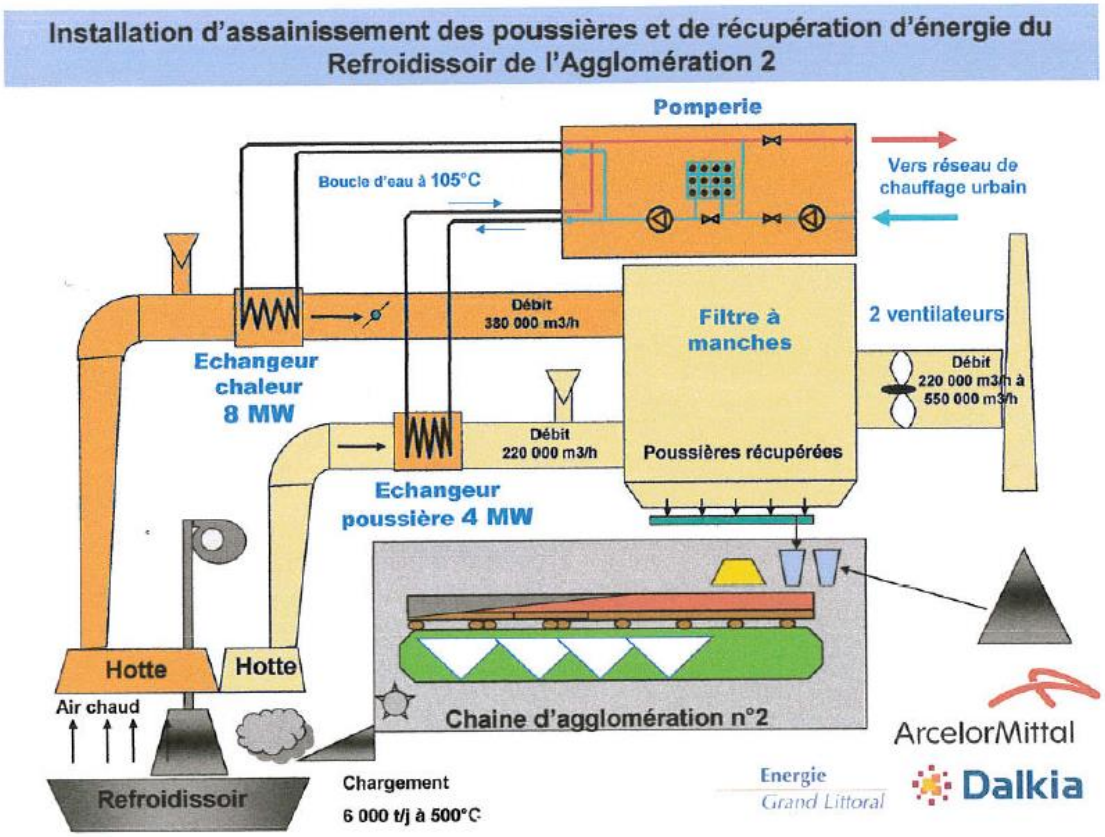


Figure 4.11 : Schéma de fonctionnement technique de la deuxième récupération de chaleur fatale – Source : Rapport technique de l'exploitation du réseau pour l'exercice 2008, consulté aux archives de la CUD

En somme du côté des acteurs publics comme privés et dans les deux étapes, l'intérêt affiché à s'engager dans la synergie n'est pas directement lié à l'aspect « gagnant-gagnant » de cette dernière, conformément à ce que nous avons supposé : son intérêt technico-économique propre n'intervient qu'à la marge dans la justification de sa mise en œuvre. Au contraire, des justifications d'ordre supérieur – indépendance énergétique, ancrage territorial, absence d'inconvénient, logique d'entreprise, maintien d'un taux suffisant d'ENR&R, action environnementale – viennent appuyer l'implication des acteurs. En outre, ces intérêts ne sont pas figés dans le temps puisque nous avons vu que l'industriel et l'exploitant du réseau construisent des modes de justification de la synergie différents d'une étape à l'autre. D'une première émergence principalement guidée par la volonté de la collectivité qui entraîne les deux autres acteurs derrière elle, on passe en effet à une concordance d'intérêts lors de la deuxième étape.

En revanche, contrairement à l'une des sous-hypothèses que nous avons formulées, on n'observe pas une opposition franche entre une logique publique et une logique privée, en

particulier parce que l'acteur industriel ne se place pas dans une logique de « marché » pour la vente de l'énergie : le prix de cette dernière n'est pas calculé en fonction des tarifs d'autres types d'énergie mais simplement pour éviter que la synergie ne représente un coût pour ce dernier. Aussi, si les intérêts des collectivités sont clairement associés à la question de la fourniture d'un service public essentiel, il n'existe pas de confrontation *a priori* avec les logiques de fonctionnement de l'industriel, sans pour autant que cela ne soit sans incidence sur le fonctionnement de l'échange, comme nous le montrons dans ce qui suit.

III. Interpénétrations des systèmes techniques et équilibre métabolique du réseau

Au-delà des logiques d'action, qui se cristallisent principalement dans des éléments de discours, la construction de la synergie passe par la confrontation de systèmes sociomatériels hétérogènes. L'enquête de terrain montre que cette confrontation donne lieu à deux formes d'interdépendances entre ces systèmes qui engendrent autant de tensions dans la construction et l'exploitation de la synergie. Nous les abordons successivement dans ce qui suit. En premier lieu, nous montrons que la récupération de chaleur sur le site d'ArcelorMittal se traduit par le partage d'un système technique pour mener des activités différentes, qui conduit à des interdépendances dans l'organisation des acteurs (A). En second lieu, nous mettons au jour les relations entre la dépendance du réseau aux flux d'énergie fatale, l'équilibre technique et économique du système et sa traduction spatiale (B).

A. Partager un système technique

L'installation des hottes de captation par le concessionnaire du réseau au-dessus des refroidissoirs d'ArcelorMittal se traduit par l'interpénétration de deux systèmes techniques différents soumis à des logiques fortement hétérogènes. Dès lors, le partage de la responsabilité de ces équipements remet en cause les manières de faire usuelles des acteurs impliqués : « vous imaginez, deux sociétés qui doivent se mettre d'accord sur un projet qui est quelque part mais qui appartient à l'un, qui est investi par l'autre, enfin bon … » (Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015). Dans ce qui suit, nous montrons en premier lieu comment cela se traduit lors du partage initial des matériels et des responsabilités (1) et, en second lieu, nous donnons à voir les répercussions de ce partage sur l'exploitation et la maintenance du système (2).

1. Répartir les matériels et les responsabilités

La façon dont les problématiques de partage du système technique sont traitées par les acteurs peut être, de nouveau, plus aisément reconstituée pour la mise en œuvre de la seconde captation : d'une part, les personnes que nous avons interrogées ont pour la plupart pu suivre le processus de plus ou moins près et, d'autre part, un nombre important de documents qui en traitent sont disponibles dans les archives de la CUD. On peut ainsi constater que si Arcelor décide dès 2005 de s'engager dans la récupération de poussières, le partenariat avec Dalkia pour y lier la captation est conditionné à des engagements financiers et matériels de la part de l'exploitant du réseau, qui se posent à plusieurs étapes du développement du projet.

Tout d'abord, avant même que l'accord de principe ne soit obtenu de manière officielle de la part d'Arcelor, la question de la propriété des matériels objets de ces investissements pose problème aux juristes de la ville de Dunkerque : étant financés en partie par l'industriel, ils ne peuvent être traités comme des « biens de retour » appartenant à l'autorité concédante, c'est-à-dire les communes représentées par le SICURD, comme c'est en général le cas pour les installations liées aux infrastructures dont les collectivités sont propriétaires.

En 2005, une réunion tenue entre les trois parties impliquées mène les participants à poser plusieurs problématiques[80]. En premier lieu, Arcelor confirme son intention de réaliser la récupération de poussière, se justifiant par l'engagement de l'entreprise dans une démarche de développement durable. Toutefois, les représentants de l'industriel font connaître plusieurs réticences à s'engager dans un projet commun avec EGL. Le premier problème soulevé est à nouveau d'ordre juridique : l'industriel souhaite lever le flou sur la répartition de la propriété des investissements. Les autres sont d'ordre financier et touchent à la répartition des investissements et à leur montant, à la question des subventions qui ont été demandées par EGL et à la valeur des investissements à réaliser estimés par EGL, qu'Arcelor juge trop élevés. En retour, EGL insiste sur la nécessité de l'engagement d'Arcelor, indiquant que les investissements pour la seconde récupération sont trop importants pour ses capacités financières propres, malgré des subventions publiques qui sont estimées à l'époque à un peu plus de deux millions d'euros.

[80] Compte-rendu d'une réunion tripartite SICURD Arcelor EGL 24/01/2005, consultée le 14/04/2015 aux archives de la CUD.

La question de la répartition des matériels n'est pas traitée dans la foulée, puisqu'un courrier datant du 29 juin 2006 adressé au président du SICURD (Michel Delebarre à l'époque) par le directeur du site d'ArcelorMittal y revient. Ce dernier y explique que sans engagement du syndicat à céder à l'euro symbolique les installations nécessaires au fonctionnement indépendant de la récupération de poussière en cas d'abandon de la captation, l'industriel pourrait se retirer du partenariat : « dès lors que nous ne pourrions influencer une décision d'abandon de l'exploitation du réseau de chaleur urbain par la biais de la récupération de notre énergie fatale, nous estimons ne pas avoir à en supporter les éventuelles conséquences. C'est pour cette raison que nous vous sollicitons afin d'obtenir votre engagement, dans une telle hypothèse, à nous céder pour l'euro symbolique l'intégralité des installations nécessaires au fonctionnement autonome de nos propres installations de récupération de poussières. […] Nous vous rappelons que nous considérons que cette garantie est déterminante de notre engagement. En outre, nous souhaitons vous informer que l'absence d'accord exprès de votre part dans les meilleurs délais pourrait compromettre la réalisation du projet »[81].

Ces réticences et questionnements sur la tenue du projet nous ont été confirmés lors des entretiens avec les responsables rencontrés chez ArcelorMittal. De manière moins explicite, ils font référence à des « blocages » qui ont entraîné des retards dans la mise en œuvre du projet commun et ont incité la direction d'ArcelorMittal à envisager de s'en désengager, ou bien à des problèmes de « *timing* » comme l'explique le responsable de l'environnement et des risques technologiques :

> « Je me rappelle qu'au début, ce n'était pas très facile de mettre techniquement les gens d'accord, de les mettre autour de la table, de les faire travailler sur le même … il faut que les uns et les autres aient le même *timing*. À un moment donné on s'était même posé la question en disant, finalement, cette histoire elle nous ralentit, entre guillemets, et de dire à force de nous ralentir on va, entre guillemets, couper les ponts et faire notre projet de dépoussiérage parce qu'à force d'attendre que tout le monde soit d'accord, on voit des fois le temps passer. »
>
> Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015

Dans ce rapport de forces, la question de la propriété des matériels et de leur cession à l'industriel en cas d'arrêt de la captation n'est pas prise à la légère par le SICURD. Le service juridique de la ville de Dunkerque se penche sur la question et estime que la solution proposée

[81] Extrait d'un courrier officiel d'ArcelorMittal à destination du maire de Dunkerque datant du 29/06/2006 – consulté aux archives de la CUD le 03/02/2015

par ArcelorMittal est envisageable, à condition que l'industriel s'engage en retour à rembourser l'ensemble des investissements restant non amortis en cas d'abandon de la chaîne d'agglomération n°2[82].

Finalement, en mars 2006, les différentes conditions sont réalisées et un protocole d'accord est signé entre « Arcelor Atlantique et Lorraine », EGL et Dalkia. Le document a pour objectif d'organiser la mise en œuvre du « projet commun » que constituent la construction et l'exploitation d'une installation combinant les fonctions de dépoussiérage et de récupération de chaleur. Il détaille finement la façon dont est planifiée la gestion de l'interpénétration entre les deux entreprises. On y trouve par exemple la répartition précise des investissements, des responsabilités pour la maîtrise d'ouvrage et des « biens de retour », c'est-à-dire la propriété des différents matériels. On retrouve également la question des émissions atmosphériques, et plus particulièrement ici des émissions de CO_2 : il est convenu que les émissions évitées grâce à l'installation fassent l'objet d'un partage entre les deux entreprises, dans le cas où le prix de vente de la tonne de CO_2 dépasserait 15 euros[83]. En somme, les tensions qui émergent au cours de la conception du projet sont résolues par une répartition très fine des responsabilités liées à l'assemblage sociomatériel : ainsi, les acteurs cherchent à contrer les risques d'interpénétration des processus, tout particulièrement parce qu'ils perçoivent la possibilité que l'échange s'arrête.

2. Organiser l'exploitation et la maintenance

Toutefois, malgré ce partage initial très fin, l'interpénétration de l'organisation des entreprises apparaît au quotidien dans le cadre de la maintenance des installations. Le site d'ArcelorMittal est sujet à de fortes réglementations concernant la sécurité des personnels (le site est classé Seveso 2 « seuil haut ») auxquelles les agents d'EGL qui s'y rendent doivent se conformer. Il leur est ainsi demandé de suivre une formation spécifique, organisée par l'industriel, sans quoi ils ne peuvent atteindre les installations. Cette nécessité pose régulièrement des problèmes puisque les agents d'EGL, n'étant pas salariés d'ArcelorMittal, ne reçoivent pas toutes les informations relatives à ces formations qui doivent être suivies régulièrement. Ils se trouvent donc parfois dans l'impossibilité de réaliser leur travail de maintenance : « pour rentrer à Arcelor, faut qu'on ait des accès, mais avec ces accès on doit

[82] Informations contenues dans un courriel, consulté en version imprimée le 14/04/2015 aux archives de la CUD.
[83] Précisons que ce prix sur le marché d'échange européen y est encore aujourd'hui de 6€, bien loin donc de cette limite. Voir la page « Prix du carbone » du site du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, consultée la dernière fois le 16/09/2016.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-prix-du-carbone.html

faire une … tous les … maintenant c'est trois ans ou deux ans, une formation accueil sécurité Arcelor. Si on n'a pas fait ça, eh ben voilà, j'ai un collègue en plus qui ne peut plus aller sur le site … » (Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015).

En outre, la maintenance est contrainte par l'organisation du travail chez l'industriel et non par celle d'EGL : les plages de maintenance doivent concorder avec les mises en arrêt d'exploitation des chaînes d'agglomération. L'idée générale qui guide leur répartition est celle d'une incidence minimale de la récupération de chaleur sur les processus du sidérurgiste. Ainsi, les agents d'EGL se voient contraints de travailler en temps réduits, parfois mal calibrés et à des périodes qu'ils n'ont pas choisies, selon des contraintes qu'ils ne remettent toutefois pas en cause : « on ne peut pas arriver et donner des contraintes. C'est à dire qu'on vit avec l'industriel » (Responsable des grands projets Dalkia Nord, s'exprimant aux Assises européennes de la transition énergétique, 26/01/2016).

> « On a une casse chez nous, eux ils doivent suivre et puis c'est tout. Ils redémarrent leur chaudière au fioul s'il faut, et on redémarrera quand on pourra redémarrer. On n'a pas trop de contrainte à ce niveau-là, on ne s'en est pas donnée. C'est eux qui doivent s'adapter à nous. »
>
> Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015

> « Beaucoup de poussières, c'est surtout ça qui est gênant […]. Le tunnel de récupération, lui, il a bientôt trente ans, et toute la poussière du refroidissoir ça s'envole, ça retombe, fatalement, et ça pourrit tout ce qu'il y a autour. C'est des zones en plus qui sont totalement inaccessibles. On ne peut y aller que quand il y a des arrêts techniques. Le seul souci, c'est que quand il y a des arrêts techniques, bon, on est quand même chez Arcelor, donc c'est leur *process* d'abord, c'est nous après. Donc s'ils ont des gros travaux de prévus, on ne peut pas se permettre nous de mettre des grues, des trucs comme ça. Si par exemple il y a cinq jours d'arrêt, ils vont nous dire, nous on prend quatre jours et vous on vous laisse une demi-journée. Ce qui est de bonne guerre. On est chez eux, leur *process* est plus important que le nôtre. »
>
> Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

Malgré ces précautions, le mode de fonctionnement du réseau de chaleur peut tout de même avoir un impact sur le processus de fabrication des agglomérés, en particulier l'été. En effet, lorsque la production de chaleur au niveau des refroidissoirs est trop importante par rapport aux besoins du réseau, l'excédent est évacué dans l'air ambiant par des installations qui dépendent d'EGL. Cependant, le soutirage de chaleur par ce système est parfois insuffisant,

ce qui peut ralentir le travail des chaînes d'agglomération. Inversement, le dépoussiérage peut avoir une influence sur la quantité de chaleur récupérée.

> « Le *[responsable opérationnel d'ArcelorMittal]*, lui on le rencontre régulièrement, pour échanger un peu sur les problèmes des uns et des autres, notamment sur l'agglo 2, parce que l'agglo 2, eux ils récupèrent leurs poussières et je dirais, on a chacun une influence sur le *process*. C'est-à-dire que nous si on plante notre installation, on peut arrêter la chaîne d'agglo. Et eux de leur côté avec leurs poussières, ils jouent sur les ventilateurs et s'ils mettent, par exemple, trop de vitesse sur le ventilateur, nous on va récupérer un peu moins. Il y a pas mal d'échanges qui se fait, je dirais, à ce niveau-là. »
>
> Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

> « La problématique c'est qu'on a une récupération d'air chaud qui va aller ensuite alimenter les installations en chauffage et les installations extérieurs et puis donc c'est un peu antagoniste parce que donc c'est quand il fait très chaud qu'on a une limite en refroidissement chez nous. On a du mal à évacuer la chaleur de notre refroidissoir donc ça nous ralentit. […] Le refroidissoir, il va nous limiter en termes de débit, si on sort trop chaud on est obligé de ralentir notre chaîne. »
>
> Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015

De manière générale, le fonctionnement du processus industriel pose des limites sur la quantité de chaleur qui peut être récupérée, c'est-à-dire sur la surface des refroidissoirs effectivement couverte par les hottes de captation, actuellement réduite à un tiers : « le système, les hottes qui se trouvent dans la partie haute, […] *[si elles recouvrent une trop grande surface]* on va confiner trop notre refroidissoir et on risque d'avoir des problèmes de matière. […] La matière qu'on a à l'intérieur, quand elle descend, elle abîme toutes les persiennes […]. Donc si on veut trop … on va être limité nous derrière et on risque de casser du matériel (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015). C'est à travers ce type d'interactions qu'ArcelorMittal justifie la primeur du fonctionnement industriel sur le fonctionnement du système énergétique : « par rapport à ce qu'on gagne à vendre de la chaleur là, on pourrait en dépenser 5 fois plus dans la réparation de nos … Donc il y a des choses où il faut y aller doucement. Les enjeux peuvent être très vite très importants si on cassait notre outil » (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015).

On peut trouver une illustration concrète d'une telle confrontation au sein du site, au travers de l'évolution d'un système technique associé au réseau de chaleur. En effet, profitant du système de récupération local, un micro-réseau est exploité par EGL pour alimenter cinq

chaufferies au sein du département « fonte » d'ArcelorMittal. Leur principe de fonctionnement est le même que celui de la chaufferie de l'Île Jeanty : on y trouve des chaudières au fioul qui rehaussent la température de l'eau provenant de la récupération ou complètent la quantité de chaleur nécessaire. L'environnement dans lequel se trouve le réseau pose toutefois des contraintes matérielles fortes : « aujourd'hui […], les tuyaux sont percés. Donc on a failli arrêter le HF4 *[Le Haut Fourneau n°4]* à cause de ça. Donc là, je peux vous dire, le jour où on a failli l'arrêter, ça a été coupé, on ne l'a plus jamais remis en service, le choix a été vite fait. Et donc ça, ça reste … on ne l'utilise pas » (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015).

Ainsi, si les deux processus s'interpénètrent, le réseau de chaleur est davantage dépendant du processus industriel que l'inverse, au sens où les processus d'ArcelorMittal peuvent fonctionner sans la récupération et que l'entreprise est tout à fait disposée à mettre fin à la synergie. Au contraire, l'équilibre métabolique et donc économique du réseau serait fortement impacté par l'arrêt des captations, comme le montrent tout particulièrement les développements de la section suivante.

B. Gérer la dynamique des productions de chaleur fatale

Au-delà du partage des installations techniques entre l'industriel et l'exploitant du réseau de chaleur, les interdépendances qu'entraîne la synergie ont aussi à voir avec l'évolution temporelle des flux qui circulent entre les activités. Dans cette section, nous montrons en premier lieu la nature, l'amplitude et les causes de ces variations (1) avant d'analyser la manière dont elles influencent l'équilibre économique du réseau (2).

1. Des variations régulières dans la répartition des flux

La répartition des sources d'énergie qui alimentent le réseau de chaleur est présentée publiquement de manière statique : on peut ainsi lire dans l'ensemble des documentations émanant des collectivités ou du concessionnaire que plus de 80% de la chaleur délivrée par le réseau est une chaleur de récupération, 60% provenant spécifiquement de la captation (voir par exemple la Figure 4.12 pour l'année 2011). Il est également fait référence aux systèmes de captation en fonction de la puissance maximale qu'ils peuvent délivrer (pour rappel : 20 MW pour la première, 8 MW pour la seconde).

Cependant, cette représentation statique cache en fait de nombreuses variations dans la quantité de chaleur effectivement récupérée chez ArcelorMittal. La mise en service de la

deuxième captation en offre une illustration particulièrement parlante. En 2008, année de cette mise en service, le secteur de l'acier se porte mal : les ventes du secteur automobile, qui constitue le principal client de l'antenne dunkerquoise de l'aciériste, chutent. En conséquence, les usines tournent au ralenti. En particulier, la chaîne d'agglomération n°2, de laquelle est issue la seconde captation, ne fonctionne pratiquement plus et même pas du tout pendant quatre mois au cours des six premiers mois de son exploitation.

> « On a mis en place la deuxième captation, il y a eu les essais de faits, très concluants, ça a marché, mise en route pour un hiver normal, et puis arrêt de la production. Tout de suite. »
>
> Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

> « Le problème c'est que si ça s'arrête il faut remplacer par du fioul lourd et nous il faut qu'on ait plus de 50% d'ENR. Actuellement on a 60% et ça nous donne droit à une TVA à 5.5%, mais si on passe en dessous de 50%, la TVA passe à 20% ! Et c'est vérifié bien sûr. Tous les trois mois j'envoie un tableau de suivi à un BET *[Bureau d'Etudes Techniques]* qui vérifie. »
>
> Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

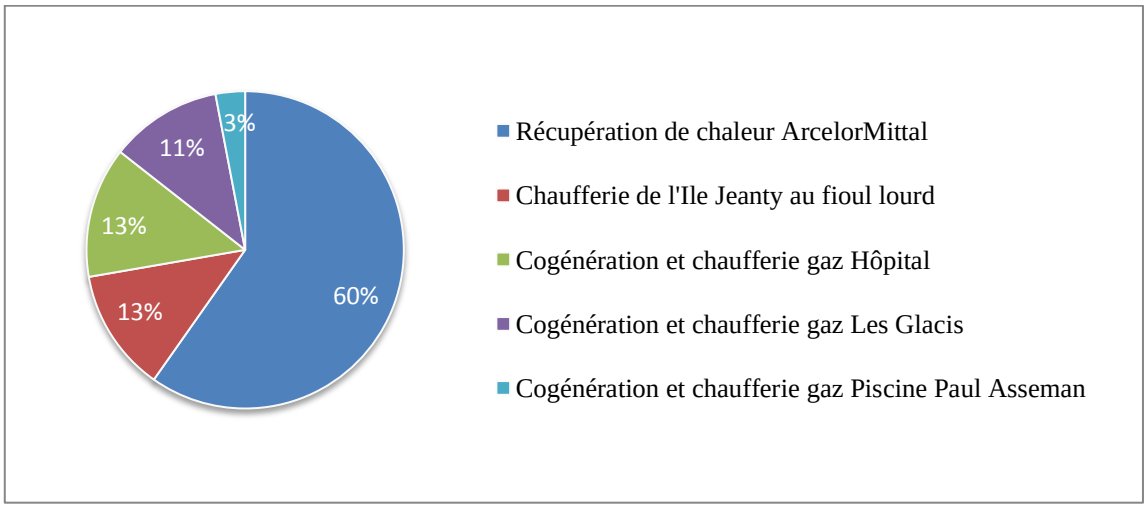


Figure 4.12 : Répartition des sources d'énergie du réseau de chaleur en 2011 - Source : Etude pour le développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque - Cabinet Hexa Ingénierie – 2012

La situation financière du réseau s'en trouve particulièrement fragilisée puisque le remboursement des investissements liés à cette captation est déjà en cours, sans que la récupération de chaleur ne permette de diminuer la quantité de fioul brûlée dans les chaufferies complémentaires. On trouve des traces de ces difficultés dans les comptes-rendus

d'exploitation rédigés par EGL et remis à la collectivité. Ainsi, peut-on lire dans le compte-rendu financier de l'exercice 2008 que, « malheureusement, les conditions économiques de fin 2008 avec le fort ralentissement de production d'Arcelor n'ont pas permis d'utiliser au maximum la récupération de chaleur fatale au détriment de la consommation de fioul. Par contre, les charges fixes d'amortissement de la nouvelle captation ont pris effet au premier avril 2008, date de mise en service de l'installation (le démarrage était initialement prévu au premier juillet 2008). […] La redevance d'occupation versée à Arcelor a pris effet également au premier avril 2008 ». Les conclusions tirées dans le compte-rendu financier de l'exercice de 2009 sont similaires : « compte-tenu de la réduction de l'activité d'Arcelor suite à la crise économique, il n'y a pratiquement pas eu de récupération de chaleur sur la nouvelle captation de l'agglo. n°2 en 2009. Pour assurer la production de chaleur aux usagers il a été consommé du fioul à un coût unitaire beaucoup plus important en substitution de la chaleur de récupération ».

Il faut toutefois noter que l'exploitant avait été mis en garde par ArcelorMittal de telles possibilités lors du montage du projet.

> « Pour le deuxième, la seule question qu'on se posait c'était en disant, oui, il y a des fois on arrête la chaîne 2. Elle était plus petite, des fois on l'arrête, est-ce que ça marche quand même pour Dalkia et pour le réseau de chaleur, est-ce que ça les intéresse ? Bon, finalement vu le flux, vu le réseau, ça les intéressait quand même. Donc le projet s'est monté malgré les aléas qu'il y avait d'une plus petite chaîne qui marchait moins souvent, qui pouvait avoir des arrêts importants l'été et qui avait d'autres contraintes. »
>
> Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015

La situation spécifique de 2008 a particulièrement marqué les acteurs puisque plusieurs nous en ont fait part au cours des entretiens. Elle ne doit toutefois pas cacher les variations régulières et moins spectaculaires dans la production de l'usine qui influencent l'équilibre du réseau tout au long de son exploitation.

> « Le point qui est un peu gênant c'est qu'Arcelor, sa vocation ce n'est pas de faire de la chaleur. Donc lui quand il y a un problème technique, quand il y a une baisse d'activité en métallurgie, parce qu'il n'y a pas de commande, eux ils coupent, et quelle que soit la saison. Donc ça peut arriver qu'en hiver, on ferme les robinets. »
>
> Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

La Figure 4.13 offre une image de ces évolutions telles que comptabilisées par EGL entre 2008 et 2012. Les baisses de récupération en été sont liées aux faibles besoins de chauffage

des abonnés du réseau, tandis que les variations observées au cours de l'hiver sont liées à des évolutions de la quantité de chaleur effectivement récupérable sur les installations d'ArcelorMittal.

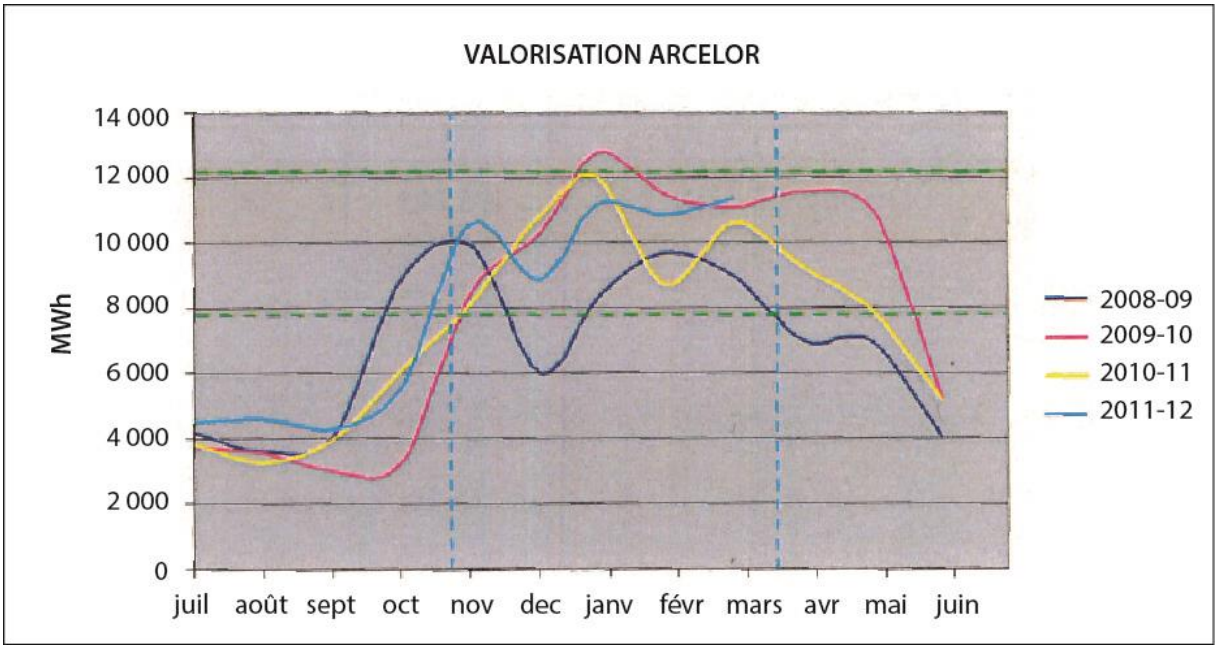


Figure 4.13 : Evolution de la quantité de chaleur récupérée chez ArcelorMittal entre 2008 et 2012 – Source : Dalkia, 2013, « Réseau de chauffage urbain – Raccordement au CVE de Dunkerque », Document de présentation à destination des acteurs publics locaux, consulté aux archives de la CUD

On peut également observer les traces de ces variations dans les rapports techniques et financiers d'exploitation du concessionnaire et dans les comptes-rendus des réunions mensuelles tenues entre EGL et le SICURD. L'exploitant fait ainsi régulièrement part de baisses de production liées à des variations de l'activité de l'industriel, en particulier lorsque des activités de maintenance lourdes sont mises en œuvre. Il est par exemple fait mention en octobre 2006 de travaux sur les hauts fourneaux qui entraînent un ralentissement de l'activité des chaînes d'agglomération. En somme, l'exploitant du réseau se trouve tributaire de dynamiques industrielles et économiques sur lesquelles il n'a pas de prise et qui influencent fortement l'équilibre métabolique du réseau et sa traduction économique puisque ses dépenses sont en partie liées à la quantité de combustibles fossiles qu'il doit brûler.

2. Des répercussions sur l'économie et la spatialité du réseau

Cependant, les répercussions financières de ces variations de flux ne s'arrêtent pas à l'exploitant. Comme dans tous les réseaux de chaleur utilisant plusieurs sources d'énergie, la tarification de la chaleur vendue aux abonnés suit l'évolution du mix énergétique, si bien

qu'une évolution de la quantité de chaleur récupérée se reporte sur la facture des usagers. Cependant, dans le cas du réseau de Dunkerque, l'équation est plus complexe.

En effet, les tarifs pratiqués en 1986 par la CGC – rappelons qu'il s'agit du nom pris à l'époque par l'exploitant – au moment de la mise en fonctionnement du réseau de chaleur devaient être compétitifs tout en permettant un remboursement des investissements consentis par le concessionnaire : ils devaient ainsi être inférieurs à ceux des énergies fossiles sans être trop faibles. Cependant, alors que la solution du réseau avait été pensée pendant la crise pétrolière qui avait fait plus que doubler le prix moyen des énergies entre 1980 et 1985, ce dernier s'effondre en 1986. Le réseau n'est donc plus compétitif en l'état et l'on décide d'introduire en 1987 un avenant au contrat de concession qui autorise la mise en place d'une tarification « conjoncturelle », c'est-à-dire moins élevée que la tarification « normale » prévue par le contrat initial. L'objectif est de permettre le développement du réseau, malgré l'endettement supplémentaire que cette tarification plus basse entraîne. Dans les faits, il s'agit d'augmenter dans la formule de calcul du tarif de la chaleur la part prise par les énergies fossiles, afin de ramener le tarif du réseau plus proche de celui de ces dernières, les différents taux étant décidés d'un commun accord entre la collectivité et le concessionnaire, notamment afin de garantir une compétitivité en comparaison d'une solution individuelle au gaz[84] : en somme, la chaleur fatale compte moins financièrement qu'elle ne compte métaboliquement.

L'opération fonctionne puisque le réseau parvient à se développer mais, alors que les prix des énergies fossiles reprennent une pente ascendante, la tarification du réseau reste régie par cet avenant au contrat et ne représente donc pas la répartition exacte des énergies consommées. Son évolution est plus proche de celle du prix des énergies fossiles qu'elle ne devrait l'être.

> « Là, ça … c'est très compliqué à … […]. C'était un vrai chantier. On n'a pas la réalité du … de ce qui se passe sur le terrain par rapport à la tarification et ainsi que les fluctuations, je dirais, des énergies, elles sont quand même … Bon on a vu le fioul lourd il a fortement évolué, le gaz pareil, ben l'impact de ces évolutions est moindre *[que s'il n'y avait pas de récupération de chaleur]*, mais toujours plus important que la réalité. […] Mais après aujourd'hui c'est la grosse, grosse discussion. Moi je dis, ce qui serait intéressant c'est d'avoir réellement un prix de R1[85] qui est calculé en fonction de

[84] Pour l'expliquer en d'autres termes : si la part de la chaleur fatale dans les flux de chaleur consommés est de **X** alors sa part dans le tarif de la chaleur est de **x** avec **x** plus petit que **X**.

[85] Le R1 est la partie variable de la tarification d'un réseau de chaleur. Comme dans tout système de distribution d'un flux en réseau, ce tarif est composé de deux parties. La première (le R2) est calculée en fonction de la puissance de raccordement que demande l'abonné et est fixe à chaque échéance de paiement. La seconde (le R1) est calculée en fonction de la chaleur consommée et varie donc au cours du temps.

ce qui est consommé et de ce qui est récupéré. Eux, ils vont me dire oui mais il y a des travaux d'investissement, il y a le déficit depuis l'origine … »

Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

L'argument de l'existence d'un déficit accumulé depuis les débuts du réseau est de poids face à des acteurs publics qui s'en inquiètent depuis les années 1990. En effet, après la mise en place de la tarification conjoncturelle et alors que les prix des énergies fossiles reprennent une pente ascendante, l'endettement lié à l'exploitation du réseau s'accroît, si bien que le SICURD, aidé financièrement par l'ADEME et le Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais, commande en 1994 une étude sur les comptes d'exploitation et les possibilités d'évolution du réseau pour tenter de comprendre les raisons de l'important déficit et y trouver des solutions[86]. On y apprend que les pertes thermiques dans le réseau sont évaluées à plus de 20% par la CGC, chiffre très important par rapport aux 10% relevés en général dans les réseaux de chaleur. En particulier, le rapport rend compte de l'importance des factures émises par Arcelor et de leur probable augmentation suite à une hausse des coûts de sous-traitance pour l'industriel. En outre, il apparaît qu'une part importante des frais de gros entretiens et réparations sont liés à la captation. Toutefois, en conclusion du rapport, c'est bien la CGC qui est accusée d'une mauvaise gestion et surtout d'un manque de transparence, mais les causes du déficit ne sont pas clairement identifiées.

L'augmentation du nombre d'abonnés au réseau est envisagée pour tenter de combler le déficit mais le rapport conclut que les possibles extensions – sur un quartier en construction ou sur une partie de l'agglomération déjà construite – entraînent des taux de retour sur investissement bien trop longs, en raison des longueurs de canalisations devant être installées, et qu'elles sont donc inenvisageables. Les auteurs de l'étude conseillent alors des densifications ponctuelles dont la nature n'est pas précisée mais une difficulté est soulevée : alors que, en cas de densification, les consommations augmenteraient, la récupération de chaleur chez Arcelor resterait quant à elle limitée. Un tel développement pourrait donc entraîner une augmentation de la consommation de fioul et un équilibre « précaire » du réseau[87]. Cette même question apparaît dans une étude technique antérieure menée par le SICURD en 1991, dans laquelle il est expliqué que « les services actuels ne sont pas suffisants pour assurer la totalité des besoins, plus particulièrement en cas de mise hors service de la

[86] Etude prospective sur l'évolution du réseau de chauffage urbain – Rapport final des études sur le compte d'exploitation et l'évolution du réseau – Juillet 1994 – Hexa Ingénierie, consulté aux archives de la CUD

[87] Notons que les hypothèses économiques se cachant derrière ce jugement ne sont pas présentées dans les documents que nous avons pu consulter.

source SOLLAC »[88]. En somme, la dépendance à la source de chaleur fatale et la volonté de la valoriser au mieux font craindre pour l'équilibre économique du réseau.

La dépendance à cette seule source se traduit également sur le plan de l'organisation spatiale du réseau, autour de la problématique du maillage de ce dernier, c'est-à-dire de la répartition dans l'espace des différents points de production. Dans l'étude de 1994, la question est déjà soulevée par l'exploitant mais balayée de la main par les rédacteurs de l'étude qui y voient au contraire une potentielle source d'investissement, et donc d'endettement, inutile. Ainsi, il y est indiqué que les hypothèses prises en compte pour les calculs de rentabilité des possibles extensions du réseau ont été changées suite à des réunions avec la CGC, « notamment le maillage du réseau, soi-disant nécessaire pour des raisons de sécurité du fonctionnement ! ». Cette question du maillage, c'est-à-dire de l'installation de sources complémentaires à la captation en divers points du territoire, est encore aujourd'hui un sujet de discussion courant entre Dalkia et les collectivités. L'exploitant considère en effet que les points de production de chaleur ne sont pas suffisamment répartis sur le territoire, notamment parce que la majorité de la production est concentrée chez ArcelorMittal, et qu'un nombre plus important de sources permettrait une plus grande souplesse dans sa gestion.

> « Pour nous, un truc qui était un peu dommage c'est que du temps de Delebarre[89], ils avaient prévu de refaire la piscine municipale et nous […] on avait prévu de mettre une grosse chaufferie et de mailler le réseau. […] Et notamment dans le quartier du Grand Large on a passé, je ne sais pas, deux kilomètres de tuyaux comme ça justement. On s'est arrêté. Parce qu'ils ne font plus la piscine donc … L'équipe du réseau on a un peu les boules parce qu'avec cette chaufferie on aurait eu une énorme souplesse. Là […] au mois de décembre on avait une casse sur le réseau, pas loin de la CUD. Donc on a coupé l'artère principale, ça a duré une bonne journée où il n'y avait plus d'eau chaude. Par exemple le quartier du Grand Large n'avait plus de chauffage. Si on avait eu cette solution de maillage, on continuait à chauffer quasiment l'ensemble de la ville, on ne dérangeait personne. Ça, c'est ce qui nous manque actuellement au niveau du réseau. Il n'est pas assez maillé, c'est ce qui est dommage. »
>
> Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

En définitive, le réseau de chaleur se trouve dépendant du fonctionnement d'ArcelorMittal du point de vue du système technique, de l'organisation de la maintenance et de l'équilibre métabolique et financier. En particulier, les questions d'évolution du flux de chaleur fatale

[88] Rapport technique SICURD Concession du réseau de chaleur de Dunkerque – 1991, consulté aux archives de la CUD

[89] L'entretien s'est déroulé quelques mois après un changement d'équipe municipale.

effectivement valorisable et d'organisation spatiale des points de production par rapport à l'industriel sont dès les débuts au cœur des problématiques identifiées par les acteurs. Les gestionnaires du réseau sont face à une double contrainte : d'une part, il s'agit de construire un réseau dont on ne peut choisir la localisation et la puissance de production de la source principale et, d'autre part, de conserver une part importante de cette source dans le mix du réseau pour garantir des coûts d'exploitation suffisamment bas ainsi que le maintien des objectifs initiaux d'autonomie et d'efficacité environnementale. Dans la partie suivante de ce chapitre, nous verrons que les réflexions qu'induisent ces contraintes s'intègrent dans des stratégies plus larges quant à la circulation et à la valorisation des flux d'énergie générés par les activités du territoire dunkerquois.

IV. Vers des échanges plus nombreux et plus diversifiés : le rôle de l'espace en question

Nous venons de voir que les acteurs impliqués dans la synergie identifient des interdépendances sur plusieurs plans, qui créent un rapport de forces principalement au désavantage des acteurs du réseau de chaleur. Conformément à la troisième hypothèse que nous avons formulée, ils déploient des stratégies pour contrer les effets de cette dépendance qui s'insèrent toutefois dans des stratégies plus larges de multiplication des circulations d'énergie sur le territoire dunkerquois (et même au-delà). Nous montrons ainsi dans une première section comment un projet de doublement du réseau de chaleur va de pair avec celui d'une diversification des sources qui vise en partie à contrer les dépendances existantes (A). Dans une seconde section, nous abordons un projet de développement de réseau de froid sur le territoire à partir d'une source de récupération, directement présentée dans le discours des acteurs comme la continuité du développement du réseau de chaleur (B).

A. Doubler le réseau et diversifier les sources

Si elles ont pu inquiéter les acteurs locaux en 2008, pour des raisons qui dépassent d'ailleurs la seule question de la production de chaleur, les difficultés économiques du site dunkerquois d'ArcelorMittal semblent résolues, tout au moins à court terme, si bien que l'approvisionnement en chaleur est moins sujet à caution à cet horizon, point que plusieurs acteurs interrogés mettent très explicitement en avant :

> « Arcelor a fait fermer des usines dans l'Est, à Metz, à Florange, et ils ont reporté la production à Dunkerque, donc il n'y a plus de problème pour la chaleur. »

Entretien avec le responsable de l'exploitation du réseau – EGL – 03/02/2015

> « Aujourd'hui ça tourne à plein ici. Alors, il y a eu la fermeture en Lorraine, donc tout a été reporté ici, parce qu'on a la chance d'avoir une unité qui est quasiment au meilleur des savoir-faire de la production. […] Arcelor est en train de refaire son haut fourneau numéro 4 actuellement, là. Il réinvestit plus de 100 millions d'euros pour le refaire. […] Alors pour nous c'est un bon signe parce que ça veut dire qu'Arcelor investit. Bon maintenant, à prendre entre guillemets, parce que les décisions de grands groupes, demain … on joue au Monopoli, hein. Mais ça veut dire qu'un haut fourneau vous investissez pour 8 à 10 ans minimum. Ce qui donne un signe quand même vis-à-vis du territoire, en disant on ne part pas demain. »

Entretien avec le directeur de la CCI de Dunkerque – 05/02/2015

> « Au niveau d'Arcelor on a été conforté, on sait qu'on n'aura pas de problème pendant à peu près 15 ans. Après en termes de visibilité, c'est vrai que c'est plus compliqué. »

Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014

Cependant, comme le révèlent les deux derniers extraits d'entretiens, la visibilité des acteurs du territoire à plus long terme est limitée. Partant, la dépendance à cette source dominante et incontrôlée de chaleur pour plus de la moitié de l'énergie consommée dans le réseau pose problème à différents acteurs à plus long terme et notamment aux collectivités locales.

> « L'industriel qui représente le fournisseur d'énergie, 60%, c'est Arcelor. Demain il ferme, on fait quoi ? On fait quoi ? Et demain, il peut fermer du jour au lendemain. Enfin il y aura les plans sociaux, mais ça dure quoi ? Et même si ça dure une année, il n'y aura plus de productions. Donc nous, on n'aura pas de récupération d'énergie. »

Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

> « On ne le souhaite pas mais, admettons, on prend un scénario extrêmement pessimiste, Arcelor ferme. Bon, au-delà de l'impact direct de la fermeture du site on se retrouve avec un réseau de chaleur qui se retrouve sous-dimensionné *[en termes de puissance]*. »

Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014

> « Quand on est chez Arcelor Mittal, c'est pas les quelques euros du MWh qu'on leur donne qui vont faire changer d'avis forcément l'usine. »[90]

Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014

[90] Notons la contradiction de ce *verbatim* avec les propos tenus par la même personne et rapportés dans la seconde partie de ce chapitre quant à la contribution de la récupération de chaleur à l'ancrage territorial des entreprises.

Il faut noter que ces inquiétudes ne sont pas propres au cas de Dunkerque, qu'elles sont plus largement portées par les opérateurs de réseaux de chaleur et qu'elles mènent à des réflexions quant à l'instauration d'instruments financiers et législatifs pour les contrer, comme le montre l'Encadré 4.1.

Encadré 4.1 – **La valorisation de chaleur fatale face à l'évolution des processus industriels : une tentative de réponse aux incertitudes par la mutualisation des risques**

Les inquiétudes existant à Dunkerque quant à la durée de vie de l'entreprise productrice de chaleur fatale ne sont pas uniques et sont en particulier justifiées par l'existence concrète de récupérations arrêtées pour cette raison. C'est par exemple le cas du réseau de la ville de Pierrelatte qui récupérait jusqu'en 2012 la chaleur produite par une usine d'enrichissement de l'uranium (l'usine Georges Besse). Au début des années 2000, Areva, qui exploite le site, annonce le démantèlement de l'usine et son remplacement par une usine plus performante (l'usine Georges Besse II) utilisant une quantité d'électricité largement amoindrie et produisant par conséquent beaucoup moins de chaleur fatale. En septembre 2004, des débats publics sont organisés sur les communes touchées par l'opération et la question de la chaleur y est évoquée. Nous retranscrivons ci-dessous des extraits de ces échanges (compte-rendu de la réunion publique de Pierrelatte du 6 septembre 2004 sur le projet Georges Besse II) :

Un intervenant anonyme : « […] Comment va faire la commune s'il y a moins d'eau chaude ? »

Le responsable du projet pour Areva : « […] C'est un contrat qui prévoit sur quelques années la livraison d'eau chaude. Ils sont donc parfaitement au courant de la situation, et du fait qu'à l'horizon 2012-2013, il va falloir trouver des solutions de remplacement. Nous les avons poussés à entamer les réflexions. Nous sommes prêts à les accompagner mais tout cela c'est à l'horizon 2012-2015, je pense que d'ici là, les uns et les autres, auront contribué à trouver les solutions nécessaires. »

Depuis la tenue de ces débats, la date de démantèlement de l'usine a été avancée et la construction d'une très importante centrale à cogénération biomasse conçue par Areva a été confiée au groupe Coriance pour alimenter le réseau de chaleur[91]. Les investissements concédés pour le maintien du réseau sont donc importants mais nécessaires et contraints par le calendrier d'arrêt de l'usine.

Cet exemple nous montre les effets potentiels d'un arrêt qui sont pris très au sérieux par les opérateurs de réseaux de chaleur en particulier. Ces derniers font en effet connaître leurs inquiétudes aux acteurs institutionnels : « ce sont les opérateurs qui m'en ont parlé. Ils rapportent qu'il y a des projets qui sont envisagés entre des industriels qui marchent

[91] Le projet de centrale à cogénération est fortement contesté car l'installation fonctionne mal et son gestionnaire est chaque année déficitaire.
« La centrale biomasse de Pierrelatte, l'absurde projet inutile d'AREVA », Reporterre, 18/01/2014

techniquement et puis devant les investisseurs, les comités d'engagement, les banques, ils disent : « il est très bien votre projet mais qui me dit que l'industriel producteur ou consommateur sera encore là après la fin du temps de retour sur investissement ? » » (Entretien avec le directeur d'Energie 2020, 19/04/2016). C'est ainsi que l'ADEME et le pôle d'excellence régional Energie 2020 se posent la question de la prise en charge du risque associé à l'investissement dans des infrastructures de récupération.

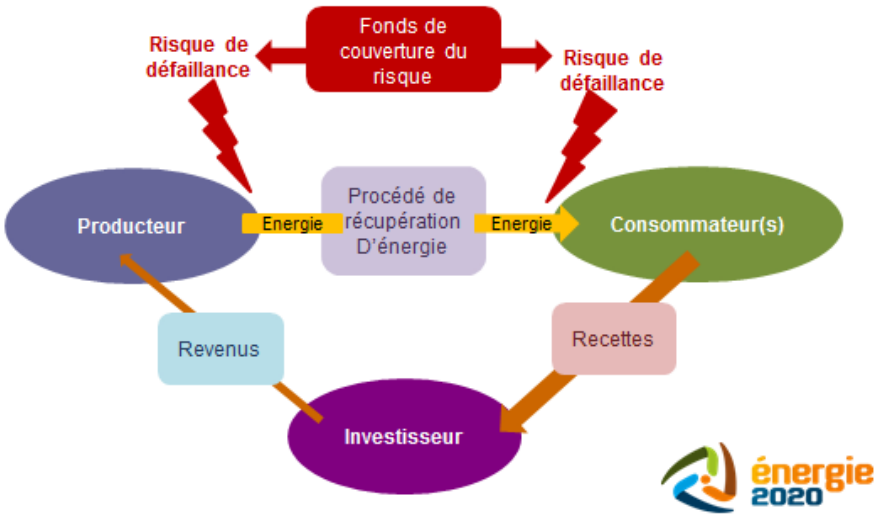


Figure 4.14 : Principe du fonds de garantie imaginé pour les projets de valorisation de la chaleur fatale - Source : Energie 2020, Présentation aux Assises Européennes de la Transition Energétique 2016

Le pôle lance donc une étude, courant 2016, dont les résultats sont également attendus par l'antenne nationale de l'ADEME : l'objectif est de faire émerger et de comparer différentes manières de répondre à ces réticences à travers la création d'un « fonds de garantie » national. Comme le montre la Figure 4.14, le fonds de garantie doit fonctionner comme une assurance face aux possibilités de défaillance, autant du côté des producteurs que des consommateurs : « l'étude devra définir la forme que ça peut prendre. Ça pourrait être une cotisation, c'est-à-dire que tout projet de chaleur fatale qui se ferait cotiserait et pourrait bénéficier du fonds de garantie comme d'une assurance. Mais c'est juste une possibilité. Ce qui est sûr, c'est que ça demandera aussi un volet législatif car s'il faut que chaque projet cotise … C'est sûr qu'il le faut à l'échelle nationale. Il faut l'assiette la plus large pour couvrir le risque d'un projet, l'idée c'est de mutualiser au mieux, comme pour une assurance, plus on est, mieux c'est » (Entretien avec le directeur d'Energie 2020, 19/04/2016).

L'avancement du processus au moment de notre enquête ne permet pas de savoir si les recommandations de l'étude seront suivies d'effets, notamment réglementaires, mais elles montrent une formulation claire du problème bien au-delà du cas de Dunkerque.

Dans le cas de Dunkerque, la validité de cette inquiétude peut être confirmée sur deux plans par le discours tenu par les représentants d'ArcelorMittal qui montre que peu de choses limitent la possibilité d'un désengagement de l'entreprise. D'une part, nous l'avons vu, le bon fonctionnement du processus industriel dépasse largement l'intérêt que peut représenter la récupération dans l'ordre des préoccupations de l'entreprise. D'autre part, la récupération de chaleur fatale est perçue comme une réponse relativement anecdotique et difficilement généralisable aux enjeux énergétiques touchant le secteur qui sont davantage liés à des objectifs d'efficacité économique qu'environnementale.

> « Quand on regarde les ratios de consommation énergétique, si vous voulez vous amuser depuis 10 ans, 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, ça n'arrête pas de diminuer. Mais c'est quasiment le premier critère de coûts, donc pour l'industriel c'est le premier critère d'économies. Donc la première chose qu'il fait sur une usine sidérurgique, c'est faire de l'économie d'énergie, donc depuis, je pense, qu'il y a de la sidérurgie, il y a de l'économie d'énergie. […] Des fois ça m'amuse quand on me dit, oui mais si vous aviez une incitation par exemple réglementairement, si vous aviez une incitation économique à faire de l'économie d'énergie … On le fait toujours ! La consommation c'est ça qui fait notre prix, donc si on veut gagner de l'argent, il faut faire de l'économie d'énergie. Alors ce qui nous manque des fois c'est, si on veut nous aider à faire de l'économie d'énergie, c'est des investissements, parce qu'on a des retours sur investissement qui sont des fois pas suffisamment rentables. Mais sinon s'il y en a qui ont des sous à nous donner pour faire des investissements, nous on a des idées pour faire des économies. »
>
> Entretien avec le responsable de l'environnement et des risques technologiques – ArcelorMittal Dunkerque – 02/02/2015

Ainsi, puisque l'énergie est le plus important de ses postes de dépense derrière les matériaux, l'industriel porte déjà une stratégie d'efficacité énergétique et la récupération n'en représente qu'une part marginale puisqu'elle n'impacte pas ses propres consommations. On peut s'apercevoir de la différence d'ordres de grandeur entre les préoccupations de l'industriel et celles des acteurs du réseau de chaleur au travers d'un chiffre : la chaleur récupérée pour le réseau ne représente que 0,3%[92] de la totalité de la chaleur fatale générée par le site[93]. L'enjeu apparaît ainsi faible pour l'industriel en termes environnementaux autant que financiers.

Dans ce contexte, une double problématique apparaît au début des années 2010, pour les acteurs du réseau. D'un côté, les acteurs publics et l'exploitant souhaitent se saisir du risque lié à l'arrêt de l'exploitation du site d'ArcelorMittal en diversifiant les sources d'énergie

[92] Etude pour le développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque - Cabinet Hexa Ingénierie – 2012
[93] La majorité du reste de la chaleur fatale est toutefois diffusée dans l'atmosphère lorsque les matériaux sont entreposés et refroidis à ciel ouvert.

distribuées, tout particulièrement en recherchant de nouvelles sources de chaleur fatale : « il vaut mieux récupérer un peu moins à plus de personnes que tout à un seul » (Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014).

> « Quand vous partez d'une source d'énergie, vous avez toujours le risque qu'il se passe quelque chose. Donc si on peut diversifier un peu, c'est bien. Et le fait de diversifier à partir d'autres sources permettrait de toucher des parties de l'agglomération qu'on ne peut pas toucher à partir du premier réseau de chaleur. On peut faire des micro-réseaux à partir d'autres sources d'énergie. »
>
> Entretien avec Michel Delebarre – ancien maire de Dunkerque et président de la CUD – 15/12/2015

> « Avoir plusieurs sources de chaleur, ça dilue du coup la responsabilité. »
>
> Entretien avec une chargé de mission du pôle régional Energie 2020 – 02/02/2015

De l'autre, les collectivités préparent le passage de l'autorité organisatrice des réseaux de chaleur de l'échelon communal à l'échelon communautaire en réponse, comme nous l'avons vu dans la première partie de ce chapitre, à la loi MAPAM. Le projet se forme alors de doubler en puissance le réseau de chaleur en l'étendant à des communes adjacentes à la ville de Dunkerque, projet précisément rendu possible par le passage à l'échelon intercommunal.

> « On a un réseau de chaleur, on a dit de le densifier, bon après c'est sûr que Dunkerque c'est peut-être la plus grosse ville mais il y a peut-être l'idée d'aller raccorder d'autres villes. Mais comme on était sur un territoire fermé c'est peut-être de l'ouvrir. Mais moi je ne sais pas aller faire de la prospective, je suis employé mairie de Dunkerque, donc mon périmètre d'action c'est la ville de Dunkerque. Donc je ne peux pas aller voir Grande-Synthe ou Coudekerque qui sont des villes à côté. »
>
> Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

Cette ambition fait en particulier partie de la stratégie de la CUD pour répondre aux objectifs « 3 fois 20 »[94] sur la partie de son bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre liée à la chaleur : « pour la chaleur, il faut doubler le réseau de chaleur actuel. C'est clair, en puissance il faut 140 MW installés de puissance de chaleur » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014).

Pour répondre à ces problématiques, une étude dont le rapport est rendu à la CUD en 2012 est menée pour analyser les possibilités d'extension et de diversification des sources du réseau :

[94] Les 3 fois 20 sont un objectif du paquet énergie climat adopté en 2008 par le Conseil européen : réduire de 20% les émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990, porter la part des énergies renouvelables à 20% de la consommation et réaliser 20% d'économies d'énergie.

« le doublement, il est fait sur le papier. Sur le papier on a tout ce qu'il faut et donc on commence à travailler. C'est un des plus gros projets aujourd'hui […], on a identifié sur l'agglomération quels étaient nos potentiels de production » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014). L'étude analyse les autres potentiels de récupération de chaleur fatale industrielle ainsi que d'autres types de source, notamment la récupération sur le Centre de Valorisation Energétique (CVE) qui est déjà identifié par les acteurs publics comme une source intéressante, avant-même que l'étude ne soit menée.

> « On a un CVE, moi j'ai jamais compris pourquoi … Dans le CVE il y a le même potentiel énergétique qu'Arcelor et il est constant sur toute l'année. Et les déchets on va les brûler tout le temps, on n'est pas liés à un industriel, là. C'est … Là il y a un réel potentiel. »
>
> Entretien avec le directeur du service énergie de la ville de Dunkerque – 15/04/2015

Dans cette étude, l'évaluation des sources industrielles de chaleur fatale prend pour données des études réalisées par l'ADEME du Nord-Pas-de-Calais (l'antenne régionale) et l'interview de responsables auprès des industriels identifiés. Les résultats de l'étude de l'ADEME que nous avons évoquée dans le premier chapitre de cette thèse sont d'ailleurs identifiés comme une incitation importante à la recherche de nouveaux potentiels de chaleur fatale.

> « Il y avait deux territoires fortement impactés dans l'étude de l'ADEME, le Dunkerquois et le Valenciennois. Ils sont à l'étude, le Dunkerquois avec l'extension du réseau de chaleur avait relancé toute une étude et le Valenciennois était à l'écoute aussi des industriels, et à ma connaissance devait lancer en début d'année, pareil une étude de faisabilité avec des industriels identifiés. […] Ils *[les acteurs du Dunkerquois]* avaient recherché de nouveaux gisements d'énergie fatale à ce moment-là *[au moment de l'étude sur le développement du réseau de chaleur]*, et ils avaient donc recontacté toutes les entreprises qui avaient été identifiées dans le cadre de l'étude Ferest et de l'ADEME et ils étaient allés avec un bureau d'études pour creuser un petit peu tout ça. »
>
> Entretien avec une chargé de mission du pôle régional Energie 2020 – 02/02/2015

L'étude identifie treize industriels différents pour un potentiel total de 570 GWh de production annuelle dont les plus importants sont représentés sur la Figure 4.15. On constate que parmi ces entreprises, outre ArcelorMittal, le plus gros producteur de chaleur fatale est Aluminium Dunkerque, entreprise de production d'Aluminium, comme son nom l'indique, sur laquelle nous revenons plus loin.

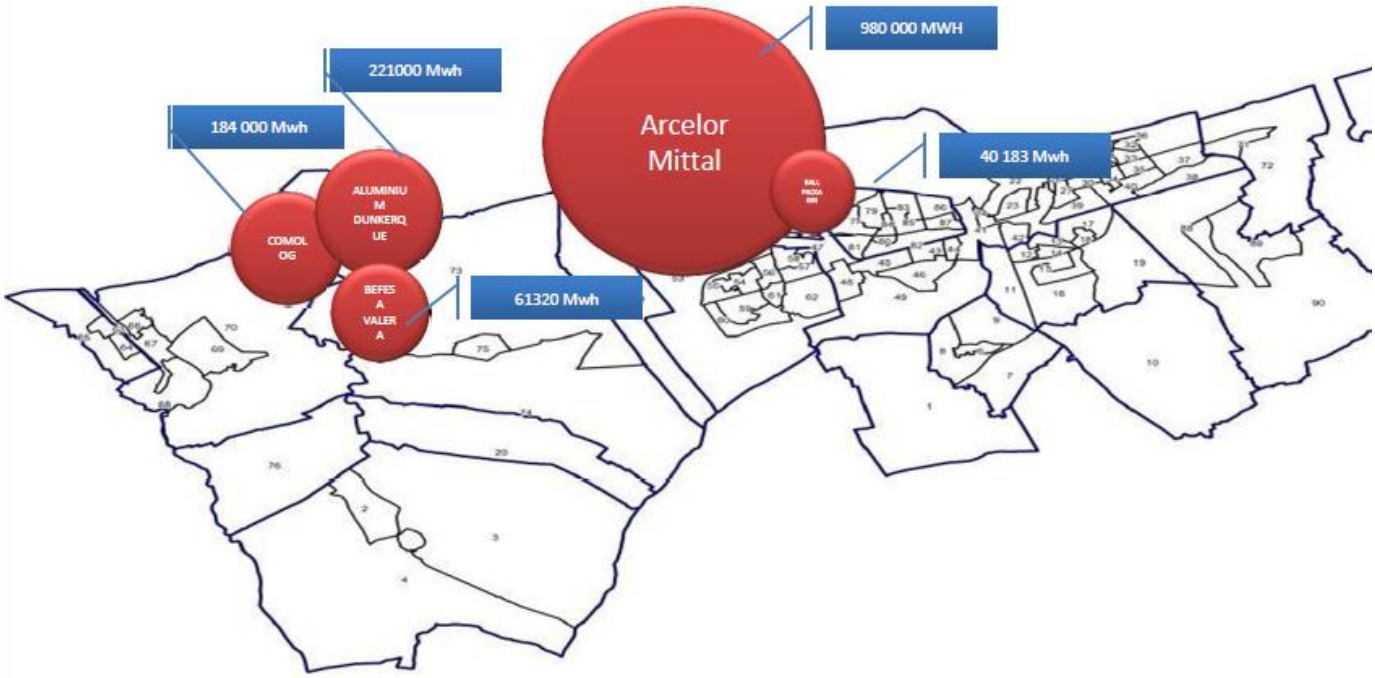


Figure 4.15 : Représentation cartographique des productions de chaleur fatale évaluées – Source : Rapport Final de l'étude pour développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque – 2012 – consulté aux archives de la CUD

Dans un second temps, les auteurs de l'étude construisent des « cartes d'influence », qui consistent à représenter l'aire géographique au sein de laquelle la distribution de la chaleur fatale est considérée intéressante sur le plan économique selon des hypothèses de pertes et de coût linéaire du transport de la chaleur. L'idée est ainsi de superposer la chaleur disponible aux besoins. L'une d'entre elles, sur les trois existantes, se trouve en Figure 4.16. Le tracé du réseau de chaleur existant y apparaît également (en rouge), ce qui nous permet de constater que certaines des sources en sont éloignées.

À partir de ces premiers calculs, les sources effectivement valorisables sur le réseau existant sont retenues et des hypothèses de raccordement sont posées, ainsi qu'un tarif d'achat de la chaleur fatale (10€/MWh) et une durée de remboursement des installations de récupération (10 ans). Le commentaire de ce dernier choix est empreint de la notion d'incertitude, sans toutefois que des calculs précis ne soient conduits pour la caractériser (p.45 de l'étude) : « le choix de 10 ans sur la durée de remboursement des installations est fonction de l'incertitude sur la présence dans la durée de l'industrie. En effet, un remboursement sur 10 ans permet de maîtriser l'incertitude ».

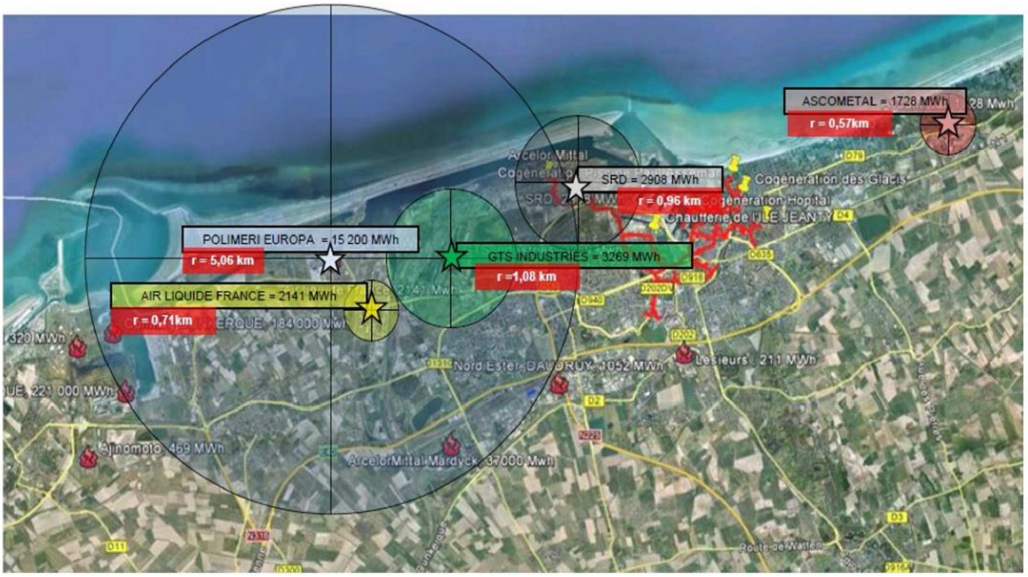


Figure 4.16 : Exemple de carte d'influence des potentiels de valorisation de la chaleur fatale – Source : Rapport Final de l'étude pour développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque – 2012 – consulté aux archives de la CUD

Plus loin dans l'étude, alors que sont évalués des scenarii de développement du réseau en dehors de Dunkerque, des sources de chaleur fatale sont à nouveau envisagées pour deux d'entre eux. La première, qui envisage la récupération de la chaleur fatale produite par Aluminium Dunkerque et sa distribution par un réseau développé sur la commune de Gravelines, est jugée compétitive. La seconde, qui consiste à récupérer la chaleur sur un plus petit potentiel et à le distribuer sur la commune de Coudekerque, n'apparaît intéressante qu'au terme du remboursement des investissements, toujours fixé à 10 ans. Les auteurs écrivent ainsi (p. 93 de l'étude) : « ce scénario nécessite un effort financier considérable sur les 10 premières années sans toutefois avoir la garantie d'obtenir les gains escomptés à terme car nous ne possédons aucune garantie quant à l'existence de l'industrie […] au terme de cette période. Quand bien même l'existence de *[l'entreprise]* se poursuivrait au terme de ce délai, quid de l'évolution du process industriel qui permet la production de chaleur fatale ? ».

Ce rapport à l'incertitude quant à la durée d'existence des entreprises est constaté de manière plus généralisée par le pôle régional Energie 2020, localisé à Dunkerque, qui a fait de la récupération de chaleur fatale l'un de ses axes de travail : « il y a des temps de retour sur investissement tellement importants qu'ils ont besoin de s'assurer que l'entreprise va rester, sera pérenne sur une durée très longue et c'est souvent ça le facteur bloquant, du coup. À Valencienne c'est ce qui se passe. La collectivité a des doutes sur la pérennité des entreprises. Des entreprises qui se sont manifestés pour fournir leur chaleur » (Entretien avec une chargé de mission du pôle régional Energie 2020 – 02/02/2015).

Au terme de l'étude, un scénario est retenu en priorité, qui se fonde sur la valorisation d'une chaleur fatale mais qui n'est pas d'origine industrielle puisqu'elle est issue du CVE, équipement de la CUD au potentiel de production de chaleur identifié auparavant.

> « On faisait de l'électricité, à l'époque on avait pensé à la cogénération, mais le problème c'est qu'il fallait se raccorder à 6 km. Parce qu'ils disaient qu'il fallait aller tout de suite sur le réseau actuel, 6 km, 6 millions de francs, ça ne sert à rien. Il fallait penser à développer par ailleurs. C'est ce qu'on va faire. Donc on vient d'engager des études en AMO pour développer en priorité le réseau de chaleur avec une cogénération sur CVE, et puis un développement sur la ville qui aujourd'hui n'est pas desservie, c'est la ville de Grande-Synthe, avec une interconnexion avec le réseau existant. Le réseau il va venir maintenant plus au sud. Donc on est en train de travailler pour développer un réseau de chaleur à l'échelle de l'agglomération. »

Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014

En définitive, les acteurs choisissent donc de se concentrer sur une source qu'ils jugent pérenne et sur laquelle ils ont un contrôle direct, le CVE étant un équipement communautaire. Ils suivent en outre en cela les incitations d'origine nationale et européenne à une telle valorisation (voir Encadré 4.2). Enfin, ils se concentrent sur une source située au sud de l'agglomération, contrairement aux sources industrielles concentrées au nord (voir Figure 4.15), ce qui répond partiellement à la problématique spatiale du maillage. Cependant, parallèlement à ce projet dont la mise en œuvre est déjà initiée, des discussions sont également engagées avec Aluminium Dunkerque (appelé alternativement Rio Tinto car appartenant à ce groupe brésilien) pour valoriser la chaleur fatale que l'entreprise produit, suivant le scénario envisagé dans l'étude de construction d'un réseau de chaleur sur la ville de Gravelines : « j'ai un projet de captation à l'électrolyseur de la chaleur fatale encore une fois, qui permettrait de chauffer une grande partie de la ville à l'ouest » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014).

Encadré 4.2 – **La valorisation énergétique des déchets : de fortes incitations à la production d'une énergie « renouvelable »**

Contrairement aux autres formes de récupération d'énergie, la valorisation électrique et thermique des déchets ménagers fait l'objet de politiques et de réglementations spécifiques à l'échelle nationale et européenne (Rocher, 2008). En France, il existe 124 incinérateurs de déchets ménagers (UIOM) opérés par des acteurs publics et 111 d'entre eux produisent de l'énergie. En majorité, ils génèrent de l'électricité par le même principe que toute centrale thermique : de la vapeur d'eau est générée et fait tourner une turbine. Une bonne partie

d'entre eux produit également (ou seulement) de la chaleur, reversée sur des réseaux de chauffage urbains.

Un tel système est encouragé par la puissance publique au travers d'une réduction de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes qui s'applique aux incinérateurs. Les taux sont fixés de telle manière qu'un abaissement de cette taxe en raison d'une valorisation énergétique est difficilement réalisable sans cogénération et donc avec la seule production d'électricité. En outre, pour les réseaux de chaleur, la connexion à un UIOM permet d'obtenir aisément le seuil de 50% d'ENR&R, catégorie à laquelle une telle chaleur appartient réglementairement, qui garantit un abattement de TVA. Les incitations existent donc dans les deux sens pour encourager la transformation des déchets en chaleur.

Ces politiques françaises découlent des réglementations européennes qui visent à répondre à un double objectif : celui de la réduction de l'enfouissement des déchets et celui d'une augmentation de la production d'énergies renouvelables. Toutefois, il faut bien noter que la classification de l'énergie issue des déchets comme dans cette catégorie est le résultat d'une construction politique (Behrsin, 2016) : dans les faits, l'incinération des déchets produit une grande quantité de gaz à effet de serre et ne constitue une source durable que si l'on considère que la quantité de déchets produits est constante. Elle apparaît donc pour certains comme un détournement des enjeux du changement climatique pour justifier une gestion relativement simple mais peu efficace des déchets (comparativement au tri, au compostage et à la valorisation matérielle) (Buclet, Defeuilley et Lupton, 2000 ; Rocher, 2006, 2008).

Cependant, une fois de plus, des questions de pérennité de l'entreprise se posent, d'autant plus que l'attachement d'Aluminium Dunkerque au territoire est conditionné à une situation bien particulière, liée à des questions d'énergie : « Aluminium Dunkerque, on en parle quand même pas mal dans la région Nord Pas de Calais parce qu'ils sont venus pour l'énergie électrique pas chère. Et là, ça fait 20 ans, donc le prix n'est plus le même » (Entretien avec le directeur de la direction énergie de la CUD – 02/06/2014). En effet, alors que 70% des coûts d'exploitation d'une usine de production d'Aluminium sont liés à sa consommation d'électricité, l'entreprise bénéficie à Dunkerque d'un accord pour un coût unitaire réduit de l'électricité, justifié par la proximité de la centrale de Gravelines, mais remis en cause au début des années 2010 : « le site Aluminium Dunkerque d'ailleurs est en réflexion aujourd'hui, parce qu'il a un contrat d'électricité avec EDF qui a été négocié il y a déjà une paire d'années maintenant, et qui arrive à échéance et ils vont devoir renégocier » (Entretien avec le directeur de la CCI de Dunkerque – 05/02/2015).

Cette inquiétude des acteurs du territoire se traduit finalement de manière très concrète par une action législative de Michel Delebarre, en tant que sénateur, pour garantir un maintien de

ces tarifs : « Michel Delebarre a garanti par le biais d'un amendement au projet de loi de transition énergétique et dans la loi Macron la fourniture à un prix modique de l'électricité industrielle pour ce qu'on appelle les hyper électro intensifs, les HEI, dont fait partie Rio Tinto qui a besoin de beaucoup d'électricité pour sa production d'aluminium. Et donc ça fait partie de toute une négociation entre tous les utilisateurs d'électricité, l'EDF et la commission européenne. Puisqu'on ne peut pas avoir de prix … enfin voilà il y a toutes les règles de concurrence qui jouent, mais enfin voilà, on a réussi à parvenir à un accord à peu près équilibré pour les HEI » (Entretien avec un assistant parlementaire de Michel Delebarre – 15/12/2015).

Ces nouvelles garanties, recherchées autant par l'industriel que par les collectivités, donnent une dynamique au projet de valorisation de chaleur, si bien qu'un marché d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la création du réseau attenant sur les communes de Gravelines et Loon-Plage est lancé par la CUD en décembre 2015. En outre, un partenariat est conclu avec l'ADEME à l'automne 2015 pour accompagner, *via* le Fonds Chaleur, les deux nouveaux projets de récupération de chaleur fatale sur le CVE et Aluminium Dunkerque[95] (voir Figure 4.17 la représentation du réseau de Dunkerque avec la connexion du Centre de Valorisation qui est donnée à cette occasion). La localisation de ces différents développements par rapport au réseau existant est représentée sur la Figure 4.18 : on constate ainsi que, bien que l'un des objectifs initiaux ait été la diversification des sources sur le réseau existant, ce sont en fait des extensions importantes, voire la création d'un réseau indépendant qui sont en cours.

[95] CUD & ADEME, 29 septembre 2015, « Signature du protocole de partenariat entre l'ADEME et la Communauté Urbaine de Dunkerque sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale industrielle », Dossier de presse

Figure 4.17 : Représentation du réseau de chaleur de Dunkerque rendue publique à l'occasion de la présentation du partenariat entre la CUD et l'ADEME sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale – Source : CUD & ADEME, 29 septembre 2015, « Signature du protocole de partenariat entre l'ADEME et la Communauté Urbaine de Dunkerque sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale industrielle », Dossier de presse

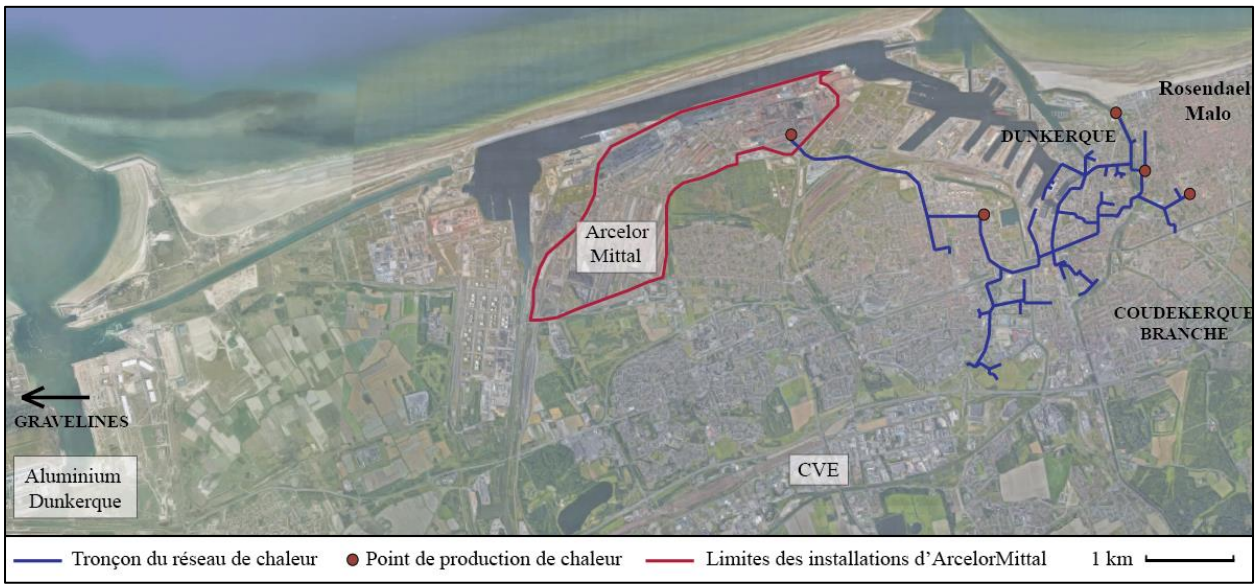


Figure 4.18 : Localisation des différentes sources de chaleur envisagées par rapport au réseau existant – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016)

Alors que ces développements se dessinent, la CUD communique explicitement une volonté de faire de ce type d'échanges énergétiques un trait distinctif du territoire. Ainsi, au terme d'une énumération des valorisations existantes et envisagées, le communiqué de presse du protocole de partenariat avec l'ADEME avance que « ce constat permet d'identifier le

territoire de la Communauté Urbaine de Dunkerque comme une référence en tant que plateforme énergétique et de mise en œuvre de la valorisation de la chaleur fatale »[96].

La stratégie de croissance des échanges de flux qui se construit semble en outre à présent dépasser le périmètre de l'agglomération. En décembre 2015, à l'occasion des 11èmes rencontres des réseaux de chaleur organisées par l'association Amorce, le directeur énergie de la CUD présente les projets en cours. Il explique que, si l'objectif à l'horizon 2020 est bien celui d'un doublement du réseau sur le territoire communautaire, la quantité de chaleur fatale disponible localement est si importante (275 TWh) qu'elle dépasse largement les besoins de l'agglomération. L'objectif à plus long terme devient la construction d'un réseau d'interconnexion entre les industriels leur permettant d'y soutirer ou d'y injecter de la chaleur et de desservir à partir de ce dernier non seulement le réseau de chaleur de la ville mais également des territoires plus ou moins proches tels que l'agglomération lilloise. Serait ainsi constituée une « autoroute de la chaleur »[97] qui connecterait différentes aires urbaines de la région dans une stratégie qui fait fortement échos à la constitution de l'interconnexion des réseaux d'électricité.

En somme, depuis 2012, les réflexions d'échelle territoriale quant à la chaleur fatale s'intensifient, s'élargissent et se structurent, dans la continuité d'un objectif de planification de l'évolution du réseau qui privilégie la valorisation de flux déjà présents sur le territoire. Ces réflexions sont fortement influencées par la notion d'incertitude et par une méfiance générale quant à l'évolution des localisations des industries et des flux produits par leurs activités. Aussi, à court terme, on observe avant tout une logique de contournement de ces incertitudes par la connexion du réseau à un équipement contrôlé par la collectivité et à la pérennité jugée plus certaine. En outre, si la dimension spatiale est centrale dans ces efforts de planification, elle n'est pas réfléchie, au sens où elle est construite comme une donnée à laquelle l'organisation de circulations des flux d'énergie doit se conformer. Cette logique n'apparaît pas propre au cas de Dunkerque : en effet, comme le montre l'Encadré 4.3, les autres expériences de planification comparables que nous avons pu mettre au jour la suivent également. Pour autant, à Dunkerque, elle semble remise en question dans le cadre d'une

[96] On peut noter que cet objectif est en partie réalisé en France, comme en témoigne en particulier l'inspiration explicite qui est tirée du modèle dunkerquois pour le développement de la valorisation de la chaleur fatale dans la région lyonnaise (voir Encadré 4.3).
[97] Expression utilisée par le directeur énergie de la CUD lors de la présentation du projet aux 11èmes rencontres des réseaux de chaleur à Paris, le 2 décembre 2015

autre forme d'échange thermique envisagée par les acteurs locaux. La section suivante analyse le processus qui mène à ce renversement et sa traduction concrète.

Encadré 4.3 – **La récupération de chaleur fatale et l'espace : d'autres tentatives de « planification territoriale » à Lyon et Rotterdam**

Au-delà de l'expérience dunkerquoise, notre veille nous a permis de constater l'existence de deux autres tentatives de planification spatialisée des potentiels de valorisation de chaleur fatale à l'échelle d'un territoire, l'une française et l'autre néerlandaise.

Ainsi, à Lyon, en 2012, un projet d'évaluation de la production de chaleur fatale est lancé par le pôle de compétitivité Axelera, centré sur les secteurs de la chimie et de l'environnement. L'étude « Valchim » a pour but d'évaluer le potentiel de récupération de calories au sein des entreprises de la Vallée de la chimie, vaste territoire industriel situé au sud de la Métropole lyonnaise, le long du Rhône. Ce premier projet permet la mise au jour d'un potentiel important (455GWh par an).

Suite à cette évaluation, la Mission Energie de la Métropole (que l'on retrouve au chapitre 6 de cette thèse), associée à la Mission Vallée de la Chimie, entreprend fin 2014 d'étudier les potentialités réelles de récupération à travers la construction de scénarii de valorisation de la chaleur fatale liés aux stratégies de développement des réseaux de chaleur, afin de ne « pas rester simplement sur une étude de gisement » (Entretien avec le directeur de la Mission Vallée de la Chimie, 31/03/2015). Deux entreprises intéressées par l'idée de fournir de la chaleur et d'en tirer un revenu (Solvay et Arkema) sont associées au projet : « on a eu un accord de collaboration qui est finalisé, avec le Grand Lyon et ces deux industriels et l'objectif c'est une co-construction de schéma fonctionnel » (Entretien avec un chargé de mission à la Mission Energie du Grand Lyon, 31/03/2015).

L'étude a pour objectif d'évaluer différents scenarii de valorisation des flux de chaleur fatale par des réseaux existants ou par la création de nouveaux réseaux, en s'appuyant sur l'évaluation spatialisée des potentiels de production et de consommation, sans intégrer toutefois une réflexion sur une possibilité d'évolution de leurs localisations. Le projet est ainsi très similaire à celui de l'étude de Dunkerque sur l'évolution du réseau de chaleur rendue en 2012 et il n'est donc pas surprenant que ce dernier ait été intégré à l'étude de Lyon au sein d'un *benchmark* de réseaux similaires à celui qui pourrait être développé au sein de l'agglomération.

Dans ce *benchmark*, on trouve en outre une analyse du cas de Rotterdam, qui nous a également été cité à plusieurs reprises comme un exemple emblématique de réflexions sur la chaleur fatale à l'échelle territoriale. En effet, à l'échelle de l'agglomération, une vaste entreprise de combinaison des planifications énergétique et urbaine est lancée et met au cœur du processus un objectif de valorisation des gisements de chaleur fatale. Appelé « *Rotterdam Energy Approach and Planning* » (REAP) (Lenhart, van Vliet et Mol, 2015) et lancé en 2009, le projet s'appuie sur la méthode « *energy potential mapping* » que nous avons discutée au

premier chapitre, élaborée par des chercheurs de la *Delft University of Technology* (van den Dobbelsteen, Broersma et Stremke, 2011). En ce sens, l'idée qui sous-tend REAP est celle de favoriser tout d'abord l'efficacité énergétique et de rechercher ensuite les flux de chaleur pouvant être récupérés avant de penser à produire de nouveaux flux par des moyens renouvelables ou non.

C'est ici que la question de la planification spatiale entre en jeu (Lenhart, van Vliet et Mol, 2015, p. 596) : *"this requires attention to Rotterdam's planning strategy, to enable energy exchanges in close geographic proximity. Interviewees remarked that the most efficient energy is that which is already there, emphasising the harbour's waste heat. At the city scale, REAP emphasises the link between Rotterdam and its harbour industries, capturing and feeding waste energy flows into Rotterdam's district heating grid. At the district or neighbourhood scale, offices and grocery stores almost always require cooling; their waste heat could be cascaded to heat homes (van den Dobbelsteen* et al.*, 2009). Similarly, swimming pools require heat; ice rinks require cooling. These energy streams could be exchanged. Focusing first on energy efficiency, the remaining heat or cooling demand could be provided via linking buildings with different energy demands (van den Dobbelsteen* et al.*, 2009)."*

La méthode prend donc en compte la dimension spatiale qui s'applique à la planification énergétique dans une perspective d'échange de flux. Cela se traduit par exemple par l'organisation d'ateliers regroupant acteurs publics et privés de la ville pour échanger quant à l'intégration des planifications énergétiques et urbaines. Au-delà du travail de planification, plusieurs projets découlent de la mise en œuvre de REAP, à différentes échelles, chacun d'entre eux ayant pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique d'un ensemble bâti et de permettre les échanges d'énergie ou cascades de chaleur (ainsi que d'eau, dans le cadre de la suite du programme appelé REAP2 (Van den Dobbelsteen *et al.*, 2013)), par la recherche systématique des flux perdus.

Pour autant, l'enquête menée par Jennifer Lenhart *et al.* montre que certains acteurs estiment que REAP ne relie pas les deux processus de manière suffisamment explicite. Plus précisément, ils estiment qu'un lien plus direct devrait être fait avec les notions de mixité fonctionnelle et de proximité (Lenhart, van Vliet et Mol, 2015, p. 598) : *"the name Rotterdam Energy Approach and Planning prioritises energy as its central focus, with urban planning as a secondary focus. A different name, with a stronger emphasis on mixed-use urban planning (i.e. integrating residential, commercial, or industrial uses in close proximity) could better capture the advantages of urban densification. Accordingly, different urban functions, and their energy/water uses and potential exchanges, would occur by default in close(r) geographic proximity".*

Ainsi, malgré l'inscription explicite d'un lien entre l'organisation spatiale du territoire et la possibilité de mettre en œuvre des échanges énergétiques dans des documents de planification, les expériences les plus avancées d'adaptation de la première à la seconde restent aujourd'hui avant tout idéelles. En d'autres termes, on ne rencontre pas à ce jour de

situation dans laquelle les localisations des activités seraient volontairement planifiées en prenant en compte les possibilités d'échanges énergétiques.

B. Des échanges de chaud aux échanges de froid : une inversion de la logique spatiale fortement mise en cause

Le positionnement stratégique du territoire dunkerquois sur la question de la valorisation des énergies fatales est également appuyé par des réflexions portées sur la valorisation du froid que les acteurs du territoire intègrent désormais dans la même dynamique. En effet, au début des années 2010, se prépare l'installation d'un terminal méthanier sur le port de Dunkerque, construit par une filiale d'EDF du nom de Dunkerque LNG.

> « Pouvoir avoir un terminal méthanier de cette ampleur chez nous, ça ne fait qu'accroître le potentiel de Dunkerque comme une des cités, un des territoires le plus … j'allais dire, susceptible de développement en matière énergétique. Et là, le terminal méthanier c'est une chance unique. Là, donc, nous l'avons eu et j'y ai beaucoup travaillé, dans la mesure où c'est moi qui ai obtenu de l'EDF qu'ils fassent quelque chose sur Dunkerque. »

Entretien avec Michel Delebarre – ancien maire de Dunkerque et président de la CUD – 15/12/2015

Le lien ici fait avec les questions d'énergie provient avant tout de la fonction de l'équipement : un terminal méthanier est une installation destinée à recevoir les chargements de navires transportant du gaz naturel sous forme liquéfiée qui y subit un processus de regazéification, prémisse nécessaire à son injection dans le réseau de transport et distribution de gaz. La production de ce changement de phase, qui passe par une élévation de la température du gaz, génère de grandes quantités de froid soit, physiquement, des fluides à basse température qui sont usuellement rejetés dans l'océan : « un terminal méthanier, enfin surtout celui de Dunkerque, s'il tourne à 100% de son potentiel, il représente quelque chose comme 200 MW de froid. C'est titanesque. Parce que, généralement, les installations même dans les gros, Grand Nord Frigo par exemple à Boulogne qui est l'un des plus grands centres frigorifiques de conservation alimentaire, c'est 350-400 kW. Ça, si je devais les produire *[les 200 MW]*, il me faudrait soit un des six réacteurs de Gravelines, donc du nucléaire, soit un champ éolien offshore de 100 éoliennes » (Entretien avec un chargé de mission de l'institut Innocold – 15/04/2015).

Au moment où le projet d'installation est pensé, une première utilisation de ce potentiel est imaginée puis mise en œuvre au travers d'une synergie entre le terminal et la centrale de Gravelines qui se trouve à proximité (voir Figure 4.19). Un tunnel passe en effet sous le bassin qui sépare les deux installations pour récupérer une partie des eaux chaudes de la centrale nucléaire afin qu'elles réchauffent le gaz liquéfié. Cette synergie n'est toutefois pas fortement mise en avant par les acteurs publics puisqu'ils y sont pour peu, notamment en raison de la propriété commune des installations : « la centrale nucléaire et le terminal méthanier c'est des installations d'EDF donc c'est pour ça qu'ils ont trouvé un lien et un intérêt aussi » (Entretien avec un chargé de mission Développement Durable au Port de Dunkerque – 03/02/2015).

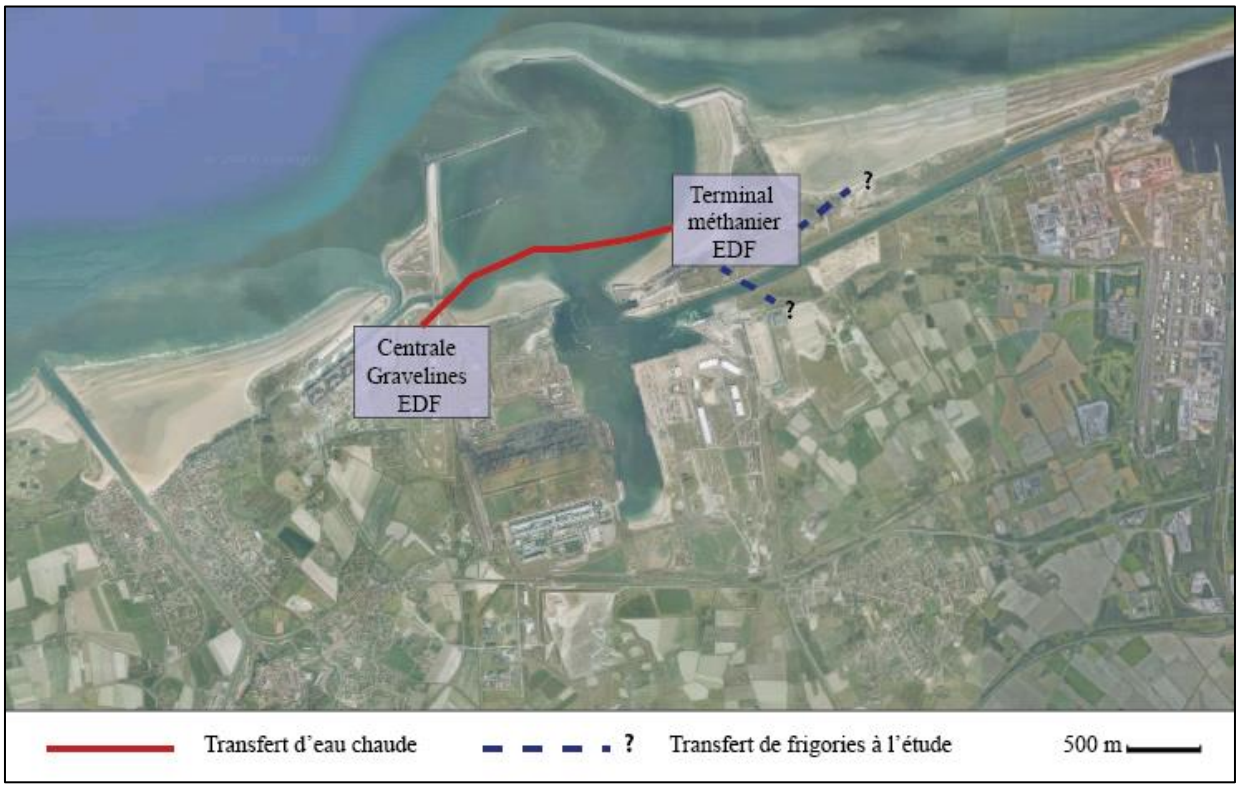


Figure 4.19 : Localisations des différents éléments faisant partie du système de valorisation du froid – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016)

Cependant, cette synergie n'épuise en rien la quantité de frigories disponibles et les acteurs publics du territoire se saisissent après coup du potentiel qu'elle représente. Ainsi, l'arrivée du terminal méthanier déclenche une dynamique de réflexions sur la question du froid qui se cristallise de deux façons. D'une part, un institut pour le développement local de la filière du

froid industriel, dénommé Innocold, est créé à l'initiative de la CUD, de l'université du Littoral Côte d'Opale et de Dunkerque LNG. D'autre part, la CUD lance à partir de l'année 2012 des réflexions sur la possibilité de créer un réseau de distribution de froid, selon un modèle existant déjà au Japon. Le projet consisterait à construire des connexions entre le terminal méthanier et diverses activités consommatrices de frigories.

> « On s'est dit, est-ce qu'il n'y a pas quelque chose à faire pour, partant de cette concentration de froid de basses calories, essayer de voir si on ne pouvait pas avoir des projets de développement industriel ? Parce que vous avez des opérations industrielles que vous ne pouvez faire qu'en milieu froid. C'est vrai pour la qualité d'un certain nombre de productions de métaux rares et autre qui ont besoin d'être, j'allais dire, adaptés, configurés dans du froid. Donc le fait d'avoir cette possibilité avec le méthane de production de frigories nous a fait regarder pour essayer d'implanter ou soutenir des PME qui travailleraient dans cet objectif-là. […] J'ajoute que Dunkerque est tout de même un port importateur d'un certain nombre de denrées de fruits et autre. Et le fait d'avoir des entrepôts réfrigérés de façon importante ça permet aussi du développement de cette activité. »
>
> Entretien avec Michel Delebarre – ancien maire de Dunkerque et président de la CUD – 15/12/2015

Le problème qui se pose alors aux acteurs est d'ordre à la fois spatial et temporel. D'un côté, le transport du froid est coûteux et engendre des pertes non négligeables, plus importantes que dans le cas du transport de la chaleur : « c'est-à-dire que vous arrivez à le transporter sur 2 ou 3 km » (Entretien avec le directeur de la CCI de Dunkerque – 05/02/2015). Dès lors, les activités bénéficiant du froid récupéré devraient se trouver à proximité du terminal méthanier, ce qui incite d'ailleurs la CUD à se rapprocher du Port Autonome de Dunkerque sur lequel ces activités seraient alors amenées à s'installer.

> « Le port maritime, dans le cadre de leur PADD, donc plan d'aménagement et de développement durable, ils ont prévu un axe sur l'écologie industrielle. Donc notamment, il va être notre partenaire sur le projet de valorisation du froid. Parce que si le froid est valorisé ce sera forcément pour des activités sur le port. Parce que le froid se transporte très mal. »
>
> Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014

Cette contrainte spatiale amène l'un de nos interlocuteurs à la CUD à évoquer une « planification territoriale » des circulations d'énergie qui se traduit par un travail sur la localisation des activités au sein du territoire dans l'objectif de permettre les valorisations de flux d'énergie autrement perdus.

> « Il y a un travail sur le réseau de chaleur, il y a un travail sur le réseau de froid, ça se sont vraiment deux volets sur lesquels on va essayer de réfléchir en termes de planification territoriale pour mettre des entreprises qui peuvent en bénéficier réellement, concrètement. Typiquement si à un moment donné on arrive à trouver un scénario qui permette de valoriser le froid du terminal méthanier, ça signifiera de réserver un espace dédié pour des entreprises qui ont des besoins spécifiques en froid. »

Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014

Toutefois, malgré cette volonté, la réservation d'un espace pour ces activités se heurte à la réalité physique du territoire, tel qu'il est aménagé. Le terminal se trouve en effet en bord de mer, à l'écart des zones industrielles existantes.

> « Quand on regarde géographiquement comment ça se passe, globalement, soit il faut tirer un tube qui fait 3 ou 4 km et ça, c'est économiquement pas rentable parce que j'ai beaucoup de pertes en ligne […] et puis un tube cryogénique, ça coûte bien plus cher qu'un tube traditionnel. Ou alors, il faudrait construire des digues […] mais alors là, c'est plus un projet à quelques centaines de millions d'euros, c'est tout de suite beaucoup plus cher, et en termes d'exploitation et d'amortissement, c'est plus du tout rentable pour le client final. Et puis ici, c'est des zones de nidification, c'est des zones protégées. »

Entretien avec un chargé de mission de l'institut Innocold – 15/04/2015

En outre, la valorisation d'un tel flux pose des questions d'organisation temporelle des activités, à la fois sur le très court terme de l'exploitation quotidienne d'un terminal méthanier et sur le plus long terme des dynamiques économiques dans lesquelles ces installations s'inscrivent. D'abord, le modèle de fonctionnement d'un terminal méthanier n'est pas continu puisque dépendant des dynamiques de consommation de gaz : « un terminal méthanier ça ne tourne pas 100% du temps, donc l'énergie disponible est très importante mais elle n'est pas disponible tout le temps » (Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014). Ceci implique en particulier qu'une installation qui consommerait du froid en provenance d'un terminal devrait prévoir un système alternatif de production. Ensuite, sur le plus long terme, tout comme pour le cas de la sidérurgie, il existe des incertitudes importantes quant aux évolutions de l'activité : « le terminal méthanier, il a été construit avec trois grands réservoirs et je ne suis pas sûr qu'ils seront remplis, comme la plupart des terminaux méthaniers en Europe sont plus vides que pleins » (Entretien avec un chargé de mission Développement Durable au Port de Dunkerque – 03/02/2015).

En définitive, face à ces différentes contraintes, le projet reste à l'état d'idée mais marque une possibilité d'inversion du raisonnement quant à la dimension spatiale de la valorisation de l'énergie. En effet, alors que, dans les différentes réflexions menées autour du développement du réseau de chaleur, l'organisation du territoire est considérée comme une donnée, on observe dans ce cas un changement de logique puisque l'on envisage d'organiser le territoire pour faciliter sa mise en réseau par la circulation de flux d'énergie. Les fortes remises en question matérielles et organisationnelles de cette proposition montrent cependant qu'une telle logique peine à trouver une traduction concrète.

Conclusion

Faisons ici la synthèse des résultats tirés de l'analyse empirique de ce premier cas.

Initiée par une volonté d'indépendance énergétique de la part des acteurs publics du territoire, la synergie que nous avons étudiée à Dunkerque ne semble pas relever d'un intérêt fort de la part de l'industriel qui y prend part. Au contraire, s'il existe des indices du souhait d'un maintien de bonnes relations avec les élus locaux selon une stratégie d'ancrage territorial, il apparaît surtout que la synergie n'entraîne pas de désavantage pour l'entreprise qui s'y implique au départ « par défaut ».

Cependant, malgré ces logiques différentes à l'origine, la synergie se voit graduellement construite comme une réponse à des enjeux environnementaux, du côté des acteurs publics comme de celui des acteurs privés qu'elle lie. En tous les cas, sa seule efficacité technico-économique en tant que solution de distribution d'énergie ne suffit en rien à expliquer son émergence. Sa rentabilité, ou plutôt, pour l'acteur industriel, le fait qu'elle n'engendre pas de coût, n'est qu'une condition minimale de sa mise en œuvre.

Au-delà, les intérêts concordants des acteurs, au sens où aucun d'entre eux n'est formellement contraint par d'autres, ne sont pas le gage d'une absence de rapports de force dans la mise en œuvre de la synergie. Les incertitudes liées aux interdépendances qu'elle crée font en effet émerger des négociations dès l'origine pour en limiter les effets, notamment à travers un partage fin des dispositifs techniques et des responsabilités financières en cas d'arrêt de l'échange. Cependant, l'exploitation de la synergie montre que ce rapport de force est défavorable aux acteurs de l'approvisionnement énergétique en ce que l'industriel manifeste un attachement faible à l'assemblage sociomatériel. La synergie apparaît en cela instable aux acteurs publics garants de la distribution de chaleur qui s'inquiètent explicitement des risques

liés à une dépendance à l'industriel, d'autant plus qu'elle a déjà produit des effets importants sur l'équilibre du réseau.

Face à ces risques, une stratégie de contournement est mise à l'étude : il s'agit de rechercher des sources de chaleur toujours locales, toujours fatales, mais qui permettent de diluer les risques pour le territoire. Aussi, les incertitudes qui pèsent sur la durée d'existence des industries locales prennent une grande part dans l'analyse de l'évolution possible des sources. C'est ainsi qu'un équipement géré par la collectivité et au fonctionnement perçu comme stable est retenu pour fournir de nouveaux flux de chaleur.

Cependant, au-delà de cette stratégie directement liée à la recherche d'un équilibre de long terme pour le réseau de chaleur, une vision plus large de multiplication des circulations de flux sur le territoire est construite, qui paraît davantage liée à une volonté de différenciation territoriale qu'à une recherche de stabilité énergétique. Dans ce cadre, on voit poindre un renversement de logique quant au rapport entre organisation des activités dans l'espace urbain et circulation des flux d'énergie : certains acteurs préconisent en effet une planification du territoire qui facilite des échanges de froid plutôt que l'inverse, évoquant une « planification territoriale » qui prenne en compte la circulation des flux de chaleur fatale. Il apparaît toutefois que l'organisation classique des processus de planification et de construction des systèmes énergétiques entrave la mise en œuvre effective d'un tel renversement.

En définitive, le cas de Dunkerque nous permet de valider en majorité les hypothèses que nous avons formulées, tout en apportant des nuances à la dernière, puisque la recherche de stabilité n'explique pas l'ensemble des stratégies développées et que le changement du rapport à l'espace est idéel plutôt qu'effectif.

Le chapitre suivant, qui porte sur le cas du Val d'Europe, nous permet de remettre ces hypothèses en question par l'analyse d'une synergie qui possède un important point commun avec celui de Dunkerque : il s'agit à nouveau d'une récupération de chaleur. Cependant, les processus considérés sont *a priori* fort différents puisqu'il s'agit cette fois-ci pour les acteurs de penser l'approvisionnement énergétique d'une extension urbaine et non d'un tissu existant. En outre, la source de chaleur provient d'un acteur qui paraît très éloigné du monde des aciéries. Une analyse symétrique à celle que nous avons menée dans ce chapitre doit nous permettre de percevoir en quelle mesure ces divergences influencent la nature des processus à l'œuvre.

Chapitre 5 – Des serveurs informatiques aux radiateurs : *data center* et réseaux de chaleur au Val d'Europe

> « Parce que, les *data centers*, c'est les hauts fourneaux du XXIème siècle, quand même. »
>
> *Chef de projet aménagement à l'EPAMarne-EPAFrance, entretien du 23/01/2015*

> « Ils nous ont demandé, « mais, quand même à Bailly-Romainvilliers, vous faites de la récupération de chaleur, pourquoi vous ne le faites pas à Lieusaint ? ». Alors nous, on a dit, « on aurait bien voulu mais il n'y a pas de consommation à proximité ». Ils nous ont dit, « vous n'avez qu'à construire une serre ». Alors, moi, j'ai dit, « écoutez, on est une banque quand même, donc, notre travail, ce n'est pas de faire des légumes ! » »
>
> *Responsable des travaux, banque, entretien du 10/12/2014*

La seconde synergie que l'on se propose d'étudier est située au Val d'Europe, en Seine-et-Marne (voir sa localisation par rapport à Paris sur la Figure 5.1 et sa composition communale sur la Figure 5.2) et nous permet d'explorer notre problématique sous un angle différent : ici, la mise en œuvre de l'échange énergétique concorde temporellement avec le développement du territoire. Nous nous intéressons cette fois à la valorisation de la chaleur fatale produite par un *data center*, au travers d'un réseau destiné à desservir une zone d'activités tertiaires en développement. Présentée comme une première européenne par les acteurs ayant œuvré à son émergence, elle est effectivement l'un des seuls exemples dans lequel une valorisation externe de la chaleur fatale provenant d'un *data center* est envisagée à l'échelle d'un quartier (Voir Encadré 5.1).

Encadré 5.1 – **La récupération de chaleur sur *data centers* a-t-elle le vent en poupe ?**

Si la récupération de chaleur sur les *data centers* fait l'objet de nombreux discours, il est plus difficile de trouver des cas de valorisation d'un tel flux. En dehors du Val d'Europe, on peine

à trouver en France des exemples qui dépassent la valorisation interne, c'est-à-dire le chauffage de bureaux situés dans le même bâtiment que le centre de données. Nos enquêtes de terrain nous ont montré que des études sont menées dans un certain nombre de cas mais que l'étape de la mise en œuvre n'est en général pas passée, sans que les raisons n'en soient en général rendues publiques. C'est ainsi, par exemple, le cas de plusieurs *data centers* à Plaine Commune, dont le plus grand d'Europe en projet à La Courneuve sur une friche laissée par Eurocopter. La perspective de connexion des groupes de froid du centre au réseau de chaleur de la ville est présentée publiquement[98] mais finalement abandonnée. De même, en 2012, une étude est menée pour analyser la possibilité d'une récupération sur un *data center* situé à Saint-Denis et montre qu'elle est techniquement et économiquement envisageable. Toutefois, le projet est abandonné car jugé trop difficile à organiser par les acteurs[99].

Dans le monde, on trouve quelques exemples fréquemment mis en avant : à Helsinki, le réseau de chaleur de la ville est approvisionné en partie par un *data center* situé sous une cathédrale[100] ; à Uitikon (Suisse), un *data center* d'IBM chauffe une piscine ; à Amsterdam, l'université chauffe ses locaux avec la chaleur dégagée par ses salles de serveur[101] ; à Seattle le siège d'Amazon est chauffé par les calories provenant du *data center* de la ville[102] ; à Londres, dans le quartier de Dockland, un *data center* chauffe des habitations[103].

Toutes ces opérations existaient déjà au moment où nous avons entamé notre enquête et notre veille ne nous a pas permis d'en mettre au jour de nouvelles. Ainsi, si le discours autour de cette valorisation se développe, il ne s'accompagne pas d'un accroissement rapide des mises en œuvre réelles.

Dans ce chapitre, nous commençons par replacer les acteurs de la synergie dans le processus d'aménagement local et présenter le fonctionnement technique de l'échange de chaleur (I). Nous montrons ensuite que la confrontation des intérêts des différents acteurs mène dans ce cas à un compromis fort sur la forme de gestion de la synergie (II). Puis, nous avançons que l'équilibre de l'exploitation de la synergie est fortement perturbé par l'inconnue que représente la dynamique de développement du territoire, tant du côté de la ressource que du côté des consommations (III). Enfin, nous analysons la façon dont cette inconnue entraîne une interaction entre la synergie et la planification de l'approvisionnement énergétique à l'échelle du territoire du Val d'Europe (IV).

[98] Le président d'Interxion s'exprime à ce sujet dans deux articles des Echos :
« Interxion investit 200 millions sur l'ancien site d'Eurocopter », Les Echos, 02/06/2015
« Val d'Europe recycle la chaleur des serveurs », Les Echos, 02/06/2015
[99] Rapporté par Aïda Nciri, doctorante au LATTS et à l'Université de Calgary ayant mené un entretien avec un cadre du SMIREC, le syndicat ayant en charge la gestion du réseau de chaleur de la ville.
[100] « Un réseau de chaud et de froid qui multiplie les sources d'énergie », La Gazette des Communes, 09/11/2015
[101] « Se chauffer grâce à l'énergie des serveurs informatiques », Le Monde, 01/07/2013
[102] "*Amazon, data center turn hot idea into cool technology*", The Seattle Times, 12/11/2015
[103] "*London data center to power local community*", Cnet, 16/04/2009

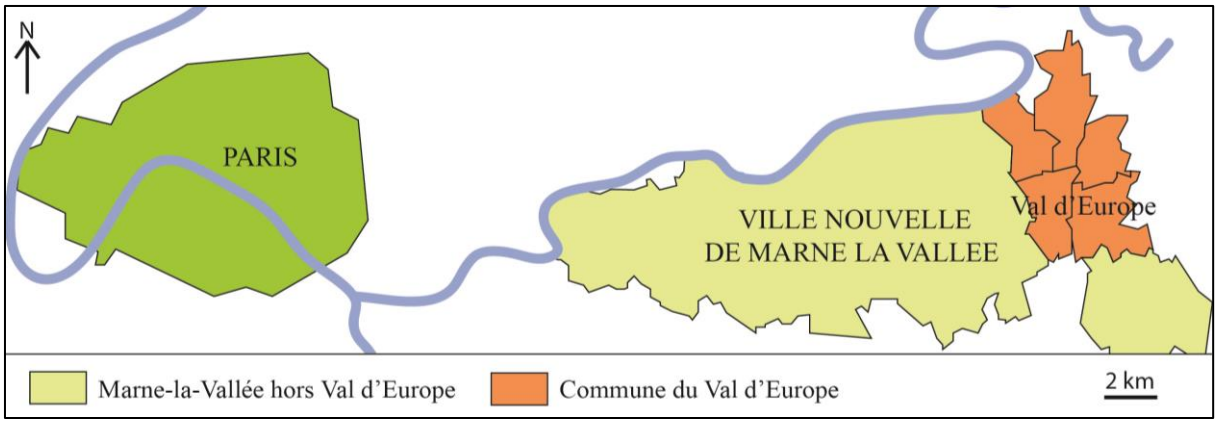


Figure 5.1 : Localisation du Val d'Europe par rapport à Paris et au sein de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée – Réalisation personnelle

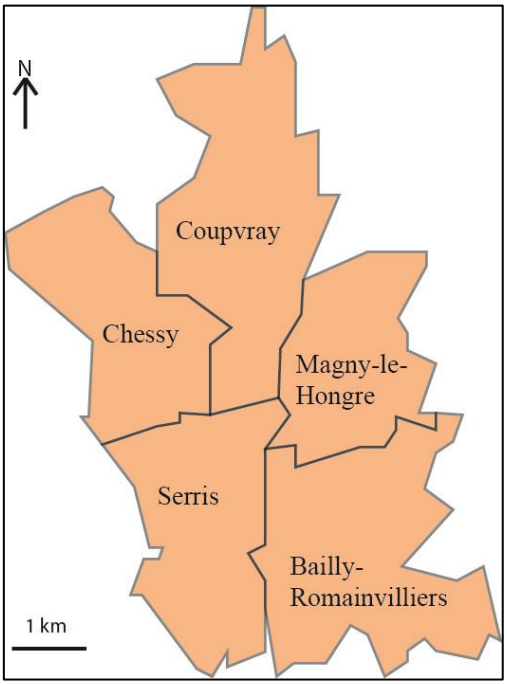


Figure 5.2 : Composition communale du Val d'Europe – Réalisation personnelle

I. Le Val d'Europe comme territoire en construction

Avec le cas du Val d'Europe, l'analyse de la synergie nous mène vers un autre « moment » de la production urbaine : celui du projet et de l'aménagement. Ainsi, si nous retrouvons comme à Dunkerque un énergéticien, une entreprise et une collectivité, viennent cette fois-ci s'immiscer les figures de l'aménageur et d'un protagoniste dont la mention ne peut manquer de surprendre : Euro Disney. La première section de cette partie explique le rôle de ces différents acteurs (A). La seconde explique l'origine du flux de chaleur et la manière dont il est distribué (B).

A. Un territoire en construction sous l'égide d'une entreprise internationale

Le Val d'Europe est le nom donné au secteur IV (c'est-à-dire le plus éloigné de Paris) de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée, en Seine-et-Marne, découpée lors de sa création en quatre secteurs donnant naissance à quatre intercommunalités. Ce dernier est composé de six communes, regroupées à l'origine au sein d'un Syndicat d'Agglomération Nouvelle (le SAN du Val d'Europe) possédant l'ensemble des compétences propres au développement urbain local, en cours. Le territoire urbanisé y est en effet en croissance constante : lorsqu'on observe le Val d'Europe, on observe la ville en train de se faire[104]. Fin 2015, le SAN devient une communauté d'agglomération.

Une particularité fondamentale du développement de cette zone est l'implication de l'entreprise Euro Disney dans le processus sur une partie importante des fonciers du territoire, selon une convention signée avec l'Etat en 1987 (*cf.* Encadré 5.2 pour les détails de cette dernière). Le rôle d'Euro Disney n'est toutefois pas celui d'un aménageur : les acteurs locaux lui donnent le nom de « développeur ». L'aménagement du Val d'Europe est en fait mené par deux entités qui partagent locaux et salariés : l'EPAFrance aménage les fonciers sur le territoire faisant l'objet de la convention, qui recoupe en grande partie le Val d'Europe, pour le compte de l'Etat et des collectivités, tandis que l'EPAMarne exerce les mêmes fonctions pour la zone sur laquelle la convention ne s'applique pas. Le rôle de développeur d'Euro Disney consiste à racheter les fonciers aménagés à l'EPAFrance et à leur trouver des preneurs.

Encadré 5.2 – **Disney et le Val d'Europe**

Si la présence de l'entreprise Disney Land à Marne-la-Vallée est notoirement marquée par l'implantation des parcs de loisir du groupe, la nature de son implication dans le développement urbain du territoire est moins connue. Dans les années 1980, alors que l'entreprise prospecte différents pays pour y développer de nouveaux parcs, la concurrence est rude. On attribue fréquemment le choix de la métropole parisienne à la prise en charge d'une infrastructure de transport depuis Paris jusqu'aux parcs (le RER A) par les acteurs publics (Etat et collectivités). Cependant, l'accord entre l'Etat, les collectivités locales et l'entreprise ne se limite pas au financement de cette infrastructure.

En 1987, une convention est signée entre ces derniers, qui fixe en particulier les conditions du développement urbain aux alentours des parcs. Elles prennent la forme d'un plan d'intérêt

[104] La population du Val d'Europe est passée de 1829 en 1968 à 26250 en 2009.

général (PIG) dans lequel apparaissent des prescriptions architecturales, des orientations d'aménagement et des objectifs de développement du territoire : « cette convention dure initialement 30 ans, 1987-2017, avec un objectif de 30 000 habitants, 30 000 emplois. La convention a été prolongée en 2010 avec un objectif de 60 000 habitants, 60 000 emplois » (Ancien chargé de développement immobilier chez Euro Disney, 03/11/2014). La convention porte sur une portion du territoire que les acteurs du développement local appellent « Zone Disney », qui s'étend dans un périmètre contenant les parcs de loisir mais ne correspond ni au Val d'Europe dans son ensemble, ni à des limites communales (voir Figure 5.3). Le PIG est prévu en quatre phases, chacune faisant l'objet de négociations entre les signataires de la convention quant à la programmation et aux objectifs de réalisations dans le temps.

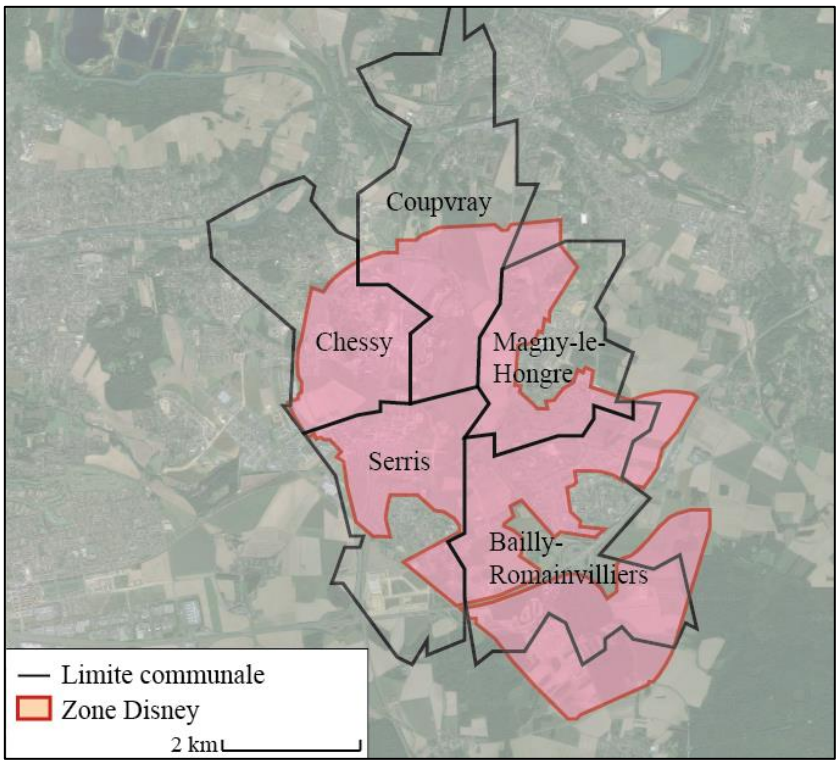


Figure 5.3 : Zone Disney – Réalisation personnelle à partie d'un fond Google Earth (16/05/2016)

L'accord est connu pour le résultat qu'il donne sur l'architecture et l'urbanisme qui prévalent sur le territoire puisqu'il est parfois fait référence au Val d'Europe comme à la « ville Disney ». Toutefois, les conditions organisationnelles et financières de ce développement sont moins médiatisées. Dans les faits, l'entreprise américaine n'exerce pas seulement une influence sur la nature du développement urbain, elle en tire également un revenu. Le principe est le suivant : le foncier que les acteurs se sont accordés à urbaniser dans une procédure de Zone d'Aménagement Concertée (ZAC) est aménagé par l'EPAFrance pour le compte de l'Etat et des collectivités. Les terrains sont alors vendus à Disney qui prospecte les promoteurs, et construit les prescriptions des cahiers des charges de cession de terrain. Les acteurs locaux donnent à ce rôle le nom de « développeur ».

Le revenu que Disney tire de l'opération provient de cette transaction. En effet, les fonciers sont cédés par l'EPAFrance à Euro Disney à leur valeur de 1987, tandis que l'entreprise les revend aux preneurs à leur valeur de marché : « maintenant, vu le prix du foncier, vu les problèmes des collectivités *etc.*, ben on a un écart qui était quand même très important entre l'achat réel du foncier de Disney au niveau de l'Etat, de l'EPA et la revente qu'ils font au promoteur […]. C'est de l'aide indirecte. […] Alors quand c'est pour le développement de la station touristique, ça se justifie. Ils ont tellement d'investissements. Après, au bout d'un moment, ce qui allait bien dans les années 87 jusqu'aux années 90, ok, maintenant, toute la période a changé, on n'est plus du tout dans le même cas de figure, et donc là c'est vrai que bon, les communes qui doivent serrer les vis de partout, l'Etat et tout … on a quand même largement avantagé une grosse société » (Cadre du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014).

Figure 5.4 : Logo de l'entreprise de développement immobilier du Val d'Europe – Source : EuroDisney

Si les prescriptions architecturales sont émises par les architectes américains de l'entreprise, cette dernière s'est dotée de compétences locales en développement immobilier, créant en 2016 une identité dédiée, « Real Estate Development by EuroDisney » (voir le logo Figure 5.4) pour marquer le développement d'une expertise. Elle communique fortement sur le statut de « territoire le plus dynamique de France » du Val d'Europe justifié par le rythme soutenu du développement immobilier et économique, cependant pas toujours aussi rapide que le voudraient les acteurs, comme en témoigne notre étude de cas.

L'un des grands projets porté par l'ensemble des acteurs impliqués dans le développement du territoire est celui d'un parc d'entreprises, destiné à asseoir l'attractivité économique du Val d'Europe. Appelé Parc du Prieuré et situé à cheval entre les communes de Serris et de Bailly-Romainvilliers, Euro Disney souhaite au moment de sa planification en faire un « Parc International d'Entreprises » (PIE) qui accueillerait des sièges sociaux internationaux (voir sa localisation Figure 5.5 et le plan masse du projet d'aménagement Figure 5.6). Actuellement, la commercialisation du parc, qui fait l'objet d'une procédure de Zone d'Aménagement Concertée (ZAC), est en cours : les premières implantations sont déjà occupées, mais une partie du parc reste en construction ou en attente de preneur.

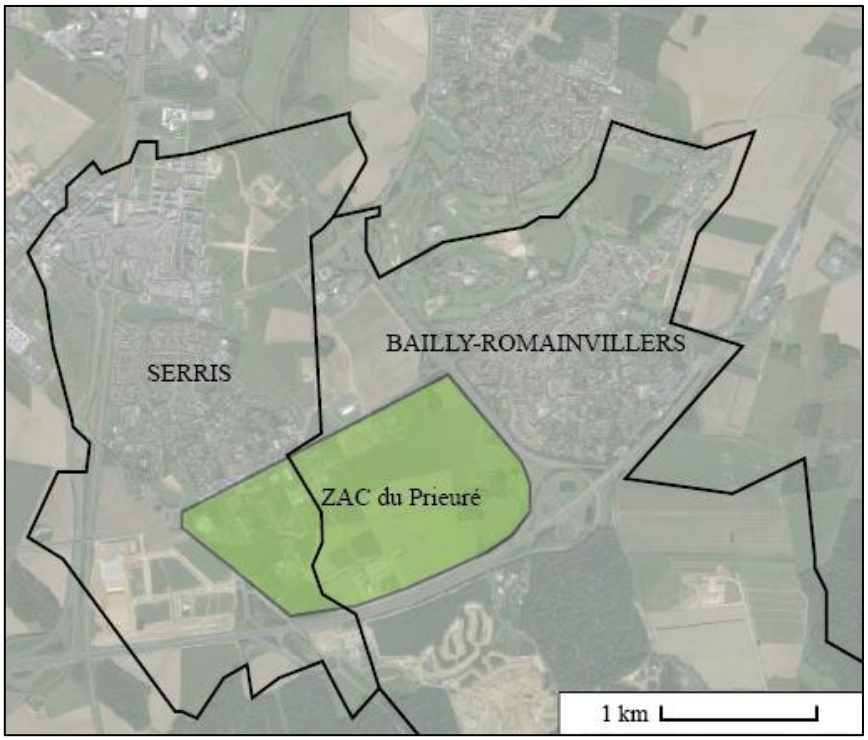


Figure 5.5 : Localisation du futur PIE (ZAC du Prieuré) à l'intersection de Serris et Bailly-Romainvilliers – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016)

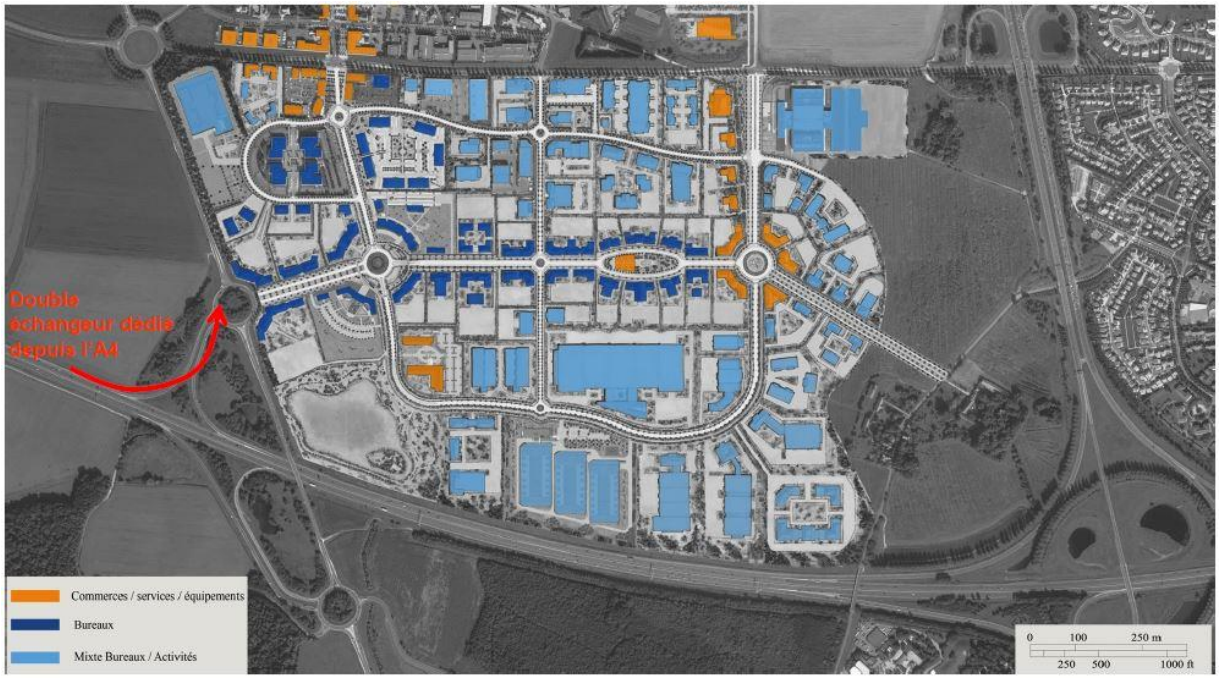


Figure 5.6 : Plan masse prévu pour le parc d'entreprise – Extrait d'un document de présentation publique du parc par Euro Disney « Le Parc d'entreprise Paris Val d'Europe. Invitation à inventer »

C'est sur cette zone en développement que se joue la synergie que nous nous proposons d'étudier. Elle consiste en la récupération de la chaleur émise par un *data center*, propriété

d'une banque française[105], pour la distribuer au travers d'un réseau de chaleur sur l'ensemble du parc et vers une piscine publique construite et exploitée par le SAN du Val d'Europe. Le réseau est développé par Dalkia, qui le commercialise. L'investissement dans le réseau par l'opérateur se porte à 9,2 M€ dont 3,46 M€ pour la partie distribution qui est subventionnée à hauteur d'1 M€ par l'ADEME dans le cadre du Fonds Chaleur.

Au total, cinq acteurs sont donc impliqués dans la construction de la synergie. Les relations formelles qui les unissent, développées et analysées dans la suite de ce chapitre, sont représentées schématiquement sur la Figure 5.7.

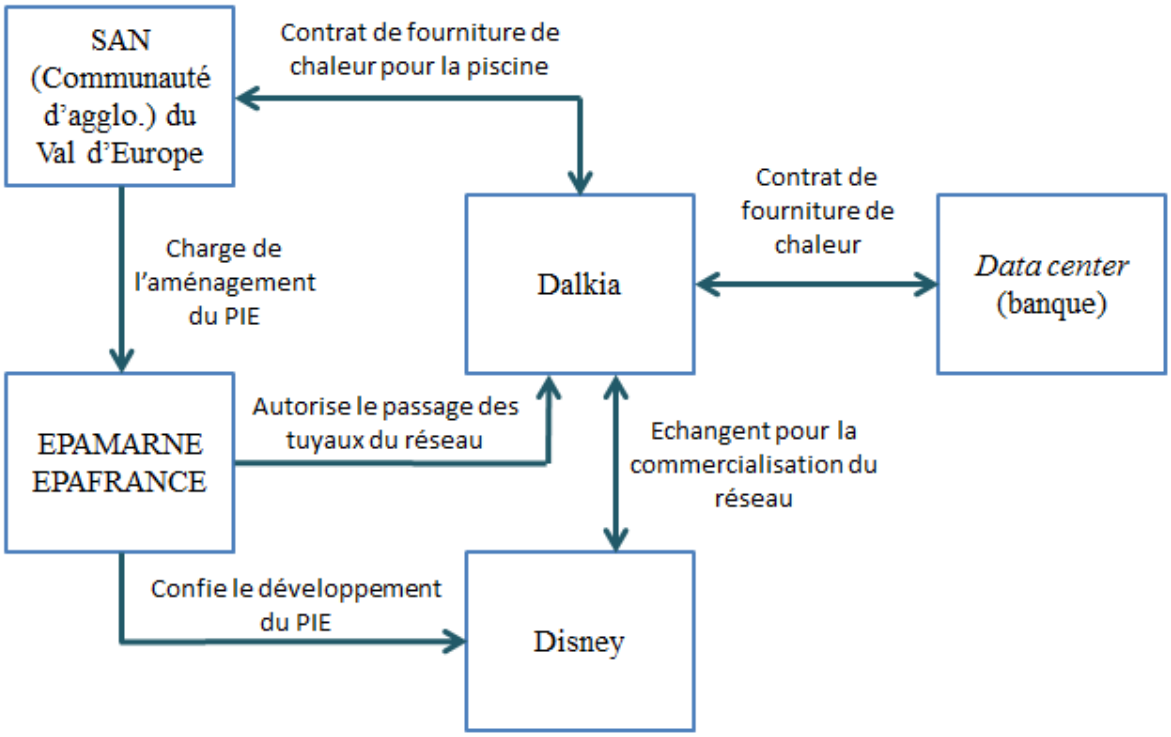


Figure 5.7 : Schéma récapitulatif des acteurs impliqués dans la récupération de chaleur au Val d'Europe et de leurs relations – Réalisation personnelle

B. Le système énergétique

Contrairement au cas d'ArcelorMittal, et plus généralement des industries, les sources de chaleur fatale au sein des *data centers* sont bien moins diverses : elles sont nécessairement liées à la production de calories par les serveurs informatiques. Dans cette section, nous en

[105] Comme nous le verrons plus loin, cette banque ne souhaite pas que son nom soit publiquement associé à l'opération. Nous l'appellerons donc par la suite « la banque ».

présentons l'origine (1) avant d'analyser la manière dont les flux récupérés sont distribués et complémentés pour convenir en nature et en temps aux besoins des usagers (2).

1. L'énergie du rafraîchissement : une chaleur contingente

Si nous traitons ici de chaleur, il nous faut avant tout faire un détour par les questions qui touchent à une autre forme d'énergie : ce qui justifie la production de chaleur d'un *data center*, c'est d'abord sa consommation d'électricité. Cette dernière, de plus en plus médiatisée[106], est due au fonctionnement des serveurs qu'il abrite mais également à l'exploitation du bâtiment (sécurité, ventilation et, surtout, comme nous le verrons, climatisation). Les opérateurs de *data centers* ont d'ailleurs construit un indicateur permettant de quantifier l'efficacité de l'utilisation d'électricité par leurs installations : le *Power Usage Effectiveness* (PUE) (Yuventi et Mehdizadeh, 2013). Ce dernier est le résultat du rapport entre la quantité totale d'électricité consommée par un *data center* et la quantité d'électricité consommée spécifiquement par les serveurs qu'il regroupe. Plus le PUE est proche de 1, plus le *data center* est jugé efficace. La valeur de cet indicateur est très importante pour les opérateurs puisque l'électricité constitue le principal coût d'exploitation d'un centre.

Parmi les plus anciens *data centers*, il est fréquent de trouver des valeurs de PUE dépassant, parfois largement, la valeur de 2 tandis que les valeurs récentes peuvent se rapprocher de 1,2. L'amélioration de cet indicateur provient principalement des évolutions dans la manière de climatiser les salles. La grande majorité de l'électricité consommée par les serveurs est en effet transformée en chaleur, par effet Joule. Sans traitement particulier, l'air intérieur d'une salle de serveur peut donc atteindre des températures très élevées qui perturbent le fonctionnement des machines ou les endommagent. Elles doivent donc être contrôlées et, dans la très grande majorité des cas, ce contrôle est exercé au moyen d'une production frigorifique, qui consomme de l'électricité. C'est le cas, en particulier, pour le *data center* de la banque considérée du Val d'Europe.

> « La salle informatique, c'est quand même un objet qui est très gourmand en énergie. Il faut savoir que le projet, à la base, c'est 23 MW d'électricité. C'est énorme. Ça correspond déjà à une petite ville. On a en capacité 7 MW immédiats mais on peut monter jusqu'à 9 MW de froid, de production frigorifique. Ce qui est quand même assez énorme aussi. »

Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

[106] « Les centres de données informatiques avalent des quantités croissantes d'énergie », Le Monde, 01/07/2013

Les puissances ainsi mises en jeu (23 MW d'électricité au total et 7 MW au moins de production de froid) sont si importantes qu'elles pèsent fortement sur le choix d'implantation des centres, d'autant plus que la disponibilité continue de telles puissances est un des critères fondamentaux de ce choix pour le constructeur du *data center* : « ça avait d'ailleurs fait partie de l'étude d'implantation des sites. Il fallait qu'on ait la capacité, *via* ERDF, d'avoir les puissances disponibles, sachant que ce sont des puissances dédiées » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014). L'appellation « puissances dédiées » fait ici référence au fait que les câbles qui relient le centre aux installations de production d'électricité sont, précisément, dédiés à ce dernier : aucun autre bâtiment ou équipement ne peut y être raccordé. En outre, les puissances réservées au *data center* dans les installations de production et de distribution sont doublées, pour des raisons de sécurité d'approvisionnement qui correspond à une classification du centre dite « Tier Quatre »[107] : « c'est-à-dire que contrairement à ce qui se passe dans les villes et partout ailleurs, où ERDF alimente un câble et on a un câble de secours, là on a deux câbles, et deux câbles qui sont alimentés en permanence. C'est-à-dire qu'on peut basculer de l'un sur l'autre sans problème et on tire d'ailleurs régulièrement sur les deux câbles » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

Outre les installations de distribution d'électricité, cette particularité entraîne la nécessité d'implanter sur le territoire des installations de production supplémentaires : « on a été obligé de doubler le poste source. Ça implique des investissements qui sont lourds. Là, dans le *data center*, le plus cher ce n'est pas de construire le bâtiment, c'est d'amener l'électricité » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015). Pour autant, ces investissements sont pris en charge par le constructeur du *data center* et ne sont donc pas supportés par la collectivité.

La production de froid installée pour le contrôle les températures, assurée par des machines thermiques qui portent le nom de groupes frigorifiques « eau-eau », est elle-même productrice de chaleur puisque, comme tout bon thermicien aime à le rappeler, lorsqu'on fabrique du froid, on fabrique nécessairement du chaud simultanément. Plus précisément, un groupe

[107] L'expression Tier Quatre fait référence à une classification des *data centers* en fonction du taux de disponibilité des serveurs, c'est-à-dire de la probabilité que les données ou applications ne soient pas accessibles. La classification va de Tier Un, qui représente la plus forte probabilité d'indisponibilité à Tier Quatre : « Tier Quatre pour résumer, on assure à nos clients finaux, qui sont donc l'informatique interne, 99,999 de taux de disponibilité. C'est-à-dire pratiquement le 100%, parce que le 100% n'existant pas, donc le tiers quatre définit ça comme 99,999% de taux de disponibilité. Ce qui implique une chose simple, c'est que toutes les chaînes sont doublées, et toutes les chaînes tournent à 50% de leur puissance » (Responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

frigorifique est en particulier composé de deux parties : l'« évaporateur », qui produit du froid et le « condenseur », qui produit une chaleur qui, dans le cadre d'un processus de rafraîchissement, doit être évacuée. C'est cette chaleur, produite en sortie des groupes de froid, qui est récupérée avant d'être distribuée, selon une conception qui ne constitue en rien une innovation au moment de la mise en œuvre de la synergie étudiée, puisqu'elle s'appuie sur des échangeurs utilisés par ailleurs dans les réseaux de chaleur conventionnels : « techniquement il n'y a absolument rien de … […] ça n'a absolument rien de spectaculaire comme installation, c'est plutôt simple comme conception » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014).

Ainsi, lorsque l'on évoque la récupération de chaleur sur des serveurs informatiques, il s'agit d'un abus de langage : on récupère en fait la chaleur issue d'un processus de rafraîchissement. Cette distinction a des conséquences importantes sur le rapport des différents acteurs à la récupération de chaleur, pour deux raisons. En premier lieu, une telle récupération s'appuie sur un processus en lui-même inefficace puisque consommant de l'électricité pour contrer les effets d'une chaleur elle-même issue d'une consommation d'électricité. En second lieu, elle n'apporte pas de gain d'efficacité pour le *data center* en lui-même puisqu'elle n'abaisse pas son PUE. Les opérateurs, dans leur généralité, y voient donc *a priori* peu d'intérêt[108]. Ainsi, pour améliorer l'efficacité environnementale des *data centers* tout en abaissant les PUE, certains acteurs[109] défendent davantage le modèle du *free cooling*, c'est-à-dire l'usage direct de la circulation de l'air extérieur dans les salles pour favoriser l'évacuation naturelle de la chaleur. Dans ce dernier cas, les calories sont donc perdues.

Le bilan énergétique, environnemental et économique de ces deux solutions dépend fortement des systèmes de refroidissement utilisés, du climat dans lequel le *data center* est implanté et des sources à partir desquelles l'électricité est produite. Dans le cas du Val d'Europe, les deux solutions ont été envisagées et la seconde a d'ailleurs été retenue pour le « centre miroir » (*cf.* II.A pour l'explication de ce terme) de ce dernier implanté à Lieusaint, au sud de la Seine-et-Marne : « on a fait la même démarche, on a cherché à trouver un partenaire local, mais il n'y avait rien autour, il n'y avait pas de piscine, il n'y avait rien, donc là on est parti sur un autre

[108] Entretien avec le président d'Interxion, entreprise spécialisée dans la construction et l'exploitation de *data centers*, également créateur et ancien président du CESIT, Comité d'Exploitants des Salles Informatiques et Télécoms, 16/06/2015

[109] C'est en particulier le discours tenu par l'opérateur du *data center* Marilyn à Champs-sur-Marne qui présente un PUE de 1,3.
« L'énergie des data centers », La Tribune, 10/09/2015

système complètement différent, qui est le *free cooling* » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

2. La distribution et les sources complémentaires

La distribution de la chaleur récupérée sur les condenseurs des groupes de froid est réalisée en deux étapes, au travers de deux boucles distinctes (trois pour l'instant dans les faits : nous en verrons l'explication plus loin). La première d'entre elles amène l'eau chaude des installations du *data center* vers une chaufferie installée et gérée par Dalkia où sa température peut être rehaussée (voir Figure 5.8 une photographie des arrivées et départs de flux dans la chaufferie) : « dans le bâtiment dans lequel on va trouver notre échangeur de récupération et pour faire l'appoint en cas de manque ou de panne du *data center*, *[on trouve]* une chaudière qui permet de maintenir dans tous les cas une distribution de chaleur, au cas où » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014).

Figure 5.8 : Enchevêtrement de tuyaux dans la chaufferie - on aperçoit le tuyau de départ vers le *data center* – Photo prise par l'auteur - Octobre 2014

En conditions « normales »[110], le *data center* doit être capable de livrer 180 m^3 d'eau par heure à une température de 55°C. Le choix de cette température précise n'est pas anodin puisqu'il correspond à une réglementation touchant la fourniture d'eau chaude sanitaire : « l'exploitant a une obligation de fournir au minimum 55°C, puisque c'est un problème sanitaire : c'est un problème de légionellose » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands

[110] Selon les termes utilisés par un cadre technique de Dalkia lors d'une visite de site.

projets Dalkia 24/10/2014). Ce niveau de température de l'eau distribuée classe toutefois le réseau dans la catégorie « basse température », ce qui entraîne des contraintes techniques particulières pour les usagers, sur lesquelles nous revenons plus loin car elles ont une influence directe sur le processus de construction du réseau.

À partir de cette chaufferie, deux autres boucles de réseau, mais qui ont la même fonction et ne sont pas nécessairement destinées à rester déconnectées, permettent la distribution de la chaleur : l'une part vers la piscine publique et l'autre vers le parc d'entreprise. Ces deux boucles apparaissent d'ailleurs unies sur la représentation publique que Dalkia donne du réseau (voir Figure 5.10). Les deux types de boucle sont physiquement indépendants : il n'y a pas d'échange d'eau entre eux, mais simplement un échange de calories à travers un échangeur thermique, comme le montre la Figure 5.9. Le choix de cette séparation physique se fonde sur un raisonnement organisationnel bien plus que technique, sur lequel nous revenons dans la partie III de ce chapitre.

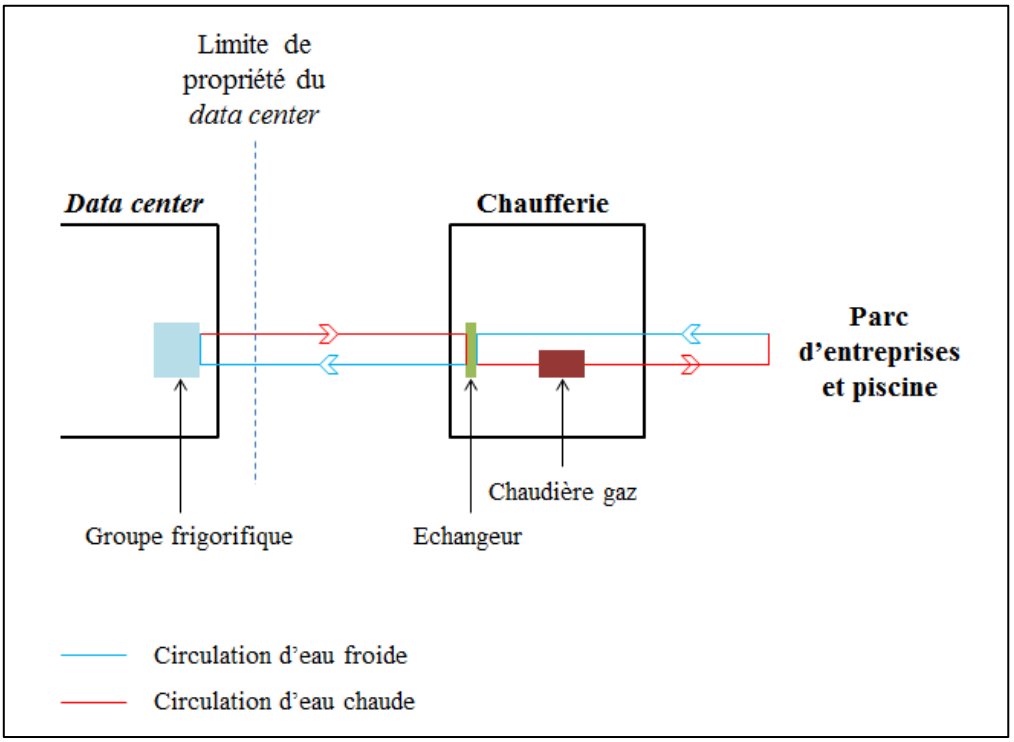


Figure 5.9 : Représentation schématique de la séparation physique entre les deux boucles formant la synergie – Réalisation personnelle

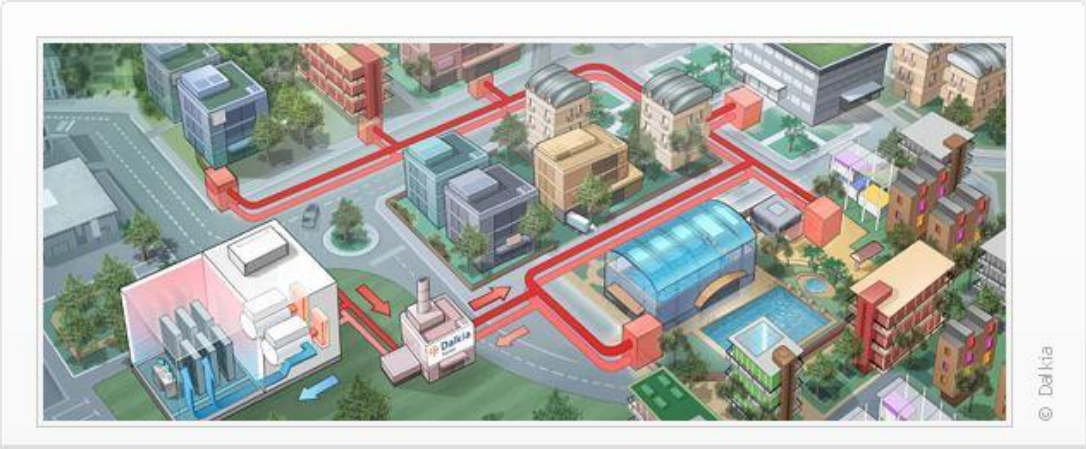


Figure 5.10 : Représentation schématique du réseau de chaleur du Parc d'Entreprises par Dalkia – Source : Dalkia

À la sortie de l'échangeur, la température de l'eau provenant du *data center* doit être abaissée de 10°C au moyen d'un transfert thermique qui permet l'évacuation des calories recherchée par l'opérateur de ce dernier et l'augmentation de la température de l'eau qui circule dans le réseau de chaleur, pour une puissance totale de production de 2 MW. L'objectif est donc d'obtenir une température de 55°C dans le circuit de distribution de chaleur au parc d'entreprise ou « régime eau secondaire » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). Toutefois, cette température n'est pas atteinte directement à la sortie de l'échangeur puisque l'échange de calorie au travers de ce dernier ne permet pas d'atteindre la température du fluide chaud provenant du *data center* : c'est ce qu'on appelle le « pincement » d'un échangeur. Cette différence de température est, dans ce cas, relativement faible (2°C) ce qui implique que la température de l'eau qui arrive jusqu'au consommateur final ne nécessite qu'une faible augmentation de sa température pour atteindre de nouveau les 55°C réglementaires pour l'eau chaude sanitaire. Toutefois, pour parvenir à un tel résultat, l'échangeur installé doit être de taille importante et donc relativement coûteux. En effet, plus la taille de l'échangeur est grande, et donc plus son coût est élevé, plus le transfert de calorie est efficace, c'est-à-dire plus on peut se rapprocher de la température du fluide chaud : « il faut faire un équilibre entre le pincement qu'on veut et le pognon qu'on veut y mettre. C'est toujours la même histoire » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014).

En outre, le système technique est construit pour que les calories provenant du *data center* soient toujours utilisées prioritairement aux systèmes d'appoint[111] : « on utilise au maximum les calories. […] Donc on a les vannes de régulation derrière, qui varient avec la température extérieure. Avec ça, et grâce au variateur, on augmente et on diminue les débits pour consommer au maximum la puissance. On essaye d'utiliser au maximum la température » (Entretien avec un technicien d'exploitation, Dalkia, 24/10/2014).

En somme, le système technique est similaire à celui de Dunkerque, en ce qu'il permet le transfert de calories au travers d'un échangeur entre le système de l'entreprise et celui du réseau de chaleur et qu'il associe à cet échange une capacité de production complémentaire. Toutefois, son organisation spatiale est différente puisque les deux systèmes sont physiquement séparés pour limiter les interactions. Les suites de ce chapitre montrent les justifications et implications de cet assemblage technique et organisationnel spécifique.

II. L'exemplarité environnementale et le service public en confrontation

D'une ancienneté bien moins grande que la synergie de Dunkerque, les intérêts attachés à la synergie du Val d'Europe sont apparus plus clairement au cours de notre enquête, tout comme les dissensions quant à l'origine du projet. Ces derniers sont analysés dans une première section (A). Dans une seconde, nous montrons comment leur confrontation mène au choix de formes particulières de commercialisation et gestion du réseau auxquelles les acteurs sont peu habitués et ne souscrivent pas tous (B).

A. Des origines floues et à la paternité disputée, mais des intérêts clairs

L'histoire de la récupération de chaleur au Val d'Europe remonte à l'année 2007. À cette époque, l'opération d'aménagement du PIE est déjà bien avancée et la commercialisation de premiers lots est en cours. Le SAN du Val d'Europe prépare alors la construction d'une piscine, le projet en étant plus qu'à ses débuts puisque la phase d'appel d'offre aux entreprises de construction et d'exploitation de l'équipement s'apprête à être lancée.

[111] Ce point peut sembler évident mais, dans les faits, certains systèmes de production d'énergie fonctionnent mieux lorsqu'ils ne sont jamais arrêtés (nous le verrons à nouveau dans le chapitre suivant), ce qui pourrait inciter les acteurs à privilégier une utilisation des chaudières d'appoint en continu, même lorsque la chaleur provenant du *data center* est suffisante.

« Nous, on en était au projet, proche du DCE *[Dossier de Consultation des Entreprises]*, on lançait la consultation. On était parti à l'époque sur une chaufferie bois sur la piscine, parce qu'on voulait quelque chose de vertueux. »

Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

Figure 5.11 : Localisations du *data center* et du centre aquatique – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016)

Toutefois, malgré l'idée de chauffer la piscine par la biomasse (le bois), le directeur général du SAN de l'époque réalise qu'une demande de permis de construire a été déposée pour la construction d'un *data center* sur le PIE (voir Figure 5.11). Une banque française cherche en effet à la même période à construire son propre *data center* pour rationaliser la gestion de ses serveurs informatiques. L'idée pour cette dernière est ainsi de ne pas dépendre d'un opérateur chez lequel elle louerait des espaces pour installer ses serveurs.

« Nous, on avait un besoin informatique récurrent depuis des années et puis un besoin de sécurisation de notre parc informatique et de nos actions. L'intégralité de notre parc informatique à l'époque était dans un centre informatique qui avait été construit en 1986, chez nous. Ce centre informatique étant trop petit, on a débordé sur des hébergeurs extérieurs avec la problématique qui s'est posée de la sécurisation de ces hébergeurs en matière de … pas en matière de données, mais plus en matière de continuité de fonctionnement. Ce sujet est devenu trop récurrent et on a décidé de construire deux centres informatiques pour accueillir l'intégralité des matériels

informatiques chez nous, avec notre propre exploitation. Comme ça, au moins, on était chez nous, on exploitait nos propres exploitations. »

Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

À la suite d'une prospection complexe qui doit permettre de révéler deux localisations ni trop proches ni trop éloignées pour construire deux *data centers* « miroirs », décision est prise d'implanter l'un des deux sur le parc d'entreprises du Prieuré.

> « Deux centres ont été lancés en construction, un à Bailly-Romainvilliers *[sur le parc du Prieuré]* […] et un à Lieusaint. Espacés de 35 km, puisque ça a été conduit en analyse de risque, risque régional, risque national, comment construire les centres suffisamment proches pour que les données … parce que c'est deux centres miroirs, complètement miroirs. C'est-à-dire qu'une donnée à Bailly est la même qu'à Lieusaint. Donc après, il y a des problématiques de transfert des données, il ne faut pas qu'ils soient trop éloignés pour rester dans la même configuration. Pour autant, il faut qu'ils soient suffisamment éloignés pour que le risque, tous les risques soient minimisés. C'est-à-dire qu'un risque régional n'impacte pas les deux centres et qu'on se retrouve sans centre informatique. »

Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

À cette période, le SAN du Val d'Europe et les communes locales sont très favorables à l'installation de *data centers* sur leur territoire et tout particulièrement à celle du *data center* de cette banque en particulier : « c'était un joli nom, c'était quand même une belle enseigne » (Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014). Outre le prestige que les acteurs publics associent à ces activités, les revenus fiscaux qu'elles peuvent générer influencent fortement leur décision. Toutefois, ces derniers diminuent largement lors du passage de la Taxe Professionnel à la Contribution Territoriale des Entreprises en 2010. La collectivité réévalue alors l'intérêt d'accueillir de tels équipements sur le territoire.

> « La taxe professionnelle, dedans, ce sont les immobilisations qui sont taxées. Donc pour les *data centers*, c'est colossal. Les immobilisations, c'est tous les serveurs, donc ça nous rapportait énormément en termes de fiscalité. Manque de bol, juste quand ils sont arrivés, juste après, il y a eu le changement avec la CET, la contribution économique territoriale, qui est séparée entre la contribution économique foncière et la contribution sur la CVAE, la taxe sur la valeur ajoutée. Et là, ça a complètement changé la donne, puisque ce n'est pas du tout appliqué sur les immobilisations. C'est sur la valeur locative, ce qui veut dire que maintenant un *data center*, ça rapporte que dalle en fiscalité. Pas grand-chose. Et il y a très peu d'emploi, et ça mange du foncier. Donc on a dit OK, ça on le voulait on l'a eu […] *[Après l'installation de plusieurs* data centers*]*, on

s'est dit là stop, on arrête. Ça nous mange plein de parcelles, on arrête de vendre du foncier pour avoir dix emplois et que ça ne nous rapporte pas énormément. »

Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

Sur ce point précis, un court détour par le territoire francilien de Plaine Commune, qui regroupe dix communes au nord de Paris, nous permet de montrer que ces conclusions ne sont pas propres au Val d'Europe et qu'elles ne sont pas étrangères à l'intérêt porté par les collectivités à la récupération de chaleur fatale. Ce territoire est en outre évoqué au cours des entretiens au Val d'Europe pour les réflexions qui y ont été portées *a posteriori* quant aux implications de l'implantation de ces équipements. En effet, de nombreux *data centers* s'y installent au cours des années 2000 et 2010 pour profiter d'une disponibilité foncière et d'un accès facilité aux réseaux d'électricité et de télécommunications (voir Encadré 5.3 pour comprendre les logiques générales de localisation des *data centers*). L'Agence Locale de l'Energie et du Climat locale (ALEC Plaine Commune) se saisit du sujet pour alerter les acteurs du territoire sur l'impact énergétique de ces équipements à travers la diffusion d'un rapport repris dans la presse (ALEC Plaine Commune, 2013) qui participe à l'essor de revendications locales contre l'implantation des *data centers* de la part d'habitants. Si les nuisances sonores et les risques qu'ils induisent[112] en sont le moteur, les arguments énergétiques sont repris pour appuyer le discours. Notamment, la question de la récupération d'énergie, ou plutôt de son absence, est évoquée et utilisée comme argument pour montrer un déséquilibre des rapports de force entre les opérateurs de *data centers* et les acteurs du territoire.

« La population qui vit … une bonne partie de la population n'a pas les moyens de se chauffer, donc on a beaucoup de familles qui ne se chauffent plus, qui ne se lavent plus à l'eau chaude et donc on avait demandé à ce que l'énergie qui est produite là puisse servir aussi pour les habitants et ça on a eu une fin de recevoir, je pense que … nos politiques n'ont pas osé en tout cas interpeller les patrons de cette grosse boîte. »

Une habitante de La Courneuve vivant à proximité d'un *data center*, lors d'un « Toxic Tour »[113], 25/01/2015

[112] Liés à la présence de groupes électrogènes.

[113] Les Toxic Tour sont des marches organisées par un collectif de Seine-Saint-Denis dont le but est de donner à voir et à comprendre les activités aux retombées environnementales négatives dans le département. Le collectif milite pour davantage de justice environnementale, sur un modèle importé des Etats-Unis. Deux tours ont en particulier été organisés sur les *data centers* et nous avons suivi l'un d'entre eux, le 25 janvier 2015. Au cours de ce dernier, l'importante consommation d'électricité de ces activités a été évoquée à de multiples reprises.

Nous avons toutefois évoqué dans l'Encadré 5.1 le fait que de telles possibilités avaient été étudiées à deux reprises (au moins) sur le territoire de Plaine Commune mais n'avaient pas abouti, montrant que l'indifférence supposée des élus face à ce sujet n'est en fait pas avérée.

Encadré 5.3 – **Réseaux, *data centers* et planification urbaine**

Extraits d'entretien avec le président d'Interxion, entreprise spécialisée dans la construction et l'exploitation de data centers*, également créateur et ancien président du CESIT, Comité d'Exploitants des Salles Informatiques et Télécoms, 16/06/2015*

« L'informatique c'est bête, c'est bête comme chou. C'est : je produis de la donnée, je *process* de la donnée, je la stocke et je l'envoie quelque part. […] Il ne faut jamais oublier qu'il faut l'envoyer quelque part et que quand vous envoyez quelque chose vous avez deux dimensions. Vous avez le coût et le temps, c'est comme du fret, c'est comme pour envoyer un camion de Bohn à Paris ou envoyer un container de Shanghai au Havre. Et le coût est lié à la distance, mais il est surtout lié au … est-ce que vous êtes près des autoroutes quatre voies ou pas ? Les réseaux télécoms ils sont complètement organisés sur le modèle routier. Vous avez des autoroutes quatre voies, voire des multiples de quatre voies, l'autoroute deux voies, la nationale, la départementale, vous finissez au chemin de forêt, le chemin de forêt c'est votre ligne ADSL à la maison. Ça c'est du domaine du chemin de forêt. Mais c'est ça le problème du grand public et y compris de nos politiques, c'est que, parce que depuis 15 ans on a l'ADSL dans le fin fond du Larzac, on est persuadé que les réseaux sont partout. C'est exactement le contraire. Les réseaux se sont réorganisés … on a une concentration sur ce qu'on appelle les cœurs de réseau et on ne fait plus que de la collecte sur les territoires. Sauf que c'est la même chose que quand vous faites de la logistique, vous êtes sur un axe principal d'autoroute quatre voies. Le kilomètre ne vous coûte rien en fret. Enfin très peu, le coût marginal est faible. Vous devez faire la dernière livraison en camionnette pour monter dans le chalet d'altitude, ça coûte une fortune.

[…]

S'il y a autant de *data centers* à Plaine Commune, c'est qu'il y a trois choses. Il y a du foncier disponible parce que c'est des friches industrielles. Il y a, parce que c'était de l'industrie, énormément de densité de postes sources électriques, et sans ça, comme on paye au mètre linéaire le câble, il vaut mieux qu'on ne soit pas trop loin, c'est toujours une histoire de coût, il faut bien se faire raccorder. Et troisièmement, surtout, tous les réseaux télécoms majeurs, ce qu'on appelle les *backbones* remontent le long de l'autoroute A1 pour aller vers l'Allemagne, le Bénélux et le Royaume Uni. »

Quoi qu'il en soit, la demande de permis de construire déposée par la banque française au Val d'Europe arrive au milieu des années 2000, à une période où elle est perçue positivement. Elle

passe par les services techniques du SAN qui doivent rendre leur avis à son sujet. C'est alors que le système de récupération de chaleur est imaginé.

> « Quand on a commencé à étudier la piscine, à faire le projet du centre aquatique à proximité, on a eu le dépôt du permis du *data center*. Et donc quand on a étudié ce dossier, on s'est dit, il y a un dégagement de chaleur, là-dedans, d'énergie, phénoménal, qui part dans l'atmosphère ! Et l'idée, qui a émergé comme ça, en discutant avec le DGS *[Directeur Général des Services du SAN]*[114], on s'est dit, une piscine, c'est très consommateur d'énergie, et un *data center* … est-ce qu'on ne pourrait pas voir comment on pourrait mettre ça en synergie ? Ça c'était l'idée de départ. Sans aucune, voilà … c'était une idée qu'on avait comme ça. »
>
> Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

Le projet est en particulier appuyé par l'idée d'une concordance entre la production de chaleur par le *data center* et un besoin continu de calories du côté de la piscine : « parce que c'est ça aussi, si ce n'était que des pointes, ce n'était pas intéressant d'utiliser le *data center* » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014).

Le SAN s'aperçoit qu'une telle solution est simple sur le plan technique, au sens où les technologies existent et ne sont pas innovantes, et envisage de la mettre en œuvre au travers d'une délégation de service public (DSP). Les services techniques entrent alors en contact avec la banque pour lui proposer un tel partenariat. Cependant, ils se découragent vite face à la complexité des échanges avec l'entreprise. La crainte principale est celle de la vitesse de construction du *data center* : le projet est en effet bien avancé et le SAN pressent que la durée de la mise en place d'une délégation de service public, conditionnée au temps des démarches administratives, serait trop importante et risquerait de provoquer un désintérêt de la part de la banque.

> « Rapidement, on s'est aperçu que le plus simple aurait été de faire une DSP, pour dire que nous on soit maître de la situation et puis on a commencé à engager des discussions avec le *data center*. Rapidement, on s'est aperçu que c'était une usine à gaz phénoménal et on n'allait surtout pas … puisque le *data center* n'allait pas nous attendre. Par exemple, il nous on dit, nous, de toute façon, votre projet, ce n'est qu'un projet, nous on n'a pas étudié cette question-là, nous on est parti sur des tours aéro-réfrigérantes […] nous, le moindre surcoût on ne peut pas l'absorber […]. Bref, on a vu que c'était très

[114] Notons que cette personne était partie à la retraite au moment de notre enquête et que malgré nos diverses tentatives, nous ne sommes pas parvenue à la contacter. Son travail sur le sujet du réseau de chaleur est toutefois bien connu du directeur des services techniques du SAN que nous avons interrogé, qui a suivi le projet en continu à ses côtés.

compliqué. Et c'est pour ça qu'on en a discuté avec Dalkia. Là aussi, dans le cadre des rapports qu'on a, en disant, voilà, nous on avait envie de faire ça, c'est compliqué. »

Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

Notons toutefois que la banque offre une version divergente de la situation. Selon l'entretien que nous avons mené auprès de la personne en charge du projet de construction du *data center* depuis l'origine, la solution aurait en fait émergé d'un rapprochement entre Dalkia et la banque. Dalkia, dans le cadre de sa prospection continue de projets urbains en développement, aurait constaté la présence du *data center* et perçu un potentiel de développement d'un réseau de chaleur. L'énergéticien serait ensuite entré en contact avec le SAN pour proposer la solution pour la piscine.

« Nous, on n'a pas de lien direct avec les élus. […] Le seul lien direct il est *via* Dalkia. […] C'est un rapprochement entre Dalkia et *[la banque]*. *[La banque]* avait un concept : comment on valorise environnementalement son site ? Dalkia avait un besoin et c'est du besoin et de l'idée qu'il en est sorti quelque chose. Il faut savoir que les études, on les a commencées en 2007, février 2007. Et le projet réellement côté SAN et tout ça, ils ont commencé à en parler, allez … 2008. »

Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

Quoi qu'il en soit, si les dynamiques ayant mené à la convergence des intérêts pour la solution ne sont pas claires, ces intérêts sont quant à eux explicitement exprimés par les acteurs originels.

Au-delà de l'intérêt affiché du SAN, Dalkia y voit la possibilité de tirer parti d'une ressource disponible sans besoin d'installer des dispositifs de production et de mettre en œuvre une expérimentation innovante. En outre, elle entre en concordance avec une stratégie plus large de l'entreprise visant au développement des offres basées sur la récupération d'énergie[115], qui sont à l'époque fortement polarisées autour de la géothermie.

« Ça nous intéresse aussi parce qu'on n'est pas un acteur majeur des activités industrielles et c'est une façon d'entrer chez l'industriel. […] Ça nous permet de nous placer en plus sur un point totalement différent quand on va voir l'industriel, parce qu'au lieu de lui dire « bonjour, je viens vous vendre quelque chose », on vient lui dire « bonjour, je viens vous acheter quelque chose ».»

Entretien avec la directrice du marketing, Dalkia Ile de France, 05/06/2015

[115] Ce point sera développé dans la dernière partie de la thèse.

La direction du développement urbain de Disney, qui ne s'implique pas dans le développement de l'infrastructure, y voit un moyen de communiquer sur le caractère innovant du système et un vecteur de différenciation du territoire : « Dalkia s'était posé, entre guillemets, sur le territoire du Val d'Europe et développé par Disney donc c'était une solution innovante. Le SAN et Disney ont communiqué dessus, donc c'est un réel atout. C'est un réel atout et le réseau de chaleur c'est un plus que ne développent pas d'autres territoires » (Entretien avec un ancien chargé de développement immobilier chez Disney, 03/11/2014).

La banque, quant à elle, y perçoit la possibilité de mettre en œuvre une démarche environnementale volontariste qu'elle cherche à appliquer à l'ensemble des travaux qu'elle entreprend. Cette dernière passe en particulier par une stratégie de certification environnementale appliquée à l'ensemble des bâtiments qu'elle construit pour ses différentes activités.

> « Nous, on avait une résolution de notre problématique : comment faire pour donner un caractère environnemental à un objet qui n'est quand même pas spécialement environnemental ? […] À l'époque on était dans une démarche forte, qui continue maintenant et qui va beaucoup plus loin, de prendre en compte tout ce qui était environnemental […], sans référence à l'extérieur. On s'imposait un certain nombre d'actions pour mener à bien un chantier entre guillemets écologique, ou au moins se poser les bonnes questions, essayer d'apporter des solutions écologiques aux travaux. Et il s'est avéré que ce centre, ça a été une des premières démarches. […] On ne peut pas être banque de financement de ce type d'énergies sans avoir une volonté interne d'être un peu vertueux en matière d'environnement. Donc on a une politique interne qui nous incite à faire ça. […] Il n'y avait pas de raison fondamentale intrinsèque de ne pas le faire à partir du moment où techniquement, environnementalement ça avait un avantage. »

Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

Cependant, le cas du *data center* pose des contraintes particulières qui conduisent la banque et le certificateur qu'elle a choisi à s'engager dans une démarche de création d'un référentiel spécifique à ces objets. Les porteurs du projet se rapprochent en effet de Certivéa, l'organisme délivrant le label HQE (Haute Qualité Environnementale) dans le but d'obtenir la version appliquée aux bâtiments tertiaires de ce dernier, qui n'est toutefois pas conçue pour prendre en compte les *data centers*. Ils envisagent donc de créer un référentiel pour ces installations mais se heurtent à un problème technique : les moteurs de calcul utilisés pour calculer l'efficacité énergétique d'un bâtiment ne permettent pas d'y intégrer la récupération de chaleur fatale. En effet, les logiciels n'acceptent pas qu'une consommation d'énergie ne

corresponde pas à une production (qu'elle vienne d'un réseau ou soit d'origine locale) : « on a un bâtiment administratif *[accolé au* data center*]*, bien sûr on n'en est pas à faire une chaufferie dedans pour le chauffer, on utilise la chaleur du centre pour chauffer ce bâtiment administratif, notre propre bâtiment. Quand il a fallu lancer les calculs là-dessus, impossible de les sortir. Puisqu'il n'y a pas de production. Donc on a l'infini, on a l'infini dans le résultat ! Donc il a fallu quand même qu'on voit avec Certivéa comment traiter le sujet, sachant qu'on ne pouvait pas leur prouver que … s'il n'y avait pas de production ! » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

Ainsi, la mise en œuvre de la récupération ne rentre pas, au moins à court terme, dans une logique de labellisation. La banque explique en effet ne pas chercher dans cette opération de gain d'image, ce qui concorde avec sa volonté de ne pas être associée publiquement à l'opération. On peut malgré tout trouver des références à la récupération de chaleur dans les rapports publics de l'entreprise mais elle n'y est en effet en rien mise en avant. En outre, la grande majorité des mentions de l'opération dans la presse ne font pas référence à son nom.

> « On refuse la communication. On est une banque, essentiellement. L'impact d'une communication sur une banque peut être important, sur la perception que les gens en font. Donc il est hors de question de mêler les politiques environnementales avec la politique financière. Et la politique environnementale ne doit pas supporter la politique financière. Ça, c'est l'adage de notre directeur général qui ne veut pas appuyer sa politique financière exclusivement sur « on est vertueux, on est des bons élèves, on fait de l'environnement », en mettant notre politique financière dedans. La politique financière doit être de la politique financière, la politique environnementale ça doit être une volonté, on en fait ou n'en fait pas. »
>
> Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

En outre, les gains financiers potentiels ne sont pas non plus avancés comme une justification de son engagement, puisque les revenus tirés de la vente de chaleur sont dès l'origine pensés pour assurer l'équilibre de l'opération sans qu'elle ne génère de profit : « ça a toujours été clair, et ça a été officialisé vis-à-vis des différents acteurs, que ce soit le SAN, l'EPA, la mairie de Bailly-Romainvilliers, il n'était pas question qu'on fasse de l'argent sur cet aspect-là. On a simplement exposé nos investissements, les surinvestissements, et on a amorti les surinvestissements sur la revente, sans frais financiers » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

Ainsi, en définitive, nous pouvons dans ce cas affirmer que l'efficacité technico-économique de la récupération ne fait en rien partie des logiques affichées par les acteurs pour justifier le

développement de la synergie. Dès le début, ce sont des arguments environnementaux, d'innovation, d'expérimentation et de communication qui sont avancés tandis que les arguments économiques apparaissent secondaires dans le discours. En outre, il ne s'agit en aucun cas d'une opération planifiée à l'amont mais de la saisie d'une opportunité. En d'autres termes, la coordination spatiale et technique entre le développement local de la piscine et l'implantation du *data center* ne résulte pas d'une démarche construite, conformément d'ailleurs à ce qui existe de manière générale dans le monde (à quelques exceptions près, voir Encadré 5.4). La section suivante montre les implications de cette absence de stratégie amont sur les démarches de mise en œuvre de la synergie.

Encadré 5.4 – **Peut-on planifier la localisation des *data centers* selon des critères énergétiques ? Les expériences de Paris et d'Amsterdam**

Alors que la récupération de chaleur sur un *data center* n'est possible que s'il existe une proximité géographique entre ce dernier et des activités consommatrices, les tentatives de planification de cette proximité sont apparues très rares au cours de notre veille et de notre enquête et, surtout, peu suivies d'effets.

En France, la Ville de Paris s'est interrogée sur la possibilité d'orienter la localisation des *data centers* en fonction de potentiels de récupération de chaleur, suivant en cela une recommandation du SRCAE de la région Ile de France qui préconise d'« orienter et faciliter la localisation des nouveaux *data centers* préférentiellement sur les zones ayant les capacités électriques suffisantes tout en veillant à ce que ces zones puissent à court ou moyen terme favoriser la récupération de chaleur fatale notamment par un réseau de chaleur » (Région Ile de France et Préfet de la région Ile de France, 2012, p. 202). La mission Ville Intelligente et Durable de la Ville lance une enquête auprès des opérateurs de *data centers* à ce sujet mais les résultats sont jugés peu concluants : « ce qui ressort, c'est que les opérateurs aujourd'hui ne sont pas forcément intéressés par ça parce qu'ils ont leur modèle économique qui fonctionne et qu'on leur amène plus de la complexité des choses comme ça qu'un plus » (Entretien avec une chargée de mission à la mission Ville Intelligente et Durable de la Ville de Paris, 13/10/2014). Ainsi, les questions énergétiques se heurtent aux logiques très spécifiques de localisation de ces équipements, tels que décrites dans l'Encadré 5.3.

À Amsterdam cependant, une stratégie publique vise à intégrer ces différentes logiques dans un document de planification qui nous a été cité comme un exemple à suivre par plusieurs des enquêtés. Porté par la municipalité (*Gemeente Amsterdam*) et co-construit avec les opérateurs, il est appelé *"Data centres establishment policy"* et vise à organiser l'implantation de ces centres sur le territoire de la région d'Amsterdam et à énoncer les critères environnementaux auxquels ils doivent se conformer pour être autorisés à s'y installer. En définitive, la stratégie portée par la municipalité vise à concilier le développement économique local au travers du développement de ces activités avec les ambitions énergétiques et climatiques qu'elle affiche.

"The data centre industry is an energy-intensive sector. The Amsterdam data centres work for a large part of the Netherlands and parts of Europe. The concentration of companies and the concentration of data storage and processing make it possible to take a big step when it comes to energy efficiency and sustainability, by working together on this theme.
Since 2007, the industry has been working together with the City of Amsterdam and the Dutch government in the consortium Green IT Amsterdam Region on a green ICT sector, under the heading "Amsterdam Green Data Port". In this collaboration, saving energy is paramount, but there is also a focus on data centres as local heat source, and the (joint) procurement of locally produced green energy" (Gemeente Amsterdam, 2015, p. 4).

Ainsi, les échanges d'énergie font partie des enjeux évoqués et, plus loin, sont présentés comme devant être pris en compte par la municipalité dans ses stratégies d'aménagement. De manière plus générale, il est préconisé de mieux penser l'intégration des *data centers* dans le système énergétique local.

"The interweaving of data centres in the local energy system is still in its design phase and is not yet core business to the current generation of data centres, […]. *The municipality can aim at heat and cold exchange when developing land."* (Gemeente Amsterdam, 2015, p. 33).

Pour autant, la jeunesse du plan et son caractère non prescriptif ne permettent pas d'en mesurer les effets à ce jour.

B. Développer un réseau de chaleur privé

Une fois l'intérêt des acteurs mis dans la boucle aux prémices du projet avéré, Dalkia conduit des analyses techniques de la situation qui permettent de conclure que la chaleur disponible au sein du *data center* est suffisante pour alimenter l'ensemble du parc plutôt que la simple piscine, au travers d'un réseau de chaleur. Les acteurs changent alors d'échelle de réflexion et s'intéressent à la stratégie énergétique à l'échelle de toute la ZAC : « parce que, bien sûr, ils dégagent une telle énergie que la piscine seule, c'est ridicule » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014).

La solution de la délégation de service public ayant été abandonnée pour des raisons de délais lorsque l'idée était restreinte à la piscine l'est d'autant plus dès le moment où un réseau sur tout le PIE est envisagé. En effet, ce dernier se trouvant à cheval sur deux communes, il n'existe pas de périmètre préétabli pour mettre en œuvre une DSP puisque ce sont les communes, et non le SAN, qui en possèdent la compétence.

> « C'est pour ça qu'on est avec un réseau privé, parce qu'il y avait une question de délai. Nous, une DSP il faut deux ans pour la mettre. Il faut faire une consultation, il faut faire

ceci, cela. Vraiment, moi je pense que c'est ça qu'il aurait fallu faire pour avoir d'ores et déjà un réseau qui soit classé public et qu'on puisse obliger les gens à se brancher dessus, mais franchement on n'était vraiment pas dans les délais. C'est vraiment un problème de délai. Parce que comme je le dis […], c'est un peu le fruit du hasard. On ne s'est pas dit, le *data center* on va chauffer le parc avec, ce n'est pas l'idée qui nous est venue tout de suite. C'était surtout parce qu'il y avait un centre aquatique qui consommait pas mal d'énergie en continue. »

Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

« Alors c'est vrai que c'est mieux d'avoir une DSP, parce que ça permet d'obliger en plus derrière tout le monde à se raccorder *etc*. Mais comme de toute façon la délégation n'était pas transmise des communes, c'est les communes qui ont cette compétence normalement, elle n'était pas transmise au niveau du SAN, donc du coup, ça, ça prend un certain temps. »

Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015

Face à ces contraintes, Dalkia et le SAN s'accordent sur l'idée du développement d'un réseau privé : Dalkia en assurera seul la construction, la commercialisation et l'exploitation, sans que des fonds ou des garanties publiques ne soient mis en jeu, outre des financements de l'ADEME (au travers du Fonds Chaleur). Cette situation n'est pas classique, ni pour la collectivité, ni pour l'opérateur : « on est en réseau privé 100%, c'est-à-dire qu'on l'a financé, on l'a créé et on l'exploite. Mais c'est vraiment des cas particuliers. Je crois qu'on a 25 réseaux, quelque chose comme ça, en Ile de France. On en a deux privés et 23 en DSP » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014).

Dès lors, Dalkia et la banque contractualisent pour organiser juridiquement la fourniture de chaleur au travers d'un contrat d'amortissement qui s'étend sur 15 ans, mais qui n'apparaît pas central dans la gestion des relations entre les acteurs : « effectivement, on a un contrat parce qu'il en faut un, à un moment donné il faut un contrat parce que les hommes qui ont traité ça, dont je fais partie, demain matin, ne seront peut-être plus là. Il faut laisser des traces pour que les suivants puissent au moins s'appuyer sur des traces juridiques, mais bon aujourd'hui c'est plus un partenariat de fait. Ça pourrait très bien se faire sans contrat » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

Cependant, les acteurs publics ne sont pas étrangers au processus de développement du réseau, pour plusieurs raisons. On peut ainsi lire la formulation suivante dans un document de projet présenté aux différents partis en 2009 : « afin de poursuivre une démarche environnementale et pour satisfaire des prescriptions de Développement Durable établies par

l'autorité politique et administrative locale en association avec les décideurs locaux, Dalkia France en collaboration avec le développeur/aménageur, prévoit l'installation d'un réseau privé d'énergie pour alimenter la Zone d'aménagement du Prieuré situé à Val d'Europe et jusque dans ses limites de production et de distribution »[116]. Cette description quelque peu alambiquée cherche à mettre en avant le caractère consensuel de la solution, unissant les acteurs publics et privés, qui se traduit en particulier par une implication du SAN dans le processus de négociation entre Dalkia et la banque.

> « Il y a eu une négociation, on intervenait aussi en offre, quand *[la banque]* se faisait tirer un peu l'oreille, donc on organisait, on essayait de fluidifier un peu les choses, de faire savoir que la puissance publique était d'accord pour que ça se fasse et qu'il n'y ait pas de soucis. »
>
> Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

> « On a deux trois autres réseaux privés, on n'en a pas pléthore mais on en a quelques-uns et on ne peut pas ignorer la ville. C'est eux qui vont nous donner les autorisations de travaux, c'est eux qui vont nous autoriser à faire des tranchés quand il y a un problème sur le réseau, c'est eux qui vont nous informer quand il y a des projets immobiliers. C'est … c'est pas du tout quelqu'un qu'on ignore. »
>
> Entretien avec la directrice du marketing, Dalkia Ile de France, 05/06/2015

Un tel tableau présentant une coordination public-privé sans heurts, orientée vers un même objectif, passe toutefois sous silence les oppositions au projet portées dès 2008 par la voix de l'EPA, ou tout du moins d'une partie de l'établissement. En effet, alors que la solution d'un réseau privé est actée par Dalkia et le SAN, il est nécessaire de la confronter à l'aménageur puisque les tuyaux du réseau sont amenés à passer sous de futurs espaces publics : « les sols appartiennent à l'EPA, jusqu'à ce qu'ils soient rétrocédés à la collectivité » (Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014). Le projet ainsi présenté à l'EPA lui plaît peu, en premier lieu parce que le service développement durable de l'établissement accepte mal le fait de n'avoir pas été associé aux réflexions qui entrent de son point de vue pleinement dans ses compétences.

> « *[Dalkia]* a passé une convention *[avec le* data center*]* et nous on était quand même un peu étrangers à cette convention au tout début. Parce que tout d'abord, ils ne nous avaient pas consultés. C'est arrivé un peu comme la cerise sur le gâteau. »

[116] Document de travail Dalkia « Projet de réseau de chaleur privé avec une valorisation d'énergie fatale » - Juillet 2009

Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

L'opposition se porte alors sur le caractère privé du réseau. Le service développement durable, d'une voix commune avec le service juridique, émet une crainte face à la défaillance d'un opérateur privé : ils refusent de porter cette responsabilité face aux usagers. La direction de l'EPA se laisse convaincre par ces arguments et porte le même discours, s'opposant à un engagement à moins qu'une DSP ne soit mise en œuvre, tandis que les opérationnels qui suivent l'opération d'aménagement sont plus conciliants.

> « Nous, on y est allé un peu à reculons, on était un peu contraint, imposé, parce qu'on ne veut pas non plus se fâcher avec le SAN, on ne veut pas non plus se fâcher avec Disney parce que c'est quand même notre premier client. Mais on finit quand même par lui dire, bon attention, vous vous engagez dans des choses un peu délicates. […] Si l'opérateur privé se casse la gueule, on se retrouve derrière avec des lots qu'on a obligé à raccorder à un opérateur qui met la clé sous la porte. […] On pourrait dire à l'établissement public, vous nous avez obligés à nous raccorder, maintenant qu'est-ce qu'on fait ? Et donc ça revient tout dans la figure. »

Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

Malgré tout, les négociations (parfois houleuses) et l'argumentation du SAN, de Dalkia et d'une partie de l'EPA finissent par convaincre l'aménageur que la mise en place d'une DSP est trop complexe et que, sans solution privée, la récupération ne peut avoir lieu. L'EPA accepte donc de signer une convention tripartite qui l'unit au SAN et à Dalkia pour permettre le passage des tuyaux dans un délai qui entre en concordance avec le rythme de développement du PIE.

> « Nous on a essayé de faciliter les choses parce que l'EPA était contre ce projet. Ils étaient totalement contre, donc nous on a dû intervenir pour pouvoir faire les travaux simultanément parce que le parc du Prieuré se développait en même temps que ça se construisait, il a fallu intégrer le réseau de chaleur, donc eux ça les embêtait. »

Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

> « Il y a les opérationnels qui essayent, voilà, comme moi, qui essayent de faire au mieux, dans le cadre des opérations qu'on est amenés à réaliser et on est davantage pragmatiques quand même. […] Il s'agissait d'y aller, il ne s'agissait pas d'attendre 150 ans. »

Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015

Pour justifier ce revirement d'opinion, l'aménageur se réfère à une argumentation qui n'a pas de lien direct avec la synergie en elle-même mais avec une stratégie locale plus large des acteurs publics qui consiste à présenter Marne-la-Vallée comme le « territoire du développement durable ». Le développement de la récupération de chaleur fatale serait un moyen de mettre en œuvre des actions qui entrent en concordance avec ce positionnement sur le plan de l'énergie : « pourquoi on a fait ça ? […] Parce que Marne-la-Vallée, à un moment c'était « ville exemplaire en terme de développement durable ». Cluster de la ville durable. Donc on fait quelque chose sur les énergies. La géothermie c'est compliqué, donc on essaye de faire du bois ou on essaye de faire de la récupération de chaleur » (Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014).

Dans la convention tripartite, outre l'engagement à permettre le passage des tuyaux du réseau sous les fonciers publics, le SAN s'engage également à connecter les équipements publics de la zone au réseau. Toutefois, suivant sa réticence initiale à une solution privée, l'EPA refuse de contraindre les preneurs de lots sur la ZAC à s'y raccorder. C'est donc à Dalkia de vendre sa solution au cas par cas, dans une démarche de commercialisation classique, en concurrence avec les sources de chaleur individuelles au gaz ou à l'électricité : « c'est une démarche, une initiative de Dalkia, d'aller rencontrer chaque opérateur et de lui dire voilà, on a un réseau de chaleur » (Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014).

Ces choix ont deux conséquences sur les rapports d'acteur autour du réseau. En premier lieu, le contrat qui lie la banque et Dalkia étant de droit privé, les acteurs publics ne sont pas informés de son contenu.

> « On ne sait pas comment ça se passe. Et c'est secret. C'est aussi secret parce que Dalkia ne veut pas communiquer peut-être dessus, parce que si on savait à quel prix ils avaient la chaleur là-bas, enfin bon bref, ça risque peut être … Mais bon, toujours est-il que ça, c'est une part un peu sombre, on ne sait pas. Ce qu'on sait c'est techniquement comment ça fonctionne. »
>
> Entretien avec un cadre du SAN du Val d'Europe

En second lieu, le raccordement au réseau n'étant pas contraint pour les preneurs de lots, les acteurs du développement du PIE s'accordent pour le promouvoir auprès des entreprises et des promoteurs qui s'installent sur la zone : « c'est pour ça qu'il y a un lien économique fort puisqu'à chaque implantation, il faut qu'on essaye de vendre le réseau, en montrer l'intérêt, les capacités. […] Tout le monde a dû se raccrocher après, parce que … Nous il fallait qu'on

ait l'info parce qu'il fallait qu'on en parle pour les entreprises, Disney aussi a eu l'info, parce qu'eux aussi ils ont des entreprises ou des promoteurs avec qui ils sont aussi en contacts » (Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014).

En somme, le lien entre la source de chaleur et une activité économique étrangère au secteur de la production d'énergie engendre le choix d'une solution privée, qui suscite à son tour certaines inquiétudes, qui sont dépassées pour entrer dans le cadre d'une stratégie de territoire plus large. Par la confrontation des logiques de l'aménagement et de dynamiques de construction privées (du *data center*) largement indépendantes, on crée une tension qui ne peut se résoudre que dans une solution ne satisfaisant pas tous les acteurs. Si l'on compare avec le cas de Dunkerque, on s'aperçoit de l'importance, c'est-à-dire la non neutralité dans le processus, de la matérialité des systèmes techniques mis en jeu. En effet, dans le cas précédent, on ne rencontre pas la problématique du rythme de construction de l'installation productrice de chaleur : au contraire, le système de captation chez ArcelorMittal a pu être mis en œuvre bien après que les installations techniques des chaînes d'agglomération n'aient été construites. Aussi, il n'existe pas dans ce cas précédant une nécessité de coordination temporelle entre la construction du système de production de chaleur fatale d'un côté et du système de distribution d'énergie de l'autre, au contraire du cas du *data center*[117]. En définitive, on observe que la matérialité des systèmes influence le processus de l'assemblage sociomatériel jusqu'à pouvoir en contraindre la forme de gestion.

Nous verrons dans la partie suivante de ce chapitre comment la nature privée du réseau, qui découle donc selon notre analyse de la nature de la source de chaleur, a une influence déterminante sur son développement.

III. Exploiter une synergie face à une double incertitude : quand les tuyaux sont surdimensionnés

Une fois le projet de réseau et sa forme de gestion validés au moins provisoirement par l'ensemble des acteurs, la mise en lien du quartier et du *data center* se heurte à différentes incertitudes, dont les effets sur l'exploitation du réseau font l'objet de cette partie. En premier

[117] Dans les faits, les acteurs que nous avons interrogés qui se sont rapprochés d'opérateurs de *data centers* pour leur proposer la valorisation de chaleur fatale nous ont rapporté qu'il était impossible d'entrer en discussion sur ce sujet pour les *data centers* déjà construits car la récupération demanderait de changer les systèmes de refroidissement.

lieu, nous y montrons comment la connaissance limitée des stratégies et modes de fonctionnement de l'opérateur du *data center* influe sur le travail de l'exploitant et sur la projection qui peut être faite des évolutions futures du réseau (A). En second lieu, nous abordons la question du développement commercial du réseau confronté aux inadéquations entre nature du flux récupéré et besoins des bâtiments qui s'implantent (B). Enfin, nous montrons comment de ces deux processus résulte un réseau surdimensionné dont la gestion technique et financière pose problème à l'opérateur (C).

A. Travailler avec une « boîte noire »

Dans de nombreux entretiens réalisés dans le cadre de l'enquête, autant auprès des acteurs publics ou parapublics, qu'auprès de Dalkia, il est fait référence au caractère opaque du *data center*.

> « Le *data center*, c'est un gros blockhaus un peu, qui est un peu tout seul au fond du parc *[voir le data center dans son environnement Figure 5.12]*. […] C'est une boîte, et c'est très, très surveillé. On ne peut pas s'approcher comme ça, il y a tout un système de caméra à l'entrée, on n'entre pas comme ça. Ouais, ouais, c'est un vrai blockhaus. »
>
> Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

> « Quand on parle du *data*, c'est secret défense. On n'a pas le droit d'en parler. Logiquement même là-bas on ne devrait pas être au courant que c'est un *data center* qui se … Ils sont très, très, très bornés sur la sécurité. »
>
> Entretien avec un technicien d'exploitation, Dalkia, 24/10/2014

Figure 5.12 : Le *data center* au milieu des champs, dans la zone en développement – Photo prise par l'auteur - Octobre 2014

Le secret, tout au moins perçu, qui entoure l'installation, est matérialisé physiquement et spatialement de différentes manières. En général, les acteurs locaux savent qu'il n'est pas recommandé d'approcher du centre et que ses abords sont surveillés. Plus spécifiquement, les agents de Dalkia ne sont pas autorisés à entrer dans le centre. C'est une des raisons pour lesquelles le réseau fonctionne par la mise en relation de deux boucles indépendantes, comme nous l'avons décrit dans la première partie de ce chapitre (et comme le rappelle la Figure 5.9) : il n'existe ainsi pas d'interaction directe entre les installations de le banque et celles de Dalkia et pas de nécessité pour les agents de l'opérateur du réseau de pénétrer dans les locaux techniques du *data center*.

> « Niveau sécuritaire ça ne touche rien du tout. […] L'exploitant du réseau n'entre pas sur le site, inversement le réseau ne met pas en risque les machines de notre site. […] Et puis demain matin on veut le couper, on coupe. Donc il n'y a pas de risque en tant que tel. Le risque il est contractuel après. On ne risque pas… on n'est pas sur du risque de fonctionnement. Il est même minime le risque contractuel. »
>
> Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

> « On aurait pu imaginer directement *[une seule boucle]*, sauf que comme on pouvait être amenés … on peut imaginer que ce réseau-là soit coupé, et on devait fonctionner quand même […] et puis nous on est amené éventuellement à le réchauffer par la chaudière. Donc du coup on leur aurait renvoyé du chaud plutôt que du froid, voilà … donc c'était plutôt compliqué. »
>
> Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014

Au-delà de ces aspects, qui peuvent être relativisés – par exemple, la surveillance autour du *data center* s'arrête en fait aux limites de la propriété – l'absence de vision claire du fonctionnement technique du *data center* et des stratégies de la banque ont des répercussions systémiques sur l'exploitation et la projection qui peuvent être faites du réseau.

En premier lieu, si la température de l'eau arrivant du *data center* doit être de 55°C, comme nous l'avons expliqué dans la première partie de ce chapitre, elle est très régulièrement inférieure à cette valeur. Puisqu'ils n'ont pas d'accès direct aux machines produisant la chaleur, les exploitants du réseau ne peuvent pas prévoir ces variations, qui restent toutefois de l'ordre de quelques degrés Celsius, et n'en connaissent pas les causes. En outre, elles impliquent un usage plus important de l'appoint pour obtenir la température réglementaire de distribution de l'eau chaude sanitaire et font évoluer l'équilibre métabolique et financier du réseau.

En second lieu, la taille du *data center* à plus ou moins long terme n'est pas connue. À l'origine, le projet devait comporter trois « tranches », c'est-à-dire être construit en trois étapes successives. Aujourd'hui, seule la première est construite tandis que la seconde n'est pas certaine et que le projet de la troisième semble abandonné.

> « Les autres tranches sont pré-programmées pour l'instant mais ça, ça dépend essentiellement de l'évolution capacitaire de l'informatique et aujourd'hui ils ont beaucoup, beaucoup de mal à nous la donner. Les technologies ont quand même … il y a deux phénomènes qui ont impacté l'informatique. Il y a la crise de 2008, ça c'est indéniable. L'évolution des matériels qui depuis 2008 ont évolué de façon phénoménale, avec l'arrivée des serveurs virtualisés. […] Avant, où un serveur avait une application, là aujourd'hui un serveur peut avoir plusieurs applications, il monte en puissance en fonction des applications qui sont utilisées dessus, de l'utilisation même des applications. Donc ça, ça diminue la capacité. Et une moins avouable c'est que quand on a commencé à délocaliser le matériel informatique, c'est là qu'on s'est aperçu qu'il y avait beaucoup de serveurs qui ne servaient à rien. […] Trois tranches, je ne pense pas qu'on y arrivera rapidement. Deux tranches c'est encore en suspens. La troisième vraiment, c'est à mon avis très hypothétique. »
>
> Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

Or, dans le document de travail de 2009 auquel nous avons fait référence plus haut, cette seconde tranche est mentionnée comme devant voir le jour en 2013 et représenter 5,2 MW supplémentaires de chaleur disponible, portant le projet de récupération finale à une puissance de 7,8 MW. Cette inconnue rend complexe la planification à long terme du réseau, et notamment son extension, sur laquelle nous revenons dans la dernière partie de ce chapitre. Plus particulièrement, toute l'installation de Dalkia, mis à part l'échangeur qui n'est prévu que pour la puissance correspondant à la première phase du *data center*, est dimensionnée pour une récupération qui correspond à la puissance estimée en 2009 pour l'ensemble des deux tranches alors que la récupération effective se situe bien en deçà de cette valeur. Ainsi, les tuyaux installés ont une taille telle qu'ils permettent un débit de 800 m^3/h, tandis que n'y passent aujourd'hui que 180 m^3/h au maximum.

> « Toute l'installation est dimensionnée pour une récupération du *data center* à 7,8 MW. C'est énorme. Pour passer 180 m^3 … on est malade. […] Toute la taille des tuyaux, il faut penser en fait qu'elle est liée … en fait on est susceptibles de sortir à peu près 10 MW de l'installation, 10-12 MW *[en ajoutant la puissance d'appoint qu'est la chaudière]*, avec une récupération aux alentours de 8. »[118]

[118] La différence entre les 10 MW pouvant « sortir du système » et les 8 MW de récupération sont liés à l'installation de la chaudière gaz en appoint.

Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014

Au-delà du surinvestissement financier que représente ce surdimensionnement[119], le fonctionnement technique des installations est également influencé par le différentiel entre la prévision et les flux transitant effectivement dans le réseau. La problématique rencontrée par l'exploitant est en fait celle des limites minimales de fonctionnement des pompes qui régulent les débits dans le réseau : « on a des pompes, elles sont ce qu'elles sont, elles sont capables de pousser 250 m^3/h. Même avec un variateur, on est forcément avec un débit minimum qui est … enfin c'est un variateur de fréquence tel qu'à 50 hertz on pousse à peu près de 250 m^3/h et à 30 hertz, on pousse 142 *[m^3/h]* qui est le minimum technique qu'on sache faire, c'est notre installation. Si on voulait faire à des débits inférieurs, il faudrait rajouter des pompes avec des débits plus faibles » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). Or, le surdimensionnement des pompes implique une limite dans l'écart de température qui peut être réalisé entre les flux d'eau sortant et entrant dans le *data center*. Plus précisément, lorsque peu de chaleur est consommée sur le réseau, le débit minimal est trop fort pour assurer la différence de température contractualisée entre Dalkia et la banque : « comme j'ai un débit minimum qui est lié à mes installations techniques, le paramètre qui varie derrière c'est le delta T *[le différentiel de température]*. Il n'y a qu'une formule à savoir en thermique[120]. Au lieu d'être *[à un différentiel de température]* de 10, je vais travailler avec peut-être 2 » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). Aussi, la température de l'eau renvoyée au *data center* étant trop faible pour assurer le refroidissement, le système s'adapte automatiquement en basculant vers le rejet des calories dans l'air et ne renvoie donc plus de puissance vers le réseau de chaleur, jusqu'à reprendre un même cycle. Le tout fonctionne donc par à-coups plutôt que de manière continue, comme envisagé lors de la conception.

Dans une vision à plus long terme, il nous faut toutefois relativiser l'importance de ce facteur pour le fonctionnement du réseau. L'absence de construction d'une seconde tranche n'empêcherait pas son développement puisque d'autres sources de chaleur pourraient être envisagées, modifiant cependant l'équilibre technique et financier du réseau : « aujourd'hui on ne sait pas, on est un peu dans l'incertitude. Mais enfin, tant qu'on n'a pas les clients en face on n'est pas … et puis on fera autre chose, si c'est pas le *data center* ce sera une

[119] Surinvestissement dont nous n'avons toutefois pas pu obtenir une évaluation chiffrée par l'opérateur.

[120] La formule à laquelle il est fait référence ici est celle qui lie les débits d'eau au différentiel de température. Cette dernière montre que plus les débits d'eau dans un réseau de chaleur sont importants, moins le différentiel de température sur la boucle l'est. Ainsi, lorsqu'une source de chaleur fournit une certaine température, les exploitants font varier le débit dans le réseau en fonction des besoins des consommateurs.

biomasse, c'est pas grave » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). De même, la dépendance du réseau à une installation dont ils ne contrôlent pas la durée de vie n'apparaît pas comme un risque important pour les acteurs : « le *data center*, bien évidemment, c'est un objet éphémère, donc ils ont mis une chaudière gaz. Actuellement vous avez des chaudières en container, on est capable d'approvisionner des chaudières en container, j'en ai vu jusqu'à 2-3-4 MW. Donc ça va, ça passe, on peut très bien faire une chaufferie derrière. C'est pour ça que c'est relativement puissant et pertinent » (Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014). En cela, la vision des acteurs publics de la synergie est opposée à celle des acteurs du réseau de chaleur de Dunkerque.

En outre, et c'est là une seconde différence importante, la problématique des débits trop faibles passant dans les tuyaux du réseau n'est pour l'instant pas liée uniquement à la faible disponibilité de chaleur du côté du *data center* puisque, comme dans tout système en réseau, la production doit être égale à la consommation en tout temps. On comprend donc que cette dernière est également inférieure aux prévisions : « c'est aussi un problème qui est lié au fait que pour l'instant on a une consommation sur ce réseau qui est trop faible. Enfin … on a des besoins qui ne sont pas au nominal de ce qu'on a prévu » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014).

B. Les difficultés d'une commercialisation dans l'inconnu

Ainsi, l'autre raison qui pousse les gestionnaires du réseau à peu s'inquiéter du développement futur du *data center* est la suffisance de la puissance pour l'instant disponible pour subvenir aux besoins des bâtiments raccordés qui ne sont, au moment de notre enquête, qu'au nombre de deux : le centre aquatique, et une pépinière d'entreprises gérée par le SAN (voir l'organisation du réseau à cette période Figure 5.13).

En décembre 2008, les hypothèses de raccordement au réseau sont présentées par l'opérateur : Dalkia planifie un besoin de 19 000 MWh par an, réparti sur 66 ha, d'ici à 2014[121]. Outre la piscine, un hôtel et deux parties complètes du parc sont prises en considération (Techniparc II et Arlington Square II, qui correspondent aux deuxièmes phases d'ensembles tertiaires déjà construits). Dans les faits, comme on peut le constater aujourd'hui, la commercialisation est beaucoup moins fructueuse.

[121] Présentation « réseau privé de chaleur » - Dalkia – Décembre 2008

« Tout est réservé dans les voiries, c'est-à-dire, dans le carrefour, c'est réservé. Les tuyaux n'avancent pas parce qu'il n'y pas de client. C'est un peu le *statu quo*. »

Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

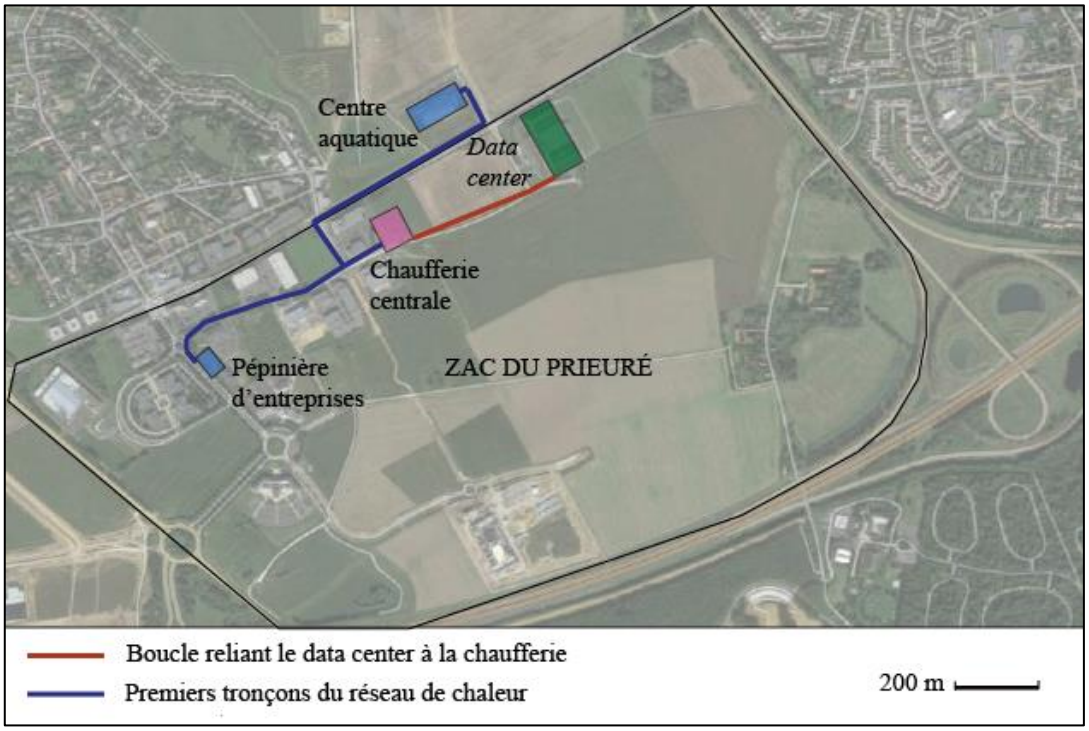


Figure 5.13 : Représentation spatiale des premiers développements du réseau – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016)

Si le rythme de développement du parc et du réseau est pris en compte par Dalkia à l'origine, notamment grâce au phasage dans l'installation des échangeurs, évoqué dans la section précédente, il se révèle bien plus lent que prévu par l'opérateur.

« Comme quoi les études ont bien été conçues comme ça au départ, les réseaux sont dimensionnés en sortie pour la puissance globale à terme du réseau final Dalkia, mais on a calibré les installations en amont de façon à limiter le surinvestissement puisqu'on devait avoir une deuxième tranche, et on traitait la surcapacité du réseau sur la deuxième tranche, et pas sur la première. Puisque personne n'était capable de connaître l'évolution à brève échéance de la zone. Et elle a été plus lente que prévue. »

Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

Outre Dalkia qui voit l'équilibre économique de l'opération se dégrader, le SAN du Val d'Europe s'inquiète de cet état de fait : « je ne voyais personne d'autre se brancher sur notre réseau. Et là, j'ai dit attendez, là ça ne va pas » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014). En premier lieu, c'est l'hypothèse d'une mauvaise diffusion de l'information au cours du processus de commercialisation du PIE qui est envisagée, notamment au travers du rapport entre Disney et les entreprises preneuses de lots. Pourtant, les acteurs se concertent et se convainquent que ce processus est performant. Disney avance en effet que les différentes aménités du parc d'entreprises, dont le réseau de chaleur, sont présentées à chaque entreprise ou promoteur intéressé par un lot.

> « On a essayé de voir comment on pouvait mettre en rapport les personnes. Je voulais d'abord savoir ce qui se passait. Il y a Disney qui développe sur le secteur, donc on s'est réuni, pour voir d'abord s'il n'y avait pas des blocages des uns ou des autres. Je me suis aperçu qu'il n'y en avait pas. »
>
> Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

> « Lorsque je vendais un foncier, je présentais le Val d'Europe, je présentais les infrastructures, le transport en commun, je présentais les emplois sur le site, ensuite je rentrais dans le détail du parc d'entreprise. Je présentais les services associés au parc d'entreprises : un futur Hilton en train d'être développé, le nombre d'emplois pour l'instant en entreprises, une qualité paysagère, une haute qualité paysagère, un geste architectural également homogène et, entre autres, le réseau de chaleur Dalkia. La chaufferie Dalkia. Voilà qui donnait une image marquetée et assez novatrice du Val d'Europe. »
>
> Entretien avec un ancien chargé de développement immobilier chez Disney, 03/11/2014

En seconde hypothèse, plusieurs acteurs que nous avons rencontrés, dont la personne ayant suivi le développement du PIE pour le compte d'Euro Disney, se posent la question d'un manque de performance commerciale de l'énergéticien, c'est-à-dire d'une incapacité à convaincre les preneurs de lots de l'intérêt économique de leur offre : « il m'a semblé que Dalkia avait du mal à remettre une proposition facile à comprendre pour un non sachant immobilier » (Entretien avec un ancien chargé de développement immobilier chez Disney, 03/11/2014). Toutefois, en retour, Dalkia se plaint d'une surestimation de la rapidité de développement du Parc par les acteurs publics : « on a un parc qui émerge mais qui émerge un peu plus lentement que ce qu'on aimerait et du coup … vous ne trouvez pas beaucoup de gens pour acheter votre chaleur » (Entretien avec la directrice du marketing, Dalkia Ile de France, 05/06/2015).

> « Donc eux ont sûrement sous-estimé les phases de développement, et nous on leur a peut-être survendu le fait que, attendez, il y a plein d'entreprises qui vont arriver, il suffit qu'elles se branchent, ça va les intéresser. Ben non, en fait ça ne se passe pas comme ça. […] Résultat des courses, c'est vrai qu'on a poussé un peu Dalkia, pour dire « mais faites-le savoir, faites-le savoir ». Et Dalkia nous dit « mais le développement du Parc il ne va pas aussi vite qu'on l'imaginait ». […] Ça s'est étudié au niveau technique, c'est sûr, mais au niveau modèle économique, je ne sais pas. »
>
> Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

Dans les faits, la commercialisation du parc est effectivement perçue comme très longue par l'ensemble des acteurs. Le SAN, en particulier, attribue cette lenteur à l'ambition initiale d'Euro Disney d'attirer spécifiquement des sièges d'entreprises internationales. Il y aurait ainsi une inadéquation entre le marché local et les ambitions fixées par le développeur.

> « Au départ, quand même, ils ont vendu ça en disant à nos élus, « ne vous inquiétez pas, on va vous faire un business parc ». […] Là ils voyaient des grands show-rooms avec des sièges sociaux qu'on n'aura jamais. On n'est pas à la Défense, il ne faut pas rêver ! Mais c'est pour ça aussi que le parc a mis énormément de temps, mais énormément de temps pour se développer par rapport à d'autres. Parce que le curseur a été mis très haut donc, du coup, on a fait un forcing pour baisser un peu le curseur parce qu'on voulait des produits mixtes, des produits qui correspondaient à la demande, au marché, c'est-à-dire qu'on n'était pas que sur des comptes propres, ce n'était pas possible, on n'était pas sur des sièges sociaux, ce n'était pas possible. »
>
> Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

Les entreprises installées ou en cours d'installation sur le Parc sont pour la majorité des entreprises déjà présentes sur le territoire de Marne-la-Vallée qui se relocalisent à proximité, et ce processus est lent. La crise économique est citée par l'ensemble des acteurs comme un facteur d'explication : « le problème c'est que pour l'instant la ZAC, on a lancé ça en 2009 et derrière comme tout le monde le sait, depuis 2009 c'est un peu la crise, et le développement de la ZAC n'a pas du tout suivi ce qu'on imaginait en 2009 » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). Le service de développement économique du SAN observe en effet que les projets de relocalisation sont abandonnés ou repoussés, les marges de manœuvre financières des entreprises étant réduites. Les hypothèses sur lesquelles se base Dalkia au moment de la conception du projet ne sont donc plus en phase avec la réalité du développement de la zone au moment de la commercialisation.

> « Pour lancer un projet comme ça, on va partir sur des hypothèses de dimensionnement d'installation, sur des hypothèses d'investissement, de droit de raccordement, de consommation et de puissance raccordée. On va partir sur une certaine durée et puis on va faire tourner un modèle, enfin … ce qu'on appelle chez nous un *business plan*. Et puis en fonction du résultat de ce *business plan*, nos patrons disent on fait le projet ou on ne le fait pas. Donc là, au moment où on l'a fait ça fonctionnait à peu près et là ça fonctionne moins bien. »
>
> Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014

Les acteurs constatent en outre que l'existence du réseau de chaleur n'est en rien un argument qui participe à la décision d'implantation des entreprises. Au contraire, elle est perçue par certains comme un obstacle car elle rajoute à la complexité du processus d'implantation sur le PIE, d'une part parce que le choix d'un réseau de chaleur n'est pas classique pour les investisseurs immobiliers, tout particulièrement dans le tertiaire, et d'autre part parce que la proposition du réseau ajoute un interlocuteur supplémentaire pour les preneurs.

> « Maintenant je ne vous cache pas que ce n'est pas parce qu'on a ça qu'on attire les entreprises. Pas du tout, ça n'a pas joué. Ça ne joue pas du tout. Parce que je pense qu'il y a quand même un coût, et il y a un branchement qui n'est pas forcément … ou en tout cas au niveau du bâtiment de l'entreprise, ça veut dire qu'il faut rajouter des choses, des tuyaux, des trucs, des machins […]. En tout cas nous, c'est vrai qu'on l'utilise comme argumentaire, parce que ça veut dire que c'est un parc propre, donc on joue là-dessus. Maintenant pour l'entreprise pur sucre, c'est problématique […]. Donc c'est nous SAN, c'est parce qu'on veut des bâtiments développement durable, *patati patata* […] c'est pas forcément l'argument qui va être choc pour faire implanter des boîtes. »
>
> Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014

> « En termes de négociation commerciale ce n'est jamais évident parce que là vous arrivez sur un territoire en devenir et qui est maîtrisé par l'EPA, par Disney, par le SAN, donc quand l'utilisateur va arriver, on va lui dire comment placer son bâtiment, on va vivement le conseiller sur le choix architectural, sur la colorimétrie de son bâtiment, et en plus on va vivement lui conseiller de rencontrer Dalkia. Donc ça fait aussi beaucoup de choses qui sont vivement conseillées, je pense. »
>
> Entretien avec un ancien chargé de développement immobilier chez Disney, 03/11/2014

Au-delà du volume de projets mis en œuvre, leur nature pose également problème à Dalkia qui peine à faire entrer le flux distribué par le réseau en concordance avec les besoins particuliers des entreprises installées. La nature « basse température » du réseau n'arrange pas

la chose : il est en effet nécessaire pour les abonnés d'installer des équipements spécifiques, ce qui achève d'inquiéter les promoteurs, plus habitués à des solutions électriques classiques.

> « En fait les produits qui sortent de là, ce sont des produits d'investisseur et ils louent à des gens donc ils n'en ont rien à foutre d'être vertueux. Ce qu'ils regardent c'est le coût du bâtiment. Alors on a beau leur dire, oui, mais dans le temps, vous voyez, avec l'augmentation des énergies fossiles, vous allez avoir des problèmes. Mais eux s'en foutent. […] Le prix de la chaleur est très compétitif, il n'y a pas photo. Après, […] toute la partie investissement […], quand on ramène ça au projet, ça plombe. Dans les premiers temps, ça plombe un peu… C'est-à-dire qu'aujourd'hui, on est un peu, au niveau du coût on est un peu supérieur, et c'est ça qui fait que, je pense … Pas grand-chose, mais c'est pour ça que je disais, mais attendez dans le temps, tout ça va se lisser, mais les gens, ça ne les intéresse pas. Surtout qu'eux sont obligés de prendre en compte des dispositifs qu'ils n'avaient pas prévus. Donc c'est un investissement supérieur, c'est surtout ça la question, pour les promoteurs. »
>
> Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

> « Alors le promoteur, il se dit, attend, je prends un kWh à 8c€. Bon, il est compétitif, mais tu me prends le coût de raccordement, je fais une distribution intérieure un peu particulière parce que j'accueille ton réseau, je mets mes aérothermes à gaz naturel parce qu'il faut que je sois en sécurité sinon je ne suis pas assuré. Quand je tire et je fais le plan d'affaire, ça ne marche pas. Donc, au revoir, puisqu'il n'y a pas d'obligation de raccordement. »
>
> Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

> « La difficulté de Val d'Europe c'était effectivement de distribuer un réseau aux alentours de 50°C où derrière il faut pour les bâtiments qu'on gère avoir de … c'est quelque chose qui est pas facile à utiliser. Donc on a effectivement créé ce réseau mais ça demande des installations. […] À la limite, nous, on leur dit, il y a un réseau de chaleur, bon il aurait dû être à 53°C, il est un petit peu plus bas. C'est surtout que les gens ont rien contre mais pour eux c'est forcément un surinvestissement dans le bâtiment qu'ils sont en train de construire. Parce que la basse température ça demande des … enfin plus de surfaces d'échange … enfin voilà, c'est des appareils plus gros et plus chers en général. Et puis on est un peu bas pour faire de l'ECS *[eau chaude sanitaire]* donc s'ils veulent faire de l'ECS il faut quand même rajouter un peu d'électricité pour garantir le 55°C. »
>
> Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014

À cette difficulté de faire comprendre l'intérêt économique du réseau de chaleur, s'ajoute à de multiples reprises une inadéquation entre le type de flux thermiques que permet de distribuer le réseau et les besoins des preneurs. Tout d'abord, la question de la production de froid, qui

peut paraître anecdotique, se pose dans les faits comme un point bloquant pour plusieurs entreprises, en particulier pour les promoteurs de locaux tertiaires : « vous me direz, on est en Seine-et-Marne, sur le plateau de la Brie, les utilisateurs n'ont pas besoin de froid. Par contre un investisseur, ou même un utilisateur, quoi qu'il arrive, le B-A BA dans un bâtiment, ce qu'on a là, c'est une cassette double-flux chaud et froid[122]. […] si j'étais promoteur, on est sur un marché immobilier un peu tendu en termes de commercialisation, donc effectivement, retirer une prestation nécessaire aux utilisateurs qui est le froid, c'est dommageable pour un promoteur » (Entretien avec un ancien chargé de développement immobilier chez Disney, 03/11/2014). La solution du réseau de chaleur ne produit en effet pas de froid contrairement aux systèmes techniques plus classiques utilisés par les promoteurs en général : « donc il fallait une machine et donc tout de suite, ils n'étaient pas du tout compétitif par rapport à une cassette réversible[123] » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014).

Ensuite, une deuxième problématique se pose pour le cas des bâtiments destinés à l'hôtellerie prévus sur le PIE : celle de l'interruption de la livraison de chaleur. En été, lorsque l'usage du chauffage est inutile, le réseau subit une maintenance et est donc hors service pendant quelques jours. Pour les hôtels, un arrêt de la production de chaleur, qui entraînerait un arrêt de la production d'eau chaude sanitaire, n'est pas envisageable : « c'est que l'entretien du réseau *grosso modo*, il y a une ou deux journées où dans l'année le réseau doit passer un entretien. Alors pour le chauffage ce n'est pas gênant, mais pour l'eau chaude sanitaire, ça ne le fait pas. Alors quand on est dans un hôtel, encore moins, c'est impossible. Donc il fallait qu'ils aient ici pour l'hôtel une offre plus globale, chaud froid et assurer la continuité 365 jours. Et ça, ils ont mis beaucoup, beaucoup de temps à sortir une offre complète et globale. Qui s'appuie bien évidemment sur le chauffage urbain mais qui rende les services attendus. Ça paraît comme ça du détail, mais c'est leur besoin à cet hôtel, il faut répondre à l'ensemble de leur besoin » (Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014).

Enfin, l'implantation de bâtiments destinés à la location ou à la cession de locaux tertiaires pose le problème de la diversité des entreprises installées, qui sont autant d'abonnés divers, quand la solution du réseau de chaleur doit être pensée au niveau collectif : « quand c'est un parc d'activité, c'est compliqué. Parce que ce sont des cellules à la location ou à la vente. Par

[122] Système technique de production de chaud et de froid à partir d'électricité.
[123] Synonyme de la cassette double flux.

contre, dès que c'est ce qu'on appelle un « clé en main », un utilisateur unique, c'est là où on peut essayer de vendre ça. Parce que sinon ça veut dire qu'il y a une gestion par cellule, il y en a qui vont le prendre, il y en a qui ne vont pas le prendre. Apparemment, c'est quand même un peu compliqué à mettre en place » (Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014).

Ainsi, outre les dynamiques de développement du parc qui limitent le nombre total de preneurs potentiels du flux, on constate à nouveau l'importance des caractéristiques matérielles et, cette fois-ci, des logiques de fonctionnement des acteurs dans la formation de la synergie. Contrairement au cas de Dunkerque où les dépendances créées par la synergie obligent les acteurs à adapter leurs modes de fonctionnement, les dépendances peinent ici à simplement se développer en raison justement de l'adaptation trop importante qu'elles demandent. En conséquence, les risques liés à la synergie sont presqu'entièrement supportés par l'opérateur au travers de l'investissement réalisé dans l'infrastructure, comme nous le montrons dans ce qui suit.

C. Exploiter un système surdimensionné

En définitive, autant le système de récupération que le système de distribution pensé avec les hypothèses de développement du réseau de 2007 sont inadaptés aux échanges de flux effectivement réalisés : « tant qu'on n'aura pas, je dirais, raccordé un certain nombre de clients pour nous permettre d'avoir … enfin on a une installation qui est à l'heure actuelle surpuissante et surdimensionnée, qui est batarde, quoi » (Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014). Tout comme du côté de la production, ce surdimensionnement entraîne un usage des systèmes techniques qui n'est pas optimal du point de vue de l'exploitant tout comme du point de vue du *data center*, en particulier parce que les consommations d'énergie sont largement dominées par celles de la piscine, c'est-à-dire par un unique client.

> « Ça pénalise le *data center* donc on est toujours dans des discussions. Ils nous disent oui mais je ne peux pas vous donner la température parce que vous me donnez pas le débit … enfin voilà. »
>
> Entretien avec un ingénieur de la direction technique et grands projets Dalkia 24/10/2014

> « Les réactions du réseau ne sont pas les mêmes à faible puissance qu'elles le seraient avec une consommation régulière. Aujourd'hui on est très impactés entre autre par des gros consommateurs actuels […], c'est la piscine qui nous impacte sur le fonctionnement et sur les méthodes de fonctionnement. On doit fonctionner en dents de

> scie. Alors que le fonctionnement à l'initial avait été imaginé beaucoup plus lisse, beaucoup plus constant. »
>
> Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014

> « D'abord, c'est embêtant techniquement parce que si vous mettez un très gros tuyau et que derrière vous avez deux litres d'eau chaude qui passe en fait vous avez un rendement pourri, donc techniquement ce n'est pas génial. »
>
> Entretien avec la directrice du marketing, Dalkia Ile de France, 05/06/2015

Sur le plan financier cependant, l'exploitant du réseau en pâtit davantage que l'ensemble des autres acteurs mais ne perçoit pas l'état actuel du réseau comme une fin : « économiquement, vous avez investi sur le très gros tuyau là où en fait ce n'est que dans cinq ans que vous aurez toute la puissance. Donc ça dégrade nos temps de retour. C'est un très bel exemple dont on est extrêmement fier. Economiquement parlant pour l'instant ça n'a pas porté ses fruits. […] On a un temps de retour qui est moins bon que ce qu'on espérait mais on se dit toujours, oui mais si ça continue à se développer en revanche on aura bien fait d'avoir pris ce pari-là. C'est un pari » (Entretien avec la directrice du marketing, Dalkia Ile de France, 05/06/2015).

La banque reçoit quant à elle moins de revenus de la récupération puisque ces derniers sont proportionnels à la quantité de chaleur effectivement distribuée dans le réseau. Cependant, cet état de fait ne lui pose pas de problème particulier, le système de récupération de chaleur ne représentant pas un enjeu financier suffisamment grand. On retrouve donc ici le même rapport à la synergie de la part de l'entreprise que dans le cas de Dunkerque : « pour nous, ce n'est pas un problème. Aujourd'hui, même l'investissement de départ, il est noyé globalement. L'investissement de départ c'est quasiment 800 000 euros, le surplus d'investissement. Sur un projet global chez nous de construction de 110 millions d'euros. Sur les deux centres, 56 d'un côté et pratiquement la même chose de l'autre côté. Donc je ne vais pas dire que 800 000 euros c'est rien, mais sur des objets qui ont été construits pour durer minimum trente ans … Puisqu'on est sur un investissement qu'on ne fait pas sur 10 ans. Les durées d'amortissement des deux centres ont été calculées sur trente ans. Donc 800 000 euros sur trente ans, ça touche la virgule, ça ne touche plus » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014).

Ainsi, dans le cas du Val d'Europe, les risques liés à la synergie apparaissent de prime abord comme étant de courts termes et instaurent immédiatement une instabilité, principalement supportée par l'opérateur : le financement du système est dès les débuts remis en cause car les flux ne suivent pas le dimensionnement prévu de l'infrastructure. Cependant, si l'on replace le

réseau dans les différentes stratégies énergétiques et de développement urbain qui guident les actions des différents acteurs du territoire, la situation de long terme n'apparaît pas moins risquée. La partie suivante de ce chapitre a pour objectif d'en montrer les différents aspects.

IV. Confronter et contourner les incertitudes par la concurrence spatiale des réseaux

Parallèlement aux tâtonnements explorés jusqu'ici, les projections de l'évolution du réseau doivent composer avec les mêmes incertitudes liées à l'évolution du territoire. Nous montrons dans une première section comment les acteurs se saisissent de ces inconnues pour projeter le devenir du réseau à plus long terme (A). Dans une deuxième, nous exposons la façon dont ces projections interagissent avec la stratégie plus large d'approvisionnement en chaleur du Val d'Europe (B).

A. Projeter le développement spatial d'un réseau face à une double incertitude

Malgré les difficultés de développement du réseau, la prospection commerciale de Dalkia reste pour l'instant limitée au périmètre du parc d'entreprises. Pourtant, le développement du Val d'Europe ne se concentre pas sur cette unique zone et les acteurs de l'aménagement local sont disposés à voir le réseau s'étendre au-delà du PIE.

En particulier, un accord est signé entre Dalkia et l'EPAFrance pour le prolongement du réseau sur une autre ZAC adjacente appelée ZAC du Couternois, également destinée à recevoir des activités économiques mais qui ne fait pas partie du périmètre concerné par l'accord entre Disney et l'Etat. En outre, un prolongement à plus long terme est envisagé par l'aménageur sur une seconde ZAC, cette fois-ci de logements et en particulier de logements sociaux : « ce qu'il y a, c'est qu'après, ce sera une négociation avec Dalkia qui devra faire des investissements pour aller de l'autre côté. C'est pour ça que pour le moment ce n'est pas fait » (Entretien avec la directrice du développement économique du SAN du Val d'Europe, 03/10/2014).

Or, pour le cas de la ZAC du Couternois, la solution du réseau de chaleur ayant été envisagée à un stade précoce de l'opération, des emplacements sont prévus par l'aménageur dans les voiries pour faire passer les tuyaux. Cette planification change complètement la donne quant aux coûts d'extension du réseau en comparaison du cas du PIE. En effet, les travaux de ce

dernier ont nécessité une réouverture des voiries déjà construites sur le parc, portant les coûts d'investissement à 3,46 M€ (comme rappelé en I.A de ce chapitre), alors que, selon l'aménageur, ils pourraient être divisés par deux pour le cas de la ZAC du Couternois.

> « On avait essayé de voir pour développer, on a une autre zone qui se développe un peu plus à l'ouest, la ZAC du Couternois. Donc j'avais demandé qu'ils étudient, et ils ont abandonné, parce que j'ai appris que le *data center*, en fait c'est une première tranche qu'on a. Et il devait y avoir une deuxième tranche, voire même une troisième tranche. Et ils ont abandonné les autres tranches. […] Et du coup, ils *[Dalkia]* ne se développent pas. Parce que l'idée c'était aussi de poursuivre ce réseau, parce qu'on avait vu avec les trois tranches, on avait une capacité telle qu'on aurait pu chauffer les logements d'une opération dans quelques années, une opération qui s'appelle la Motte, à Bailly-Romainvilliers, des logements. Voilà, quitte à mailler ça après avec notre réseau de chaleur dans le centre-ville pour faire un grand réseau de chaleur. Eh bien, ça, ça commence à avoir un peu de plomb dans l'aile. »
>
> Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014

Sur la ZAC du Couternois, l'une des premières opérations annoncées est une grande plateforme logistique développée par le promoteur Barjane pour le compte d'Auchan. La solution du réseau de chaleur est envisagée par le promoteur qui lance une étude et s'aperçoit que le coût en est inférieur à celui de la solution classique au gaz, mais pas suffisamment pour qu'il choisisse une technique qu'il ne connaît pas et qui lui demande un coût d'entrée important pour en comprendre le fonctionnement, comme le rapporte le chef de projet de l'aménagement de cette ZAC : « l'étude comparative qu'a menée Barjane ici, c'est qu'entre chauffer avec du gaz et chauffer avec le chauffage urbain, la différence de prix était de 7% tout compris les trois premières années. Pourquoi ils allaient s'investir, passer du temps *etc.* sur une technique qu'on connaît un petit peu moins, enfin le constructeur, pour ne gagner finalement que … ? […] il y aurait eu par exemple 10% *[de différence de coût]* d'entrée, ç'aurait été, je pense… un différentiel à deux chiffres pour bien marquer les esprits. On a affaire en face de nous à des gens qui investissent des millions d'euros et en plus là, la particularité c'est qu'ils sont en plus gestionnaires *in fine*. Donc ils étaient très sensibles au prix de revient » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015). L'aménageur regrette cette décision qu'il attribue en partie au choix de Dalkia d'avoir souhaité conserver un prix de la chaleur identique à celui proposé sur le PIE : « ils ont voulu absolument vendre le même prix du kW qu'ici, alors qu'en fait pour cette opération, très raisonnablement, les travaux coûtaient deux fois moins cher. Là, ici, il y en a eu pour 4 millions d'euros de travaux, de tuyaux *etc.*, et là on était à moins de deux. Donc ils auraient

dû réadapter leur prix de sortie, leur prix de vente. Et là le choix de leur direction a été de dire : non, on fait le même tarif pour tout le monde. […] Parce que, ils auraient réussi à avoir cette opération-là, […] ça leur permettait de justifier l'investissement pour amener la desserte ici et tout le reste c'était du bonus » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015).

La stratégie de Dalkia – que les personnes rencontrées au sein de l'entreprise n'ont pas souhaité commenter directement – consiste donc pour l'instant à concentrer les efforts de commercialisation du réseau sur le périmètre décidé à l'origine. Pour les acteurs de l'aménagement, la question du développement du réseau de chaleur n'en reste toutefois pas là, notamment parce que des réflexions sur les ressources disponibles localement sont engagées. Plus précisément, la question de la récupération de chaleur sur d'autres *data centers* est posée. Sur le seul périmètre du PIE, deux autres centres sont installés outre celui qui fournit déjà le flux de calories. On y trouve en particulier le centre de données de la Banque de France avec qui l'EPA entre en contact, mais la problématique de la sécurité arrête le processus.

> « On s'est posé la question : mais là, la bonne idée qu'on a eu ici, on pourrait peut-être la reproduire ailleurs. J'ai travaillé toujours de la même façon avec la Banque de France. Alors, ils n'étaient pas contre l'idée de vendre de l'eau chaude à Dalkia, à la limite, en passant. Donc ils ont fait une étude. Mais eux leur problème, ce n'est pas tellement de vendre de l'eau chaude, c'était vraiment accessoire, ils étaient prêts à le faire pour, voilà … parce que c'était dans une démarche HQE donc ils l'ont étudié. Mais alors leur problème à eux pour la Banque de France, c'est la sécurité. Faire intervenir quelqu'un d'extérieur à Banque de France sur le site de la Banque de France, quand bien même c'est dans des installations qui sont mises de côté *etc.* … Vraiment, non mais là c'est pas les aspects techniques, c'est pas le développement durable, c'est la sécurisation du site qui … On a les messieurs sécurité qui ont dit *niet*. »
>
> Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015

> « La Banque de France, on l'a approché pour voir s'ils pouvaient vendre de la chaleur. Alors, ce n'est pas leur sujet. Ils se réfugient derrière des histoires de confidentialité, de site protégé, ce n'est pas leur sujet. […] Voilà ce qu'ils nous ont dit : ce n'est pas ouvert, problème de sécurité, confidentialité, accès des personnels. Je vais vous dire, il y a des gens qui n'ont pas du tout cette culture. »
>
> Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

Le SAN entrevoit également la possibilité de développer le réseau en récupérant à nouveau de la chaleur sur l'un des *data centers* s'installant sur le parc mais la première expérience incite

les services techniques à penser que le processus devrait être géré d'une autre manière : « je pense que… il faudra qu'on s'y prenne peut-être autrement. Il faudrait que je mette une personne dessus pour qu'elle puisse s'occuper de ça bien en amont. Parce que moi je n'aurais que ça à faire … mais moi j'ai une très petite équipe en fait. Moi j'ai deux architectes, un ingénieur pour les infra, j'ai vraiment une petite équipe » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014).

En somme, la question des sources complémentaires, si elle est évoquée par les acteurs publics, n'est cependant considérée comme prioritaire par aucun des acteurs qui partent du principe que le réseau doit être développé avant qu'une évolution du mix énergétique ne soit envisagée : « en fait, ce n'était pas très intéressant puisqu'ils ont déjà suffisamment de production ici tant qu'ils n'ont pas raccordé plein d'autres gens ici » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015).

B. Coordonner les réseaux sur le territoire

En outre, une autre source de chaleur locale, liée à une opération d'aménagement très particulière est déjà envisagée : sur des fonciers directement adjacents au PIE, de l'autre côté au sud de l'autoroute A4, Disney et Pierre et Vacances construisent les parcs « Villages Nature » visant à offrir une destination de vacances *« basée sur la quête d'harmonie entre l'Homme et la Nature »*[124]. La communication autour de l'opération est donc très orientée vers l'idée de durabilité environnementale. Or, l'une des attractions principales du parc est un lagon artificiel à ciel ouvert pensé pour conserver toute l'année une température supérieure à 30°C (voir Figure 5.14 le plan des parcs, le lagon est la plus grande des étendues d'eau représentées).

La consommation énergétique pour parvenir à un tel résultat est donc très importante, et pour être en accord avec l'image de durabilité annoncée, la géothermie est choisie pour produire la chaleur utilisée par l'ensemble du parc. Pour bien comprendre la situation, il nous faut ajouter une précision importante : le réseau de Villages Nature est exploité par la Société Géothermale de Val d'Europe, dont est actionnaire Cofely Réseaux, filiale de GDF-Suez, concurrente directe de Dalkia.

[124] Voir la page d'accueil du site des parcs, consultée la dernière fois le 17/06/2016 http://www.villagesnature.com

Figure 5.14 : Plan masse de la première phase du projet de parc de loisir Villages Nature – Source : Villages Nature

La proximité entre les parcs Euro Disney et Villages Nature incite alors les entreprises à penser une interconnexion entre le réseau géothermique et la chaufferie des parcs d'attraction afin de disposer d'une solution de sécurité dans le cas d'une défaillance de l'un ou de l'autre des systèmes (voir Figure 5.15 l'organisation spatiale des différentes zones de développement du territoire) : « nous, on s'est dit qu'est-ce qu'on fait, sachant qu'on avait une problématique appoint de secours. Parce qu'au début, l'idée c'était d'être 100% verts, mais le problème c'est que de toute façon il faut de la maintenance. Donc il faut une solution de secours. Et donc Disney a décrété qu'on ferait l'appoint secours sur Disney. Et donc il y a un fil tiré entre Disney et Villages Nature » (Entretien avec un cadre chez Cofely (Engie Réseaux), 24/08/2015).

> « La géothermie en tant que telle qui était calée à 15 MW, elle fournit l'aqua-lagon, la moitié de l'énergie qui est produite est consommée par l'aqua-lagon, donc c'est les bains toute l'année à 30°, et puis une partie non négligeable également consommée dans les cottages, les équipements en chauffage et en eau chaude sanitaire. Et le surplus est renvoyé chez Disney, qui s'en accommode et qui utilise cette énergie. »
>
> Entretien avec un responsable de projet, Cofely, 02/09/2015

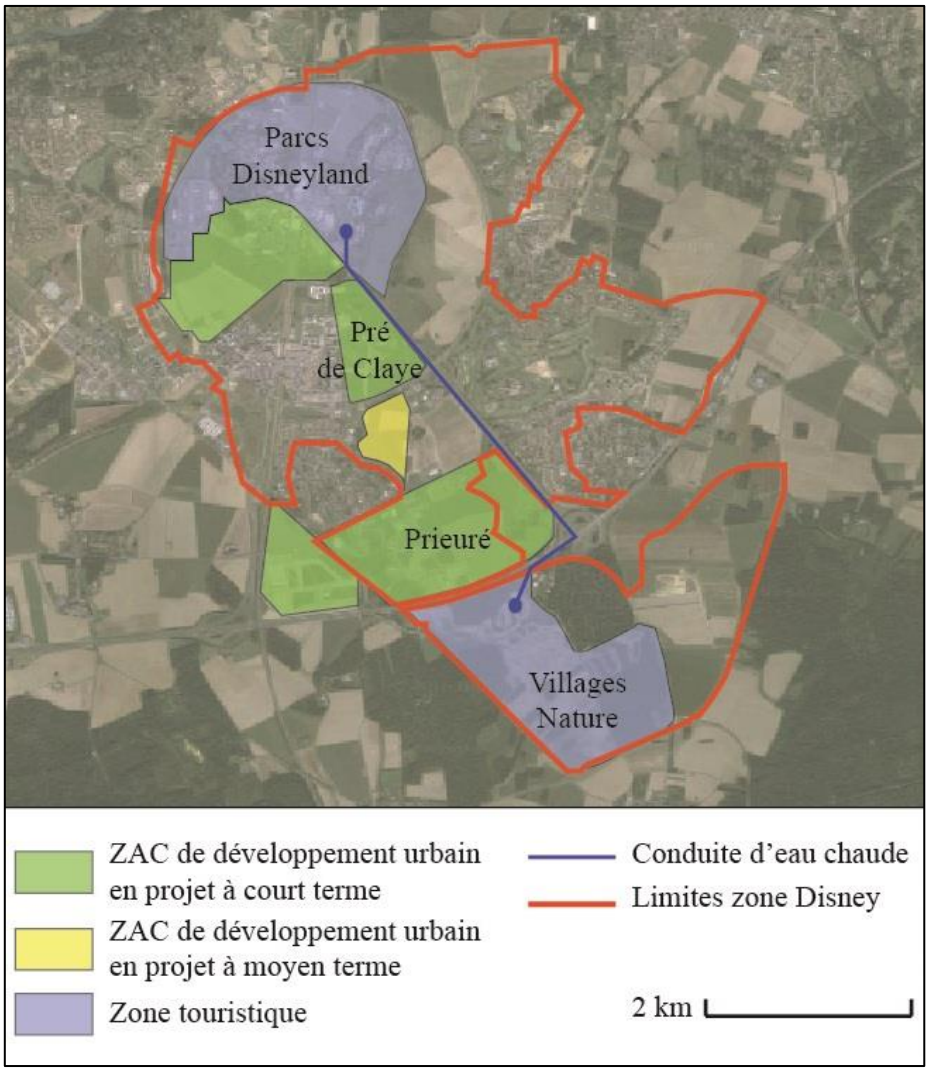


Figure 5.15 : Organisation spatiale des développements urbains et touristiques au Val d'Europe – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016)

Pour cela, des tuyaux doivent passer à proximité de diverses opérations d'aménagement en cours ou à venir et en particulier, outre le PIE, près de la ZAC du Pré de Claye destinée à accueillir des logements dont les futures consommations étaient à l'origine perçues comme un gisement possible pour le réseau de Dalkia. Une possibilité de desservir ces logements en tirant des tuyaux depuis la canalisation d'interconnexion de 8 km est donc perçue par différents acteurs, dont Disney et l'EPA. L'existence d'un surplus de chaleur permettant la mise en œuvre d'une telle fourniture n'est cependant pour l'instant pas avérée si bien que cette forme de connexion ne fait pas partie d'une stratégie de court terme pour l'opérateur du réseau de géothermie : « le sujet important aujourd'hui c'est la construction du réseau de chaleur, qu'il soit rendu dans les temps avec le budget qu'on a. Et puis quand la construction

sera finie, on verra si on développe, mais il faut d'abord vérifier que ça marche avant d'étendre » (Entretien avec un cadre chez Cofely (Engie Réseaux), 24/08/2015).

> « Parce que nous ce qu'on fournit là, à travers l'interconnexion, on le doit à Disney, on n'a pas de calorie en trop. Le contrat c'est : on vous donne une certaine partie de cette chaleur, dont vous avez besoin, et en fait cette quantité c'est le taquet de ce qu'on peut produire. Quand on annualise évidemment. Après en consommation instantanée … voilà. Mais en tout cas quand on annualise, on se rend compte que pour aller au-delà, il faudrait ajouter des moyens complémentaires de production de chaleur. »
>
> Entretien avec un responsable de projet, Cofely (Engie Réseaux), 02/09/2015

Toutefois, des annonces publiques allant en ce sens sont déjà faites, notamment dans la presse où le directeur général de Villages Nature[125] explique que la canalisation pourrait « servir à assurer la « transition énergétique » de l'ensemble du territoire ». En outre, les objectifs pour la géothermie sont perçus sous un jour favorable par le conseil régional d'Ile de France, qui en plus d'avoir subventionné les investissements, s'engage, dans une convention signée avec Cofely, « à soutenir le projet de géothermie de Villages Nature comme première étape d'une expérimentation à grande échelle qui participera au renforcement des énergies renouvelables dans le mix énergétique, et à accompagner le déploiement du réseau géothermique dans les futurs projets urbains du Val d'Europe portés par l'EPAFrance »[126]. L'existence de subventions publiques – à hauteur de 9,4 millions d'euros en tout, réparties entre la région et l'ADEME – explique donc en partie cette communication sur le développement de la géothermie sur le territoire qui est en outre perçue comme une opportunité par certains acteurs locaux : « ils ont monté un dossier de demande de subvention et une des raisons, pas seulement celle-là, mais entre autres, qui justifierait cette demande de subvention, c'est que potentiellement, ils pourraient desservir des opérations de logements au passage du réseau » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015).

> « Et donc ils se disent, en fait, pourquoi mes chaudières de parc n'iraient pas faire le secours de la géothermie ? […] Et alors ce que j'ai écrit, j'ai dit, ils remontent un tuyau et ils passent devant des ZAC à construire. Pourquoi on ne raccorde pas les ZAC ? Comme ils ont signé une charte développement durable, ça permettrait d'être cohérent avec la charte et j'ai porté une estocade en leur disant, pour un réseau de chaleur financé pour partie par la région Ile-de-France et l'ADEME ce ne serait pas trop déconnant. Affaire à suivre. »

[125] Voir par exemple l'article de presse « A terme, la géothermie pourrait chauffer tout le Val d'Europe », Le Parisien, 23/02/2015

[126] Amendement de l'article 5 de la convention « Phase IV d'aménagement du Val d'Europe à Marne-La-Vallée » Rapport n°CR 91-13 – Séance plénière du 21 et 22 novembre 2013

Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014

> « Alors cette idée de développement, c'est quelque chose que Villages Nature effectivement a mis en avant et sur laquelle ils ont communiqué. Est-ce que c'est intelligent de le faire ? Ben, si c'est effectivement leur stratégie, c'est très bien, mais il me semble que ce n'est pas évident de communiquer de cette façon-là, sachant que le réseau il est … quelque part, même s'il est subventionné ce n'est pas un réseau qui dépend de l'autorité publique. Or, on peut se dire quand même que le SAN et les communes souhaiteraient maîtriser la stratégie énergétique et être aux manettes. »

Entretien avec un responsable de projet, Cofely, 02/09/2015

En définitive, le territoire se trouve dans une configuration dans laquelle Disney doit, selon son rôle de développeur, vendre la solution du réseau alimenté par le *data center* appartenant à Dalkia alors que l'entreprise communique sur l'extension d'un réseau exploité par son concurrent principal, extension encouragée par un acteur public puissant et présentée comme vertueuse. Cette position de la part de Villages Nature est en outre perçue comme un retournement de situation par le SAN et l'aménageur, puisque la solution du réseau de chaleur avait été proposée dès les débuts du projet d'aménagement de la ZAC du Pré de Claye mais toujours refusée par Disney dans le cadre des négociations relatives au Plan d'Intérêt Général. Le chef de projet en charge du développement des ZAC du Val d'Europe craint ainsi que l'entreprise ne cherche à obtenir un monopole sur la vente de chaleur sur une zone plus ou moins restreinte : « on avait envisagé de faire un réseau de chauffage urbain et Disney nous a toujours refusé. Ils étaient vraiment contre, contre, contre, depuis des années et des années. […] Et puis brusquement, depuis quelques semaines, depuis novembre ou décembre là, ils ont un changement complet d'orientations […] ils me disaient on aimerait bien avoir un chauffage urbain ici parce que nous on va avoir des tuyaux ici, on pourrait vous … voilà … bon » (Entretien avec un chef de projets, EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015).

Des réflexions sont donc en cours du côté de l'aménageur pour penser les moyens d'interconnecter les productions géothermiques et fatales afin d'obtenir une concurrence entre les sources qui permette de tenir les prix.

> « Alors ce qui est intéressant ici quand même, c'est qu'on a une source qui est sous-exploitée via le réseau Dalkia […]. L'aspect technique des choses, vraiment, c'est passer des tuyaux, faire un échangeur ici tout ça, ça se travaille, c'est du boulot, ça c'est vraiment bien réglé, il n'y a pas de sujet, enfin ce n'est pas compliqué. Le vrai, vrai, vrai problème, ce n'est pas tant ça, c'est surtout les acteurs locaux. Toutes les implications … Alors là, pour le coup, vraiment, techniquement, il n'y a pas de sujet. […] Si on

pouvait arriver à faire ça, ça tiendrait les prix, parce que tout le monde est en train de … Il faut tenir les prix. Il n'y a aucune raison que ça coûte deux fois plus cher au prétexte que c'est renouvelable, que c'est développement durable *etc*. »

Entretien avec un chef de projets EPAMarne-EPAFrance 23/01/2015

Toutefois, alors que le processus d'aménagement urbain du territoire avance, l'approvisionnement énergétique des ZAC se dessine de manière plus nette. Début 2016, le SAN du Val d'Europe – devenu alors la Communauté d'Agglomération du Val d'Europe – émet un appel d'offre pour un contrat de concession d'un réseau de chaleur sur plusieurs ZAC (ZAC du Pré de Claye, ZAC des Studios et des Congrés, pointe nord de Chessy et éventuellement autres ZAC alentours) : « il y a aussi de nouvelles ZAC en construction à proximité, notamment vous avez en projet un lancement de DSP sur trois ZAC à proximité et il est possible que le *data center* soit appelé à alimenter ces nouvelles ZAC en construction, mais c'est à l'échelle 5 ans à 10 ans » (Responsable de bureau d'études chez Dalkia, s'exprimant lors d'une journée d'études à la FNCCR, 20/04/2016). Cependant, les termes de l'appel d'offre ne font pas explicitement référence à une telle possibilité mais simplement à « la conception, la construction et l'exploitation d'un réseau de chaleur bénéficiant d'un taux de couverture d'enr&r, via une production de chaleur principalement à partir de biomasse et éventuellement à partir d'autres solutions énergétiques, supérieur à 50% de façon pérenne sur la durée du contrat »[127]. Ainsi, la récupération de chaleur sur *data center* n'est pas placée au centre de la stratégie d'approvisionnement en chaleur du territoire. La priorisation de la biomasse correspond à une vision défendue par le service du développement durable de l'EPAMarne qui considère qu'il s'agit d'une ressource locale sous-exploitée : « c'est pour ça que j'ai beaucoup défendu le bois et que je continue à le défendre, c'est parce que […] Marne-la-Vallée c'est quand même entouré de forêts. On a fait faire des potentiels bois. Si tout ça se met en fonctionnement, ça se met en exploitation, en ne récupérant que le rebut de bois, c'est-à-dire tout ce qui généralement n'intéresse personne parce que c'est des branches de faible diamètre, […] on pourrait récupérer 35000 tonnes par an, si tout ceci se met en mouvement. Et avec 35 000 tonnes par an, on fait 1million de m² chauffés » (Entretien avec le responsable de l'énergie à la direction Développement Durable de l'EPAMarne, 15/09/2014).

En cela, il apparaît que, contrairement au cas de Dunkerque, il existe une disjonction entre la stratégie d'approvisionnement énergétique du territoire qui se construit et les projections d'évolution du réseau de chaleur du PIE. Si l'instabilité actuelle du réseau est reconnue, il

[127] Avis n°16-761 publié le 05/01/2016

n'apparaît pas de stratégie claire pour la contrer : on projette au contraire de construire un système alternatif qui doit se suffire à lui-même et qui, en un second temps seulement, pourrait interagir avec la synergie, selon des modalités qui restent toutefois incertaines puisqu'elles ne sont réglées par aucune relation formelle. En d'autres termes, rien ne contraint réglementairement l'EPA ou le SAN, responsables du développement des réseaux sur le territoire, à accepter ou à refuser que le réseau de chaleur du parc d'entreprise ou celui de Villages Nature ne s'étendent sur de nouvelles parties du territoire, ni qu'ils s'interconnectent. En conséquence, l'avenir de la synergie ne peut être connu car il dépend de relations entre des acteurs (la collectivité, l'aménageur, la région, Disney et les opérateurs énergétiques) dont les intérêts et stratégies ne sont pas clairs à ce jour.

Conclusion

La récupération de chaleur sur les groupes de froid d'un *data center* au Val d'Europe n'apparaît pas comme une réponse à une stratégie préétablie d'approvisionnement énergétique. Elle résulte au contraire de la saisie d'une opportunité offerte par un processus de développement urbain dont la planification amont n'intègre pas le projet d'un réseau de chaleur. Cette absence de planification se traduit par une confrontation entre des intérêts publics et privés qui bloquent le projet durant un temps. Cependant, des stratégies environnementales, d'innovation et d'expérimentation plus larges viennent finalement mettre les acteurs en accord, malgré le choix d'un modèle de gestion privée du réseau qui ne les satisfait pas tous, tout particulièrement la collectivité et l'aménageur impliqués.

Une fois la décision prise de développer un réseau sur l'ensemble d'une zone d'activités en construction, l'adaptation du système aux flux provenant du *data center* tels qu'évalués au moment de la conception n'est plus satisfaisante. En effet, la banque propriétaire du centre ne peut plus garantir la taille initialement prévue du *data center* ni les échéances de mise en service de potentielles extensions. Le système de récupération s'en trouve surdimensionné et, en outre, la séparation physique entre les installations de la banque et du réseau de chaleur rendent complexe la gestion quotidienne de ce dernier. De l'autre côté du tuyau, des dynamiques économiques en défaveur du développement de la zone ralentissent l'arrivée de consommateurs potentiels pour le flux de chaleur : après quelques années d'exploitation, seuls deux équipements publics sont connectés au réseau. Toutefois, lorsque des implantations d'entreprises ont effectivement lieu, les porteurs des projets préfèrent choisir d'autres

solutions de chauffage. Suite à une décision de l'aménageur, le choix d'un mode de gestion privé implique en effet que les preneurs de lots, qu'ils soient promoteurs ou futurs propriétaires des bâtiments, ne soient pas contraints de se connecter au réseau. Le réseau de chaleur est alors chaque fois perçu comme inadéquat, non pour des raisons financières mais parce que son fonctionnement n'apparaît pas adapté à celui des activités de bureaux ou d'hôtellerie qui s'installent sur le parc d'entreprises. Le développement de réponses techniques et commerciales à ces réticences par l'opérateur prend du temps, si bien que les porteurs des projets d'implantation se détournent du réseau et choisissent des solutions individuelles électriques. Ainsi, le réseau se trouve surdimensionné, tant du côté de la récupération que du côté de la distribution.

Face à cette situation et malgré leur absence d'implication financière dans le projet, les acteurs publics locaux s'inquiètent de la possibilité de voir une infrastructure sous-utilisée sur leur territoire. Ils imaginent diverses possibilités d'étendre le réseau à des zones adjacentes au PIE mais elles ne prennent pas forme, faute d'un intérêt économique suffisant du point de vue de l'opérateur. À plus long terme, des discours d'acteurs privés et publics du territoire laissent craindre une mise en concurrence de la récupération de chaleur avec une autre source : la géothermie, mise en œuvre pour approvisionner des parcs de loisir co-développés par Disney, pourrait être distribuée plus largement sur le Val d'Europe, d'autant qu'un premier long tuyau reliant les nouveaux parcs en périphérie aux parcs Disney Land dans le centre urbain est construit. Des voix dissonantes se font alors entendre au sein de l'aménageur puisque certains y voient une possibilité de proposer une solution collective vertueuse sur des parties du territoire quand d'autres s'inquiètent que cette situation n'entérine la sous-utilisation de l'infrastructure de récupération.

Finalement, c'est au travers de la collectivité (l'intercommunalité) qu'une stratégie plus intégrée de distribution de chaleur sur le territoire émerge : un projet de nouveau réseau de chaleur géré dans le cadre d'une délégation de service public est lancé fin 2015. Cependant, bien que l'opérateur du réseau du PIE y voit une opportunité de long terme d'usage de l'infrastructure de récupération, une telle possibilité n'apparaît pas dans le projet puisque la biomasse y est privilégiée, conformément à une stratégie énergétique portée par l'aménageur.

Ainsi, si l'on confronte le récit de ces processus à nos hypothèses, les résultats sont moins tranchés que dans le cas précédent. La première est à nouveau vérifiée : l'implication des acteurs dans la mise en œuvre de la synergie a peu à voir avec son efficacité technico-

économique comme forme de distribution d'énergie. Pour autant, on perçoit que les argumentaires déployés ne relèvent pas tant de stratégies alternatives que de la saisie d'une opportunité, et ce de la part de l'ensemble des acteurs. Le cas s'oppose ainsi à celui de Dunkerque dans lequel une stratégie construite d'autonomie portée par les collectivités se trouve à l'origine de la synergie.

En outre, notre seconde hypothèse résonne moins fortement avec le cas du Val d'Europe : si des risques importants pour le devenir du réseau existent, ils sont autant liés à certaines formes d'interdépendances du côté de la production qu'à une difficulté à faire émerger des interdépendances de l'autre côté du tuyau. L'analyse de ce cas nous permet donc de mettre au jour des processus bien différents de ceux qui ont eu lieu à Dunkerque. En effet, le développement concomitant du réseau et des activités qu'il doit lier fait apparaître l'importance des dynamiques de développement urbain dans la constitution des dépendances liées à la synergie. L'absence de planification amont par un acteur public et le recours à des mécanismes de marché (mise en concurrence avec d'autres sources) pour développer le réseau entraînent un relatif échec à faire ne serait-ce qu'émerger des connexions.

Enfin, il paraît également difficile de trancher pour répondre à notre hypothèse de déploiement de stratégies spatialisées de stabilisation du système du réseau. Si diverses possibilités sont effectivement envisagées pour écouler les flux par l'extension spatiale du réseau, et donc stabiliser la synergie, elles ne relèvent pas de stratégies construites et n'aboutissent pas. Face à cette situation, à long terme, on observe comme à Dunkerque des stratégies de multiplication des mises en réseau du territoire par l'énergie, puisque les projets d'interconnexions, simplement évoqués ou effectivement mis en œuvre, se multiplient. Toutefois, on ne constate pas tant une recherche de stabilisation du système en lui-même que le dépassement de la synergie par des stratégies d'approvisionnement planifiées et contrôlées par la collectivité qui n'intègrent pas la récupération de chaleur.

Si l'on compare les deux cas analysés jusqu'ici, on constate donc que le développement et la stabilité d'une synergie énergétique urbaine sont fortement dépendants du rôle que prennent les acteurs publics, en tant que planificateurs, prescripteurs ou encore autorités d'organisation des services, dans le jeu d'acteurs. Notre troisième cas d'études, situé à Lyon, devrait nous permettre d'affiner ce résultat puisqu'il s'agit d'une synergie entièrement construite par un acteur privé mais qui interagit à divers égards avec le système d'approvisionnement énergétique d'un quartier, planifié et contrôlé par un acteur public.

Chapitre 6 - Du bâtiment à l'îlot, puis au quartier : la mutualisation énergétique à Lyon Confluence

> « Je crois que les trois bâtiments de l'îlot seront les plus regardés de France, car ils seront les 1ers immeubles à énergie positive qui abriteront à la fois des bureaux, des logements et des commerces. C'est un projet exemplaire de notre vision de l'avenir pour Lyon. »
>
> *Gérard Collomb, maire de Lyon et président de la Métropole de Lyon, sur le site internet de Bouygues Immobilier (non daté)*[128]

> « Est-ce que la ville de demain ce n'est pas la réunion de toutes les activités urbaines, c'est-à-dire se loger, consommer, se transporter, travailler, se distraire … dans les immeubles à énergie positive qui seront reliés entre eux, qui se parleront, et donc d'une certaine façon est-ce qu'on s'en va pas technologiquement vers la fusion du numérique et de l'énergie à l'intérieur du territoire de la ville ? »
>
> *Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015*

Dernier des cas d'étude que nous abordons, le cas de Lyon Confluence et plus particulièrement de l'îlot « Hikari » est cette fois-ci une synergie de mutualisation. Expliquant jouer sur la mixité des fonctions qu'il abrite, ses concepteurs revendiquent un bilan énergétique grandement amélioré par la mutualisation des productions et des consommations. Avant d'entrer dans le détail de l'assemblage sociomatériel qui sous-tend cet affichage, nous replaçons l'objet étudié dans l'opération d'aménagement qui l'accueille afin de comprendre quels enjeux locaux ont poussé à en faire une opération d'expérimentation énergétique (I). De là, nous montrons que l'intérêt des différents acteurs impliqués dans la conception de la synergie s'inscrit dans deux stratégies différentes : une stratégie de partenariat institutionnel et

[128] Voir la page consacrée à Hikari sur le site *corporate* de Bouygues Immobilier, consultée la dernière fois le 23/05/2016
http://www.bouygues-immobilier-corporate.com/activites/gerard-collomb

de financement de l'expérimentation pour l'aménageur, et une stratégie d'entreprise pour le promoteur (II). Nous avançons ensuite que la forme réelle de la synergie ne correspond pas entièrement à ce qui apparaît dans le discours, orienté vers les flux plutôt que vers le système technique, alors que les interdépendances qu'elle crée touchent pourtant principalement à la gestion ce dernier (III). Enfin, nous montrons comment les principes mis en œuvre dans la conception de l'îlot cristallisent des enjeux qui touchent à l'évolution sociomatérielle de l'approvisionnement énergétique à l'échelle de l'agglomération (IV).

I. Renouvellement urbain et mutualisation énergétique : une synergie dans un quartier aux enjeux complexes

L'îlot Hikari, point de départ de notre investigation pour ce chapitre, est l'une des opérations phare du quartier de La Confluence, territoire aux enjeux multiples pour la métropole lyonnaise. Pour comprendre la genèse de ce projet, il nous faut le replacer dans la chronologie de l'opération d'aménagement dont La Confluence est le lieu et notamment dans le déroulé de l'émergence des problématiques énergétiques, ce que nous entreprenons dans une première section (A). Dans une seconde, nous présentons spécifiquement les principes de fonctionnement énergétique de l'îlot (B).

A. La transformation d'un territoire en cœur de ville : de Lyon Confluence à l'îlot P

Lyon Confluence est le nom donné à l'extrémité sud de la presque-île située, comme son nom l'indique, à la confluence de la Saône et du Rhône (voir Figure 6.1). Lieu d'une opération d'aménagement lancée dans les années 1990, les enjeux auxquels il est confronté sont avant tout ceux d'une régénération urbaine plutôt que d'une transition énergétique. Pour comprendre l'émergence de cette problématique, il nous faut retracer succinctement l'histoire du territoire.

Ce dernier est au départ une île, mais l'ingénieur et sculpteur Michel-Antoine Perrache en propose la poldérisation en 1766 pour qu'elle rejoigne la presqu'île qui constitue le cœur historique de la ville de Lyon. Le projet est achevé en 1841.

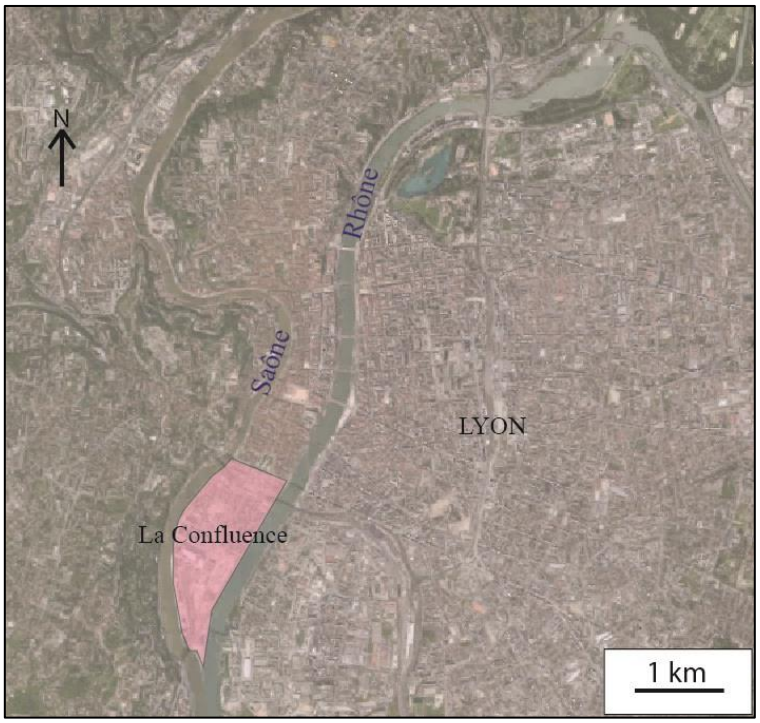


Figure 6.1 : Un territoire à la confluence de la Saône et du Rhône – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/06/2016)

En 1823, un « plan officiel de distribution de la presqu'île » est adopté par la chambre des députés, qui pose pour objectif le développement d'activités industrielles permettant la diversification de l'économie lyonnaise, à l'époque largement basée sur le commerce de la soie. La poldérisation y permet en particulier le passage de voies ferrées et la création de la première ligne de train joignant Saint-Etienne, Mont-Mely et Lyon, arrivée en 1832. En 1833, s'y installe une usine de fabrication de gaz pour l'éclairage de la ville puis, en 1840, des abattoirs, dont les gérants sont attirés par la proximité de l'eau qui permet une évacuation aisée des déchets. En 1857, alors que la gare Perrache est inaugurée, on dénombre 37 usines sur le territoire de la Confluence. Enfin, en 1860, on y implante une prison[129]. Au début du 20ème siècle, les abattoirs sont détruits pour installer les premières Habitations Bon Marché (HBM), bâties dans une perspective hygiéniste, et le port Rambaud, dont l'idée remonte au 19ème siècle, est finalement construit. En 1961, on y inaugure un marché de gros. Le passage de l'autoroute A7 à l'est, dès 1971, qui s'ajoute aux voies ferrées et au passage du métro et du tramway achève d'isoler le quartier du reste de la ville : « avec un magnifique centre d'échange qui est devant la gare. Donc on a une première frontière, on en a une deuxième avec l'autoroute, et on fait passer en plus le métro là-dessous, donc ça bouche tout »

[129] L'établissement Saint Paul

(Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

La succession de ces implantations fait rétrospectivement apparaître le quartier de La Confluence comme un délaissé du territoire, enclavé par des coupures créées par des axes de transport lourds et au sein duquel on regroupe un mélange d'activités polluantes, ou que l'on ne veut pas voir en ville, et d'habitations à destination des ouvriers : « le développement urbain de ce territoire s'est fait un peu comme c'est venu. Avec la création d'une gare et derrière la gare, derrière les voutes de la gare, un territoire qui a eu un développement urbain lié aux activités industrielles » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

Cependant, une grande partie de ces activités disparaît à partir du milieu du 20ème siècle : l'usine à gaz ferme ses portes en 1954 ; comme expliqué précédemment les abattoirs disparaissent dès 1933 et, enfin, les activités du port sont arrêtées en 1995. Des emprises ferroviaires sont également délaissées par la SNCF. Parallèlement, l'enclavement du territoire y favorise le développement d'activités illicites (prostitution, consommation et commerce de stupéfiants).

En 1995, Raymond Barre, alors maire de la ville de Lyon, lance la mission Lyon-Confluence dans le but de réfléchir à la constitution de ce morceau de territoire « enclavé » (Viel *et al.*, 2012). Au début des années 2000, la Communauté Urbaine du Grand Lyon, autorité compétente en matière d'urbanisme, est chargée d'y mener l'aménagement d'un nouveau quartier sur une emprise totale de 150ha. L'objectif affiché est alors de prolonger le centre historique de Lyon par un quartier qui en ait la même surface : « l'objectif pour nous c'est de doubler le centre-ville de Lyon » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence).

En 1999, la communauté urbaine crée la société d'économie mixte (SEM) Lyon Confluence pour piloter cette tâche, c'est-à-dire « racheter tous les terrains industriels et développer ce projet urbain » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015). En 2008, cette dernière devient société publique locale d'aménagement (SPL), puis en 2013, société publique locale (SPL) Lyon Confluence. Ces évolutions successives correspondent au passage d'une structure de financement mixte public-privé mais à dominante publique à une structure purement publique dédiée à l'aménagement, puis à une structure toujours publique mais au champ d'intervention plus large, ce qui lui

autorise notamment l'exploitation de services publics, ce dont nous verrons plus loin l'une des motivations.

Le projet est conduit en deux phases qui font l'objet de deux procédures de ZAC différentes (ZAC1 et ZAC2, voir Figure 6.2). Les objectifs fixés par le projet urbain sont multiples : accueillir 25 000 habitants et autant d'emplois au sein d'un quartier mixte, intégré au reste de l'agglomération, notamment au moyen de réseaux de transport, et en faire une extension de la centralité de la presqu'île basée sur une mixité d'activités (Verhage *et al.*, 2008).

> « Avec cette donnée de base, de scénario programmatique, où on était d'entrée de jeu sur une ville multifonctionnelle. C'est-à-dire, on est dans l'identité de la presqu'île, c'est-à-dire qu'on frôle le périmètre du patrimoine mondial de l'UNESCO. L'idée, ça a été de retrouver sur ce quartier-là ce qui faisait la qualité, de retrouver ces valeurs de fabriquer un morceau de ville où on habite, on travaille on peut faire du commerce, et non pas simplement un pur quartier d'affaire. Ç'aurait pu très bien s'y prêter ici. »
>
> Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015

Cependant, les questions énergétiques et environnementales sont, à l'origine, laissées de côté, car il est jugé qu'elles représentent une contrainte supplémentaire pour un territoire qui souffre d'un « déficit d'image » ne rendant pas simple sa promotion auprès des investisseurs immobilier : « le mot HQE *[Haute Qualité Environnementale]* était un gros mot, quasiment, à l'époque. C'est-à-dire que sur ce territoire, d'emblée de jeu nos prédécesseurs … On trouvait centralité, densité, mixité sociale et fonctionnelle, nature en ville, grand paysage, ville marchable, réplicabilité, ambition urbaine et architecturale. Mais on n'avait pas sur ce territoire-là au départ de l'opération, donc en 2002-2003, une commande politique claire en disant je veux de l'HQE » (Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015).

Toutefois, malgré cette absence de commande politique claire, l'aménageur se saisit des questions environnementales au travers du concept de développement durable de manière graduelle. En effet, au début des années 2000, un responsable du développement durable est recruté[130] pour faire dialoguer cette problématique avec le portage opérationnel du projet d'aménagement : c'est ainsi avant tout au travers de la question de la durabilité qu'émerge celle de l'énergie. Les développements de ce chapitre montrent comment cette dernière est progressivement structurée, partant d'un objectif de comptabilité de flux de carbone et

[130] Cette personne est toujours en poste aujourd'hui et nous avons pu l'interroger.

finissant par la problématique de la construction et de la gouvernance d'un système énergétique territorial.

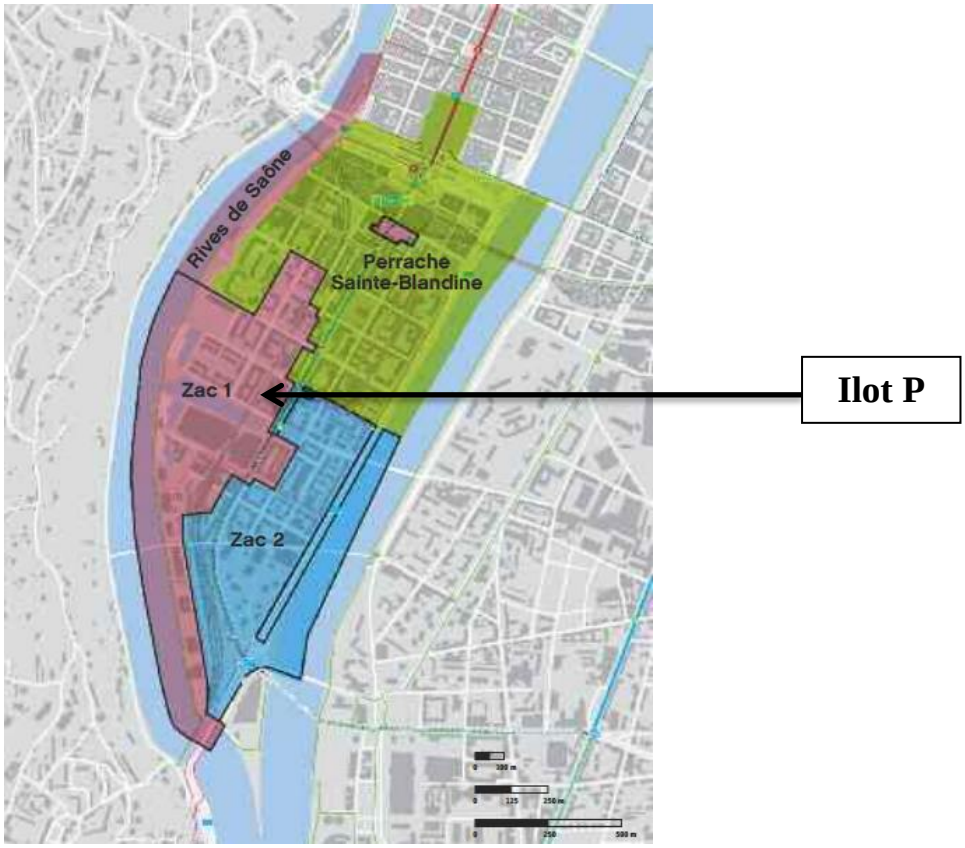


Figure 6.2 : Zonage de l'opération d'aménagement Lyon Confluence – Source : Lyon Confluence Images et plans - 68 repères

La première phase de l'opération, qui représente quelques 41 hectares, est initiée en 2003. Début 2011, la SPLA et ses partenaires lancent une consultation internationale à destination de groupements d'architectes et promoteurs, nécessairement accompagnés d'un bureau d'études techniques HQE, pour la construction du dernier îlot de la ZAC1, dénommé par l'aménageur « Ilot P ». L'aménageur est assisté dans cette tâche par l'association Hespul, spécialiste des énergies renouvelables – et en particulier du photovoltaïque – qui joue le rôle d'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) pour les questions énergétiques et qui a déjà précédemment joué ce rôle dans le cadre du développement de La Confluence, comme nous le verrons plus loin.

L'appel de la consultation fait état d'une ambition toute particulière sur le plan énergétique (SPLA Lyon Confluence et Grand Lyon, 2011) : « démonstrateur, l'ilot P,

bâtiment à énergie positive, devra s'appuyer sur des innovations technologiques lui permettant de trouver de nouvelles sources d'économie d'énergies ».

Figure 6.3 : Situation de l'îlot P - Source : plaquette "Consultation architectes - promoteur pour un îlot démonstrateur Ilot P" - SPLA Lyon Confluence / Grand Lyon

Cette formulation fait écho à l'inscription du projet dans un partenariat conclu par le Grand Lyon en octobre 2010 avec le NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Agency), équivalent japonais de l'ADEME, dont le rôle est toutefois davantage orienté vers la diffusion internationale des technologies japonaises de l'énergie. Le partenariat, dénommé « *Lyon Smart Community* », a pour ambition de « faire de Lyon Confluence « le » quartier exemplaire en matière d'efficience énergétique » (Grand Lyon, 2012) et l'entreprise Toshiba est désignée par le NEDO pour y implanter ses technologies. Le programme consiste en une subvention de 50 M€ de l'agence japonaise qui se traduit par la prise en charge des dispositifs technologiques associés à trois opérations distinctes portant sur les véhicules électriques, les systèmes de suivi énergétique dans les logements et la réalisation d'un ensemble de bâtiments à énergie positive, ce dernier étant donc l'objet de l'appel évoqué plus haut.

Au terme de la consultation, à laquelle dix-sept équipes répondent en première phase et qui oppose quatre projets en seconde phase, c'est l'équipe menée par Bouygues Immobilier accompagné du cabinet d'architectes japonais Kengo Kuma et du bureau d'études Manaslu Ing. en tant qu'assistant à maîtrise d'ouvrage sur les questions d'énergie[131] qui remporte le concours avec la soumission du projet « Hikari ». L'équipe propose un ensemble de trois bâtiments dont on peut voir l'architecture proposée sur la Figure 6.4. Le partenariat entre le

[131] Ainsi que d'environnement et d'exploitation

NEDO et Bouygues Immobilier porte également sur la propriété des technologies. Bien que Toshiba explique n'être qu'« un modeste sous-traitant du NEDO sur le projet » (Directeur *Smart Community* de Toshiba France s'exprimant à un séminaire du PUCA, 26/01/2015), l'entreprise reste propriétaire des technologies financées par l'agence japonaise pour une durée de deux ans considérée comme le temps de la démonstration : « ils ne voulaient pas donner à Bouygues Immobilier du matériel. Parce que ce n'est pas leur vocation, ils ne sont pas là pour donner, pour faire des cadeaux. Du coup ils ont dit, on en reste propriétaires pendant la période de démonstration, qui est leur objectif de vérifier que la mise en œuvre et la vie du matériel est conforme à ce qu'ils avaient imaginé et ce pourquoi il a été financé par eux. Et du coup ils disent qu'au bout de deux ans ils peuvent le donner, mais pas à Bouygues Immobilier mais aux propriétaires » (Entretien avec le directeur des opérations d'immobilier d'entreprise région Rhône-Alpes, Bouygues Immobilier, 02/04/2015). Aussi, si le promoteur est « maître des choix techniques, de leur dimensionnement, de leur organisation » (*Ibid.*), il doit néanmoins mener un travail juridique spécifique pour que la cession des bureaux et des logements respecte cet engagement : « c'est un exercice imposé qu'on a choisi de relever » (*Ibid.*).

L'« exercice imposé » de l'inscription du bâtiment dans le partenariat *Lyon Smart Community* se transforme en outre en critère de choix au moment de l'appel à projets : la capacité du promoteur à travailler avec le NEDO est un critère pour le maître d'ouvrage, tout autant que « les aspects qui composent le bâtiment, l'architecture, leur performance énergétique » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

Figure 6.4 : Architecture du projet Hikari – Source : Bouygues Immobilier - Illustration Cyrille Thomas

Au total, les coûts de conception et de construction de l'îlot s'élèvent à 60 M€, les systèmes techniques énergétiques que nous décrivons dans la section suivante étant pris financièrement en charge par le NEDO. La construction est achevée début 2016 et les bureaux, logements et commerces sont presqu'entièrement commercialisés au moment de sa livraison. Notamment, les bureaux ont trouvé preneur en l'entreprise Deloitte (Bouygues Immobilier et Deloitte, 2014) : « c'est aussi une opération commerciale. Donc la collectivité, à ce titre, est ravie. Parce qu'on a fait un truc exemplaire qui est bien vendu. Si on avait fait un truc exemplaire vide ..! » (Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014).

Figure 6.5 : La façade est de l'îlot Hikari en avril 2015 – Photo prise par l'auteur - Avril 2015

Au terme de l'exposé de l'opération d'aménagement et du partenariat japonais, nous pouvons énumérer l'ensemble des acteurs qui jouent un rôle dans la conception énergétique de l'îlot et plus largement du quartier de La Confluence, ainsi que les relations qui les lient. La Figure 6.6 représente schématiquement cet ensemble.

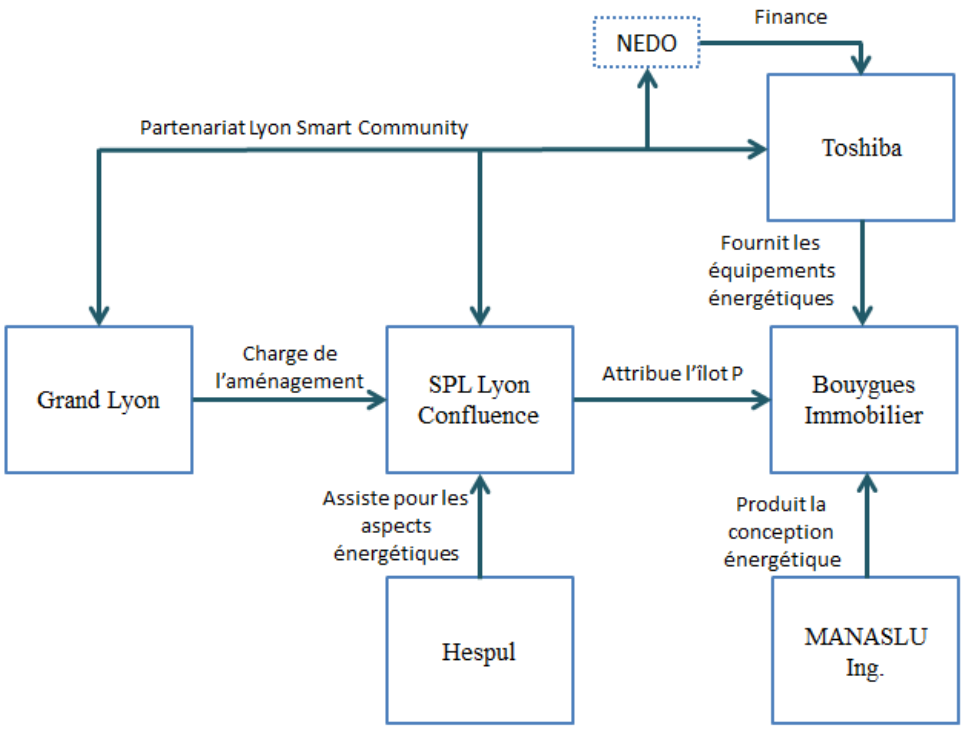


Figure 6.6 : Schéma récapitulatif des acteurs impliqués dans la partie "énergie" de la construction de l'îlot Hikari et de leurs relations – Réalisation personnelle

B. Le système énergétique de l'îlot

Les principes de conception et de fonctionnement du système énergétique de l'îlot Hikari reposent sur deux présupposés portés par deux acteurs différents. Nous l'avons vu, le principe du partenariat entre le NEDO et la SPL Lyon Confluence consiste en la réalisation d'un îlot « à énergie positive », ce qui implique en premier lieu l'existence de sources de production directement liées au bâtiment, que nous présentons dans une première section (1). Toutefois, cette caractéristique ne suffit pas à décrire le système : un principe de mutualisation énergétique, qui justifie que nous étudiions l'opération comme une synergie, est revendiqué par Bouygues Immobilier. Nous montrons ce que la notion recouvre pour le promoteur dans une seconde section (2).

1. L'ambition de l'énergie « positive »

Conformément aux prérogatives de la consultation lancée par l'aménageur, l'équipe de Bouygues Immobilier propose un système énergétique dont l'objectif est une production locale supérieure aux consommations des usagers de l'îlot, et ce pour tous les usages[132]. Au-

[132] Chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage et usages spécifiques de l'électricité (c'est-à-dire les appareils électro-ménagers et informatiques)

delà d'une conception bioclimatique des bâtiments qui doit permettre une optimisation des consommations de chaleur et de froid, deux sources de production énergétique locales sont considérées pour subvenir à l'ensemble de ces besoins. En premier lieu, une centrale à cogénération fonctionnant par la combustion d'huile de colza, donc de biomasse, répond aux besoins thermiques et produit également de l'électricité : « avec la cogénération, pour une année type sur les fiches météo norme, on doit fournir jusqu'à 97% de la chaleur, avec les usages qu'on a définis » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015). Les 3% de chaleur restant sont fournis par une chaudière à gaz classique. L'ensemble est distribué à l'ensemble des usagers de l'îlot. En outre, une importante capacité de stockage thermique y est associée, qui joue un rôle sur le dimensionnement des systèmes de production de chaleur (nous y revenons plus précisément dans la partie suivante de ce chapitre).

En second lieu, une « centrale photovoltaïque » d'une puissance maximale (puissance « crête ») de 190 kW composée de panneaux solaires photovoltaïques installés en toiture et en façade de l'ensemble des bâtiments vient compléter la production d'électricité (voir Figure 6.7 les panneaux en façade). Enfin, une machine à absorption permet la production de froid à partir de la chaleur provenant de la cogénération et de la nappe phréatique, pour les besoins des bureaux et des commerces.

Figure 6.7 : La "centrale solaire" en façade de l'îlot Hikari – Photo prise par l'auteur - Mai 2015

En plus des dispositifs de stockage thermique (cuves d'eau) évoqués plus haut, une batterie électrique fait également partie du système. L'ensemble (voir sa schématisation Figure 6.8)

vise à produire plus d'énergie que n'en est consommée au sein de l'îlot, selon un bilan cumulé sur la durée d'une année. Cependant, la définition des quantités d'énergie consommées est spécifique à l'opération, en raison de plusieurs demandes édictées par l'aménageur. En premier lieu, comme évoqué plus haut, les consommations entrant dans le bilan doivent correspondre à toutes les consommations réelles plutôt qu'aux seules consommations réglementaires que l'on trouve dans les moteurs de calcul habituels (chauffage, refroidissement, éclairage et eau chaude sanitaire). En second lieu, les simulations de ces consommations ne doivent pas être menées avec le moteur réglementaire, lié aux réglementations thermiques, mais avec des simulations dynamiques qui permettent une estimation plus fine et surtout qui prennent en compte les variations temporelles des besoins. Enfin, pour la conception du système de production, les coefficients d'énergie primaire sont fixés par la SPL plutôt que calqués sur ceux émis à l'échelle nationale par l'ADEME. Ceux choisis par l'aménageur sont construits pour inciter les preneurs de lots à concevoir des installations fonctionnant par la combustion de biomasse « puisqu'on a un coefficient 0.2 pour tout ce qui est biomasse et 3.2 pour l'électricité »[133] (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

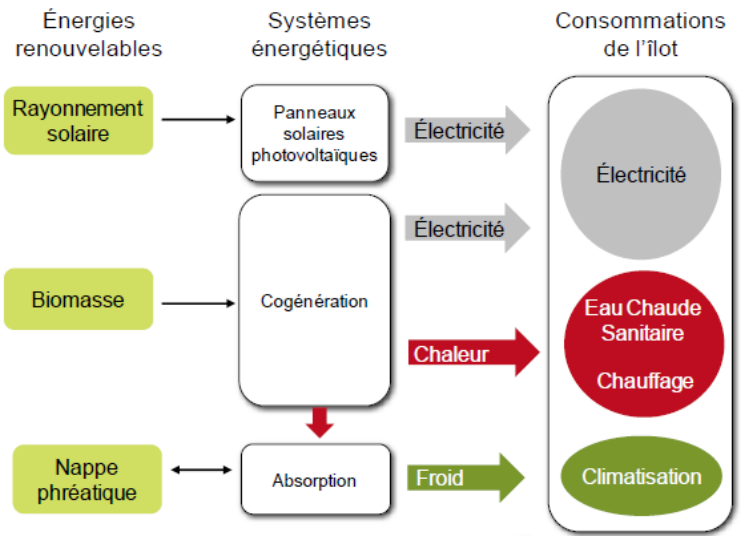


Figure 6.8 : Schématisation du système de fourniture énergétique à l'îlot – Source : présentation Bouygues Immobilier / Manaslu Ing.

[133] Ceci signifie que pour 1 kWh d'énergie finale consommée au sein de l'îlot, le système énergétique doit brûler 3.2 kWh de carburants pour produire de l'électricité contre 0.2 kWh de biomasse afin de tenir l'équilibre de l'énergie positive selon les critères de l'aménageur. L'idée est donc d'inciter très fortement à l'utilisation de la biomasse et de décourager celle de l'électricité (le coefficient réglementaire national pour l'électricité étant de 2.58).

2. La mutualisation comme principe de conception

La communication de Bouygues Immobilier autour du projet Hikari, très importante, met dès les débuts l'accent sur le concept de mutualisation. Ainsi, le directeur général délégué de l'entreprise, présente en 2012 dans une interview filmée[134] le projet en ces termes : « à Lyon, dans le cadre du Grand Lyon, sur Confluence, […] on a décidé de faire un îlot à énergie positive. Alors c'est quoi, c'est en fait trois bâtiments très, très mixtes dans leur verticalité dans leurs fonctions, c'est-à-dire qu'il y a du commerce, du logement et du bureau et on va mutualiser production et consommation avec un système de pilotage énergétique dans lequel on s'est associé à Toshiba et au NEDO, qui est l'ADEME japonaise. Donc là, on passe du stade de l'immeuble au stade de l'îlot ». La mutualisation des productions et des consommations à l'échelle de l'îlot est donc présentée comme principe fondateur du fonctionnement énergétique et intimement liée à la mixité des fonctions assignées aux différents bâtiments (voir également le support de présentation de l'îlot de Bouygues Immobilier Figure 6.9).

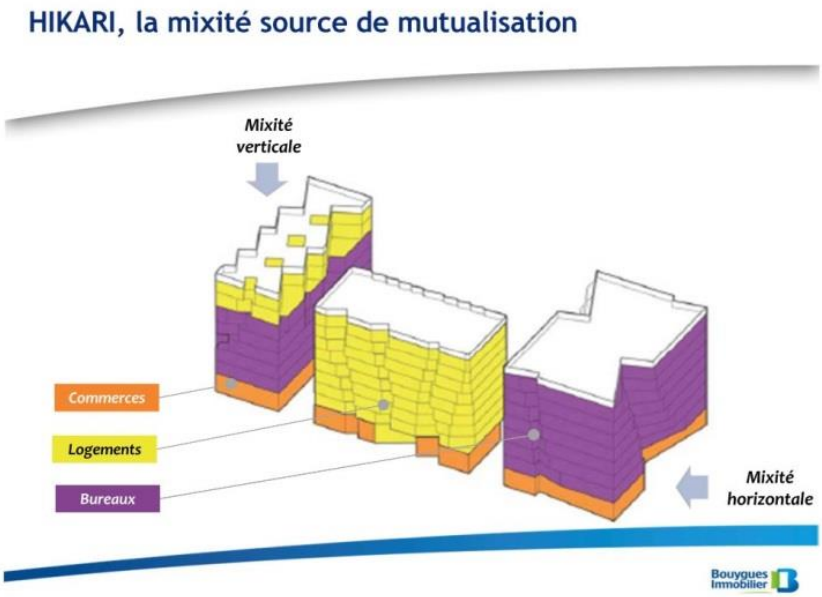


Figure 6.9 : Support de présentation de l'îlot Hikari – Source : Bouygues Immobilier

Associée aux dispositifs de stockage, la mutualisation permettrait, toujours d'après la communication du promoteur, une division par trois – sans que ne soit précisé par rapport à

[134] Intervention d'Eric Mazoyer sur la WebTV GreenTech Republic, 28/11/2012

quelle référence mais nous verrons toutefois plus loin ce que recouvre cette affirmation – de la puissance installée sur l'îlot pour la partie thermique. Dans les faits, elle consiste à concevoir un système énergétique « comme si » les trois bâtiments formaient un tout, au travers de l'agrégation des usages et des productions d'énergie sur l'ensemble des fonctions, comme schématisé Figure 6.10.

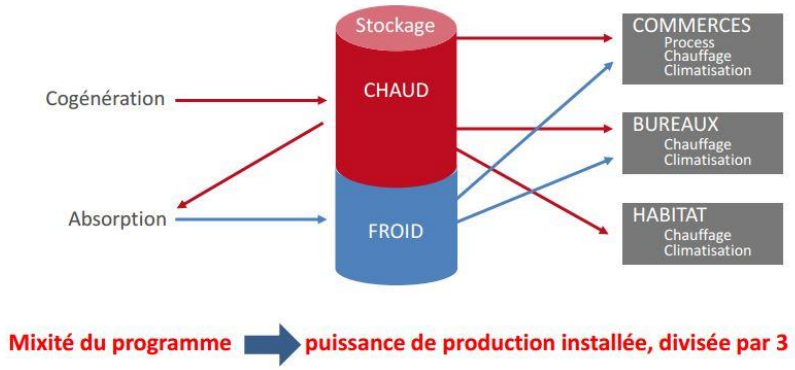


Figure 6.10 : Support de présentation de l'îlot Hikari – Source : Bouygues Immobilier

Le discours du promoteur fait donc ressortir comme un tout le choix de la mixité programmatique et la conception énergétique de l'îlot. Toutefois, la répartition des fonctions au sein du programme n'est pas de son ressort : c'est bien l'aménageur qui suit le plan masse général qu'il a conçu pour l'opération d'aménagement et cette contrainte fait donc partie des conditions auxquelles les promoteurs doivent se conformer. Comme nous l'avons vu dans la première section de ce chapitre, le choix de la mixité fonctionnelle au sein de La Confluence est une stratégie plus large présentée comme une réponse à des enjeux d'abord économiques et sociaux puis environnementaux, mais qui n'est pas directement liée au potentiel de mutualisation énergétique. La liaison présente dans le discours du promoteur entre le choix d'une mixité d'activités au sein de l'îlot et la construction de la synergie énergétique résulte ainsi d'un aplanissement du processus réel tel qu'il s'est déroulé. Ce point n'apparaît d'ailleurs pas propre au cas analysé ici et on constate plus largement que les acteurs de la production des systèmes énergétiques urbains, s'ils établissent un lien fort entre organisation des activités dans l'espace et potentialités d'échanges énergétiques, n'entendent pas avoir une influence sur cette dernière (voir Encadré 6.1).

Cependant, on constate que contrairement aux cas de Dunkerque et du Val d'Europe, la synergie n'est pas construite par la mise en lien *a posteriori* d'activités mais par l'imposition d'un rapprochement par leur installation au sein de l'îlot. La partie suivante de ce chapitre vise précisément à montrer comment les différents intérêts des acteurs se sont conjugués pour mener à l'émergence de ce système de mutualisation sans pour autant que les activités concernées par l'échange d'énergie ne soient impliquées dans le processus.

Encadré 6.1 – **Les acteurs de la production des systèmes énergétiques urbains et la construction des conditions spatiales de mise en synergie**

Au cours de notre enquête, chaque fois que la question des mutualisations et des échanges locaux d'énergie en milieu urbain a été évoquée, l'importance de la mixité des fonctions à l'échelle où l'on souhaite les mettre en œuvre a été mise en avant, tout autant que la difficulté à trouver un équilibre pour de tels échanges lorsqu'ils ne sont pas pensés en amont : « ce sont des systèmes de récupération ou de mutualisation […] qui marchent très bien quand on les prend très en amont, dès la conception des trucs. Mais quand on est sur de l'existant, c'est quand même très compliqué. C'est-à-dire que le bâtiment existe, il faut lui brancher des trucs en plus, refaire de la contractualisation, c'est très compliqué » (Entretien avec le Délégué Général de l'ALEC Plaine Commune, 03/11/2014). Les principes d'organisation de l'espace qui ne prennent pas en compte les possibilités de circulation d'énergie sont ainsi remis en cause, comme dans ce questionnement émis par un *think tank* du groupe Vinci : « remettra-t-on les usines et *data centers* en ville, rompant avec la tendance des 50 dernières années de séparation géographique ? » (La Fabrique de la Cité, 2014, p. 15).

Pour autant, les acteurs économiques portant une volonté de développement des synergies que nous avons interrogés, qu'ils appartiennent à la filière du développement urbain (incluant l'immobilier) ou de l'énergie, considèrent que les possibilités de synergies ne peuvent jouer dans les processus de programmation et de planification urbaines. Ils en seraient ainsi tributaires : « on ne vend jamais un *smart grid*[135] avant un quartier. Si le maire nous dit « je ne veux que du logement », on ne mettra pas de *smart grid* » (Entretien avec le responsable innovation énergie et *smart grids*, Bouygues Immobilier, 20/01/2016). « La programmation c'est d'abord une réponse aux besoins de la ville à cet endroit-là. Je vois mal tirer sur la programmation pour viabiliser ça. C'est plutôt l'inverse je pense. On ne fait pas de la promotion contre le marché. Enfin … c'est du risque avec un R majuscule. C'est du tertiaire qui se loue mal, voilà, du logement qu'ils n'ont pas ou qui se déprécie, enfin … c'est des bouclages qui ne se terminent pas. Et ça les acteurs de marché se doivent de ne pas faire exister des choses qui sont … » (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016).

[135] Chez Bouygues Immobilier, selon nos entretiens, les *smart grids* sont conçus comme des outils d'équilibrage des productions et consommations énergétiques entre des activités urbaines diverses et c'est pourquoi notre interlocuteur relie la notion à l'idée de mutualisation.

Une forme de réponse donnée à cette problématique, construite en particulier par le projet Ville Durable d'EDF, réside dans une tentative de jouer un rôle plus en amont du processus de production urbaine : « ce qui est certain, c'est qu'on sera tributaire de ce qui sera décidé avant mais le tout c'est d'être aussi positionné avant pour ne pas attendre à chaque fois la fin de la fin. C'est pour ça qu'on a développé toute cette gamme d'offres qui sont plutôt du conseil, c'est de l'assistance à maîtrise d'ouvrage. *Grosso modo,* ce sont des études qui permettent de vous projeter un petit peu dans l'avenir pour avoir une idée de à quoi ça pourrait ressembler si on utilise un petit peu mieux les ressources naturelles et puis si on travaille un petit peu mieux avec la mixité d'usage » (Entretien avec le responsable du développement du projet Ville Durable, EDF, 09/03/2015).

L'objectif de ces acteurs est donc, au plus, d'informer le processus de planification et de programmation des potentialités énergétiques du site en amont et, au moins, de concentrer leurs efforts sur les situations urbaines offrant une organisation spatiale adéquate pour le développement de synergies énergétiques. Dans tous les cas, l'intégration des possibilités d'échanges énergétiques locaux dans les activités-mêmes de planification et programmation urbaines ne fait pas partie de leurs stratégies. Nous retrouvons donc une relation similaire à celle observée chez les acteurs publics dans nos cas d'études ou relevée dans l'Encadré 4.3 et l'Encadré 5.4.

II. Une synergie comme moyen et non comme but : les îlots à énergie positive en perspective

Tout comme dans le cas du Val d'Europe, le caractère récent de la synergie nous a permis de retracer précisément les logiques qui ont mené à sa mise en œuvre. Sur l'échiquier des (nombreux) acteurs impliqués dans la conception de l'îlot Hikari, les intérêts pour la forme qu'il prend ne sont pas les mêmes. Plus précisément, nous pouvons au premier abord les qualifier de parallèles plus que de convergents, car nous verrons qu'ils touchent à des registres qui cohabitent et ne se rencontrent qu'à la marge. La première section de cette partie montre comment l'îlot s'inscrit pour l'aménageur et la collectivité dans une dynamique partenariale qui vise à faciliter le financement de la qualité énergétique et environnementale du quartier (A). La seconde met en exergue la stratégie d'entreprise du promoteur vers un dépassement de l'échelle du bâtiment, de laquelle l'îlot Hikari est l'une des premières matérialisations (B).

A. Des objectifs énergétiques inscrits dans des dynamiques partenariales

Comme nous l'avons rappelé dans la section précédente, et bien que Bouygues Immobilier le présente comme une ambition propre à l'entreprise, les objectifs en matière énergétique pour

l'îlot sont exprimés par l'aménageur dès la consultation des promoteurs. L'Ilot P est ainsi conçu comme un démonstrateur dont l'objectif est de préfigurer les futures réalisations de la phase 2 de l'opération d'aménagement (ZAC2) et de prendre part au partenariat engagé avec le NEDO. De manière générale, les ambitions portées par l'aménageur en matière d'énergie pour le quartier s'inscrivent dans une dynamique d'intégration successive dans des partenariats ou projets financés par des institutions publiques. L'ambition énergétique, qui se mélange souvent dans le discours à celle qui concerne les questions d'environnement ou de développement durable, évolue donc avec le temps de l'opération et au travers des contraintes et possibilités offertes par ces cadres d'action spécifiques.

Ainsi, l'opération est d'abord impliquée dans le programme européen Concerto lancé en 2003, dont l'objectif est de « soutenir des initiatives concrètes de communautés locales œuvrant en faveur d'une politique énergétique intégrée, combinant un recours substantiel aux énergies renouvelables avec des technologies et des organisations innovantes permettant de diminuer les consommations d'énergie et d'améliorer la qualité de vie des habitants » (Hespul, 2012, p. 4). Le projet Renaissance (Renewable ENergy Acting in SuStainable And Novel Community Enterprises), déposé conjointement par le Grand Lyon et la ville de Saragosse en Espagne, est retenu dans le cadre de ce programme. Il permet d'obtenir un financement pour la construction d'un ensemble de trois îlots – les îlots ABC – à haute performance énergétique. À de multiples reprises, les acteurs que nous avons interrogés expliquent que la stratégie énergétique du quartier s'est largement construite sous l'impulsion de ce projet et des fonds qu'il a permis d'assigner spécifiquement aux enjeux énergétiques.

> « On déteste les labels, et pourtant on en a une sacrée collection. Mais ce n'est pas ça qu'on est allé chercher. L'idée, le déclencheur, c'est 2004, c'est Concerto. Effectivement ce partenariat européen qu'on gagne à l'époque, en tête de consortium. On obtient pratiquement 4 millions d'euros pour nous permettre d'imposer des contraintes à des constructeurs et de leur financer les surcoûts. Quatre millions qui vont directement aux promoteurs privés, c'était inédit. »
>
> Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015

> « C'est grâce au projet européen, et c'est vrai qu'aujourd'hui, on voit … c'est les projets européens qui font qu'on a fait des efforts sur La Confluence au début. Et bon après, là c'est repris par la SPL et puis ils ont monté un peu leur image de marque à Confluence. Mais c'était pas dit au début, ça aurait pu complètement être loupé ce virage-là, s'il n'y avait pas eu l'impulsion de dire on fait Concerto, on fait des immeubles de construction

BBC à l'époque où ce n'était pas du tout dans les règlements, donc ça c'était une bonne impulsion. »

Entretien avec la responsable du Plan Climat, Métropole de Lyon, 28/05/2014

« Alors bon, c'est pas tout à fait les premiers mais nous on considère que c'est les premiers, les îlots ABC, sur lesquels on a eu des soutiens de l'Europe pour faire le projet Concerto qui a lancé un petit peu notre démarche. »

Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015

Ainsi, la démarche mise en œuvre pour l'îlot Hikari serait directement inspirée des expérimentations Concerto : « on a fait exactement la même chose sur les îlots Concerto ABC : cahier des charges, projet européen … et c'est pour ça qu'on a dupliqué la démarche sur l'îlot P » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015). Ces premiers îlots « déclencheurs » constituent trois ensembles de bâtiments basse consommation qui doivent consommer moins de 60 kWh/m²/an (la réglementation thermique en vigueur actuellement demandant une consommation de 50 kWh/m²/an pour les usages réglementaires mais celle de l'époque n'en préconisant aucune) et sont alimentés à 80% par des énergies renouvelables.

On constate qu'au moment de la conception du système énergétique, la question de la mutualisation entre ces trois îlots est abordée mais abandonnée (l'Encadré 6.4 présente un autre exemple de mutualisation abandonnée), comme il l'est détaillé dans le retour d'expérience très fouillé produit par Hespul sur le projet : « quand les calculs ont démontré que la puissance cumulée des trois îlots était inférieure à cette limite *[limite de puissance pour le passage de la chaufferie en installation ICPE]*[136], la SPLA a laissé aux promoteurs la possibilité de la mutualiser. Pour cela, il aurait fallu qu'un des promoteurs accepte d'installer la chaufferie dans son îlot. Ceci aurait supposé un remaniement des subventions européennes, une renégociation du prix du foncier et une synchronisation de la construction des trois îlots. De plus, la SPLA faisait face à une problématique jusqu'alors peu connue par les aménageurs : le montage juridique nécessaire pour construire des réseaux privés sur des terrains publics. Devant cette complexité, les promoteurs ont choisi d'installer chacun leur propre chaufferie et un mini réseau de chaleur à l'échelle de chaque îlot ».

[136] Le classement ICPE (Installation Classée pour le Protection de l'Environnement) entraîne réglementairement un suivi administratif beaucoup plus lourd de l'installation.

Aussi, la filiation faite entre les îlots ABC et le projet de l'îlot P n'est pas menée sur le registre de la mutualisation mais bien sur celui du bilan énergétique des bâtiments : « forts de *[l'expérience de Concerto]*, il y a eu une amélioration continue sur le neuf avec une surenchère au niveau de la qualité environnementale, avec des bâtiments à énergie positive au sens de la réglementation » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

Plus tard, suivant cette logique, en 2010, le quartier de la Confluence est labellisé quartier durable par l'ONG WWF. La SPL Lyon Confluence prend engagement auprès de l'association qui lui propose un plan d'action dont l'objectif est le « zéro carbone ». Ainsi, les émissions de CO_2 engendrées par le nouveau quartier doivent être les plus faibles possibles. En 2012, l'îlot Hikari est également sélectionné dans un autre projet européen selon cette même logique de bilan de flux : Next Buildings, qui vise à financer des projets démonstrateurs de bâtiments « zéro énergie ». La stratégie énergétique pour le quartier semble ainsi toute entière tournée vers la recherche d'un bilan annuel neutre.

Toutefois, au début de la décennie 2010, les réflexions sur la stratégie énergétique de l'opération sont relancées avec la préparation du lancement de la seconde ZAC : « au moment de l'enchaînement sur la réflexion de la ZAC2, donc on se trouve en 2010, c'est là où la rupture se fait. C'est-à-dire, c'est là où par rapport à ces démarches, cette coopération, c'est là où on se repose la question de se dire : mais qu'est-il possible, qu'est-il pertinent de proposer sur ce territoire, plutôt que d'additionner des bâtiments performants les uns aux autres ? » (Le directeur de la SPL Lyon Confluence s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement 06/10/2015). L'idée est alors de poursuivre les efforts engagés, dans une même dynamique de partenariats et de démonstration. À la même période, une délégation lyonnaise se déplace au Japon pour faire la promotion du territoire et propose à un représentant de la SPLA de venir présenter le projet d'aménagement et ses enjeux énergétiques, notamment pour convaincre des entreprises japonaises d'y investir dans l'énergie photovoltaïque.

> « En fait c'est une opportunité qui est arrivée à un moment, au bon moment. C'est-à-dire que moi j'ai rencontré les gens de l'Aderly *[Agence pour le développement économique de la région lyonnaise]* qui préparaient une tournée au Japon. L'avantage c'est qu'ils ont une agence à Tokyo et ils venaient voir le projet Confluence, c'est moi qui les ai reçus justement sur la question de la production photovoltaïque. En disant, vous avez l'air de pas mal produire, il y a beaucoup de boîtes japonaises qui produisent des panneaux, qui sont férues de technologies et qui sont positionnées sur le marché,

> donc faites-moi un petit *brief* de ce qui se passe sur le quartier, pour éventuellement intéresser des entreprises japonaises, pour qu'elles se rendent compte. […] Le marché japonais est un peu limité, avec concurrence de la Chine, donc il faut qu'ils fassent fonctionner au maximum leur export et en particulier avec l'Europe. Et donc ils cherchaient une tête de pont en Europe pour connaître le marché, comprendre les enjeux, les envies, les besoins, les contraintes administratives, techniques, financières, enfin tout quoi. »
>
> Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015

La délégation lyonnaise rencontre au Japon le NEDO qui voit en La Confluence une opportunité de pénétrer le marché européen des « quartiers durables ». L'agence s'enquiert auprès de la SPLA et du Grand Lyon des projets qu'ils aimeraient voir financer sur le quartier. L'aménageur propose alors, en particulier, l'îlot P, dans lequel il voit l'opportunité de préfigurer les futures réalisations de la ZAC2 en une localisation emblématique : « il est vraiment au carrefour entre le cours Charlemagne, la place nautique, l'esplanade François Mitterrand donc il est extrêmement visible. Il fait le lien entre les deux quartiers donc symboliquement ça nous intéressait d'en faire un bâtiment très performant et que ça se sache et que ça se voit, et que ça soit utile pour le reste » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

Le NEDO lance alors en 2011 un appel d'offre à destination des entreprises susceptibles de porter une offre japonaise dans différents pays (dont le Japon) pour construire des démonstrateurs de « *Smart Communities* » (Leprêtre, 2015). Cette initiative vise à montrer la capacité des entreprises japonaises à construire des ensembles urbains dont le fonctionnement s'appuie fortement sur les technologies de l'information et de la communication : « c'est une stratégie qu'ils ont régulièrement. Alors ils font ça au Japon, et ils font ça aussi à l'international, donc ils mettent 50 millions d'euros sur la table, ils sortent des opérations, ils financent ça et du coup ça permet aux entreprises de se positionner, de créer des marchés, de comprendre des marchés. […] Ce n'est pas le même niveau d'investissement que l'ADEME, et puis surtout derrière, c'est le ministère de l'industrie qui est hyper puissant au Japon évidemment. Donc voilà c'est un truc qui est quand même très, très puissant » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

Suite à la visite lyonnaise au Japon, le quartier de La Confluence est donc pressenti pour être l'un des démonstrateurs les plus importants en dehors du Japon : « c'est le plus gros projet international du NEDO dans le monde. Il y en a d'autres, en Espagne, en Angleterre, un peu

plus petits » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015). Toshiba entre dans la compétition et la remporte pour ce quartier, montrant un double intérêt pour l'opération : d'une part, l'entreprise entend par-là démontrer sa capacité à produire des technologies qui puissent s'inscrire dans le fonctionnement urbain et, d'autre part, elle profite de l'expérimentation de La Confluence pour communiquer en France sur sa capacité à innover.

> « Toshiba est une entreprise japonaise. Ça, je ne vous apprends rien. Qui s'intéresse aux *Smart Communities*. Là, peut-être que je vous apprends quelque chose. Ce n'est pas forcément évident *a priori*. […] C'est juste pour dire que Toshiba, ça ne fait pas que des instruments et des PC, ça s'intéresse aussi à l'énergie et aux *Smart Communities*. […] L'intérêt du groupe c'est effectivement de pouvoir avoir une vitrine sur Lyon. »
>
> Directeur *Smart Community* de Toshiba France s'exprimant à un séminaire du PUCA, 26/01/2015

L'entreprise voit ainsi avant tout dans l'îlot un démonstrateur technologique. Le discours autour de l'importance de l'intégration de technologies innovantes pour parvenir à l'efficacité énergétique dans l'îlot que l'on retrouve dans l'appel à manifestation de l'aménageur est donc la conséquence directe de ce partenariat international : il s'agit bien de mettre en avant les technologies japonaises sélectionnées par le NEDO dans le cadre du financement. En effet, l'intérêt propre à l'aménageur pour l'opération ne porte pas tant sur le système énergétique en lui-même que, à la suite de l'engagement auprès de WWF et du programme Concerto, sur le bilan énergétique de l'îlot : il s'agit de faire la démonstration de la possibilité de produire un ensemble à énergie positive et d'aller dans le sens du « zéro carbone ». Ainsi, du point de vue du maître d'ouvrage, peu importent les technologies ou principes mis en œuvre pour y parvenir, comme l'explique son assistant pour les questions d'énergie : « il y a plutôt une obligation de résultat dans les cahiers des charges de la SPL que de moyen. Le résultat c'est d'avoir un bâtiment qui consomme peu, un bâtiment à énergie positive […]. Il y avait cette exigence d'être à énergie positive, et après c'est vraiment au promoteur de choisir les moyens pour atteindre ce résultat » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015).

Néanmoins, l'un de ces moyens est imposé par l'aménageur : les équipes qui participent à la consultation doivent être composées, de manière classique, d'un promoteur et d'un architecte, mais aussi, de façon moins classique, d'un bureau d'études « énergie et réseaux intelligents ». Lorsque la consultation de ces équipes de maîtrise d'œuvre est lancée en 2011, ces dernières

doivent donc faire la preuve qu'elles sont capables, avec la participation de Toshiba, de construire un ensemble de bâtiments qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme annuellement. Nulle part la notion de mutualisation ne fait partie de l'équation à ce stade.

De la même façon, l'intérêt pour la mutualisation n'apparaît pas du côté des preneurs. Si l'ensemble des bureaux, commerces et logements ont rapidement trouvé acquéreurs, c'est, selon les acteurs observateurs du développement immobilier local, avant tout pour des raisons extérieures aux enjeux énergétiques : « Hikari il n'aura aucun problème à être commercialisé, il y a déjà des prospects. Parce que là on est sur des enjeux, au-delà de l'énergie … c'est un bâtiment qui est hyper bien connecté, qui a la particularité d'être en mixité fonctionnelle […] et puis vous êtes dans une localisation, voilà qui est à côté de la gare, celle de Confluence et donc il a un emplacement vraiment idéal. Donc voilà c'est un outil de commercialisation » (Entretien avec le responsable implantation et immobilier d'entreprises à la Métropole de Lyon, 28/05/2014).

Le fonctionnement énergétique de l'îlot n'apparaît toutefois pas totalement étranger à la facilité avec laquelle les bâtiments sont commercialisés, tout particulièrement pour la partie des bureaux, mais principalement pour des questions de labellisation qui ont peu à voir avec le principe de mutualisation, ou bien même avec l'énergie positive : « maintenant toutes les opérations répondent à des critères, sans dire à énergie positive, mais BBC, au label qualité environnementale, et ça correspond vraiment à la norme de demande des entreprises. […] c'est-à-dire que maintenant c'est inimaginable qu'on ait dans des opérations significatives en matière tertiaire qu'un immeuble ne soit pas labellisé à faible dépense d'énergie » (Entretien avec le responsable implantation et immobilier d'entreprises à la Métropole de Lyon, 28/05/2014), « les normes sont plus contraignantes et donc du coup maintenant, un investisseur, si l'immeuble n'a pas au moins un label HQE ou BBC, c'est compliqué d'investir » (Entretien avec une chargée de mission implantation des entreprises et immobilier d'entreprise à la Métropole de Lyon, 26/05/2014). Bouygues Immobilier fait d'ailleurs également référence à cette évolution pour justifier son choix de s'intéresser aux questions énergétiques : « on rentre plus maintenant dans une demande de nos clients, d'abord les bureaux, et après les logements je pense, d'engagements de performance du bâtiment. Si je prends un exemple tout simple, avant on prenait la chaudière qui coûtait le moins cher, on s'en foutait de la performance de la chaudière derrière, maintenant on change un peu de fusil d'épaule. On se dit, si ça ne nous coûte pas cher au moment de l'installation, ça va nous

coûter cher donc c'est un mauvais calcul » (Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014).

La double caractéristique de l'îlot Hikari (localisation et bilan énergétique) est en outre reprise explicitement dans le discours de justification du choix d'implantation par l'entreprise Deloitte, l'un des premiers preneurs d'une partie de l'îlot : « notre emménagement au sein de l'îlot à énergie positive Hikari nous permettra d'installer notre direction régionale et les 350 collaborateurs de nos activités […] au sein d'infrastructures innovantes, durables et responsables. Notre positionnement au cœur de ce quartier de demain confirme le dynamisme de notre firme et de nos équipes en région Rhône-Alpes, au service de nos clients » (Gérard Badin, associé et directeur des activités de Deloitte pour la région Rhônes-Alpes, dans un communiqué de presse).

En définitive, autant le maître d'ouvrage que les preneurs s'intéressent au bilan énergétique de long terme et à l'image renvoyée par les bâtiments mais pas au système de production et de distribution qui permet de l'obtenir. Nulle part la notion de mutualisation n'entre en jeu pour ces acteurs. On observe ainsi une différence fondamentale avec les cas de Dunkerque et du Val d'Europe, puisqu'ici les acteurs publics impliqués dans l'émergence de l'opération, c'est-à-dire la collectivité et son aménageur, ne manifestent pas d'intérêt pour la synergie *a priori*. Ils ne font qu'en créer le cadre en contraignant à l'installation de systèmes de production pour garantir un certain équilibre local.

B. Du bâtiment à l'îlot : le quartier en perspective

Comme nous l'avons montré dans la première partie du chapitre, la mutualisation est pourtant revendiquée comme un principe fort dans la conception du système énergétique de l'ensemble par Bouygues Immobilier. Puisqu'elle ne provient pas d'une commande de l'aménageur, il nous faut nous tourner vers la stratégie de l'entreprise en elle-même pour comprendre l'usage de ce principe.

La première des réponses que l'on peut apporter à ce choix est celle d'une prise en compte de la part du promoteur de l'usage croissant de la notion de mutualisation par les acteurs institutionnels, démontrée au premier chapitre de cette thèse, dont ceux qui influent sur les futures réglementations qui s'appliquent à l'activité des promoteurs immobiliers : « on parle énormément de mutualisation, que ce soit de l'électricité, des énergies, des systèmes de production. Et nous, on est forcément un petit peu avec une oreille très tendue sur tous ces

sujets-là, parce qu'on aime être sur des sujets d'innovation, on aime être un peu précurseurs dans ces domaines-là et on a envie de le rester » (Entretien avec une chargée de maîtrise d'ouvrage technique, Bouygues Immobilier, 09/10/2014).

Toutefois, cette première lecture n'épuise pas la relation de la stratégie de l'entreprise à cette notion. Lorsque Bouygues Immobilier communique sur l'îlot Hikari, deux autres opérations sont souvent également présentées : IssyGrid et Innovéa (cette dernière est présentée succinctement dans l'Encadré 6.3 et nous y faisons à nouveau référence plus loin en raison de ses nombreux points communs avec l'îlot Hikari). L'ensemble a pour objet de démontrer la capacité du promoteur à développer un certain type d'offres pour lesquelles il a déposé la marque « UrbanEra » : derrière ce nom, se trouve l'idée d'un changement d'échelle, qui passe du bâtiment à des ensembles qui pourraient aller jusqu'au quartier, au sein desquels on trouverait une forte mixité fonctionnelle et des services associés (voir Figure 6.11). Notons bien par ailleurs que l'émergence de cette stratégie commerciale chez le promoteur n'apparaît pas comme un fait isolé au sein des acteurs du bâtiment, comme en rend compte l'Encadré 6.2.

Figure 6.11 : L'approche UrbanEra – Source : support de présentation Bouygues Immobilier

Encadré 6.2 – **Des stratégies foisonnantes de dépassement de l'échelle du bâtiment : BEPOS 2.0, TEGPOS et « solidarité énergétique »**

Au sein des discours d'acteurs travaillant usuellement à l'échelle du bâtiment, on observe récemment l'émergence de critiques de la notion de Bâtiment à Energie Positive qui se traduisent par une promotion de diverses formes de mutualisation. Ainsi, à l'Institut Français pour la Performance Energétique du Bâtiment (IFPEB) qui regroupe des acteurs privés de l'immobilier, de la construction et de l'énergie[137], se développe la notion de BEPOS 2.0. Celle-ci fait référence au caractère communiquant des bâtiments que l'institut appelle à développer. L'expression consacrée pour les définir est celle de « bâtiment à énergie et puissance optimisée et solidaire 2.0 » (IFPEB, 2016). Dans l'acception de l'institut, la solidarité fait référence à une série de caractéristiques, au premier rang desquelles se trouvent les « échanges locaux, lorsqu'il est avéré la complémentarité des bâtiments et la possibilité technique de ces transactions (organisation de mutualisation et solidarité énergétique, mixité d'usage à la maille du quartier) » (IFPEB, 2016, p. 20). Il est donc bien question ici d'introduire des synergies énergétiques à partir de l'objet bâtiment. L'un des objectifs affichés de la démarche est en particulier de permettre l'optimisation de la puissance énergétique installée au sein des bâtiments, sujet derrière lequel on trouve une logique économique forte : « le bilan de puissance maintenant n'est même plus un luxe, c'est quelque chose qui vous permet de faire des économies » (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016).

La notion de solidarité appliquée à l'énergie se retrouve en outre dans la communication d'un autre promoteur. Forgée par Eiffage[138] dans le cadre du programme de recherche Phosphore mené par l'entreprise à partir de 2007 (Eiffage, 2014), l'expression « solidarité énergétique » est en effet utilisée pour expliciter un principe de dépassement de l'échelle du bâtiment pour penser la performance énergétique en « mutualis[ant] et équilibr[ant] les productions et consommations à l'échelle de l'îlot » : « chaque bâtiment, selon sa nature, sa dimension et son orientation, présente un profil et un potentiel différents en matière de performance énergétique. […] Les équipes de Phosphore ont choisi d'écarter l'approche individuelle, jugée contreproductive, au profit d'une démarche systémique de solidarité énergétique ».

De la même manière, on trouve une idée de communication entre bâtiments, sur le plan de l'énergie, dans la vision du Plan Bâtiment Durable (Maisetti *et al.*, 2014) qui la relie toutefois à la question des réseaux, montrant ainsi que ces perspectives ne sont pas imperméables : « les différentes échelles – le bâtiment, le quartier, puis les territoires niveau national, et au-delà, les grands réseaux au niveau européen – communiqueront et permettront une optimisation énergétique, tant sur le plan économique, sur le plan de la régulation (stockage et production), et sur le plan de la sécurisation de l'approvisionnement énergétique » (Plan Bâtiment Durable, 2013).

[137] L'institut mène des études et des projets partenariaux pour « mettre en œuvre, grâce à la connaissance opérationnelle, les moyens d'une transition énergétique et environnementale ambitieuse et efficace pour l'immobilier et la construction *compatible avec le marché* » (site de l'institut, consulté la dernière fois le 01/08/2016).
http://www.ifpeb.fr/qui-sommes-nous/missions-et-objectifs/

[138] Le promoteur a déposé le concept sous forme de marque.

Enfin, on trouve une perspective similaire chez le bureau d'études Franck Boutté Consultants, du nom de son directeur, dont les réflexions sur la conception énergétique sont fréquemment convoquées par divers acteurs de la production des systèmes énergétiques urbains[139]. Spécialisé dans la conception et l'ingénierie environnementale, le bureau d'études développe le concept de TEGPOS, Territoire à Energie Globale Positive[140] : « il y a un sujet qu'on porte beaucoup et qu'on essaye de diffuser, qui est que le BEPOS ce n'est pas intéressant, ce n'est pas l'échelle intéressante » (Entretien avec un chef de projet (1), Franck Boutté Consultants, 10/10/2014). La notion est ainsi construite pour, en particulier, inciter à « réfléchir à la manière de localiser les bâtiments pour que le surplus des uns profite aux autres, étant entendu que tous n'ont pas le même usage, et non, comme l'incite à le faire le BÉPos, à rechercher à tout prix à les rendre performants » (Atelier énergie et territoires, 2015). De la même manière, au sein du projet Ville Durable d'EDF, qui a pour objectif d'accompagner les collectivités dans la mise en œuvre de stratégies énergétiques à différentes échelles, on revendique une approche qui dépasse l'échelle du bâtiment afin de « déterminer […], par rapport aux configurations des bâtiments, quels seraient les systèmes énergétiques un peu vertueux et optimisés qu'on pourrait mettre en place pour éviter que chaque bâtiment soit totalement autonome ou vivant en autarcie et où on soit obligé de dupliquer à chaque fois des solutions énergétiques alors qu'on pourrait faire jouer une certaine synergie de ces systèmes énergétiques » (Entretien avec le responsable du développement du projet Ville Durable, EDF, 09/03/2015).

En définitive, les discours relevés ici nous permettent d'avancer que la stratégie de Bouygues Immobilier analysée dans ce chapitre n'est pas isolée chez les acteurs privés qui participent à la production urbaine : la volonté de dépasser l'échelle du bâtiment pour optimiser l'efficacité des systèmes énergétiques au travers de diverses synergies se retrouve chez d'autres acteurs qui développent des concepts et des méthodes pour mettre ces échanges en œuvre ou pour en promouvoir le développement.

Dans le cadre de cette offre, l'entreprise développe un argumentaire très travaillé qui touche à deux registres principaux : la question du financement des services urbains, que, selon le promoteur, les collectivités souhaiteraient voir plus largement pris en charge par des acteurs privés et la question de l'échelle à laquelle de tels services peuvent trouver leur équilibre économique.

[139] Ainsi, le directeur s'exprime longuement dans une revue en ligne d'EDF (Atelier énergie et territoires, 2015), présente son concept à la clôture des Assises de l'économie circulaire de la Ville de Paris ou le voit intégré au vocabulaire utilisé par le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA, 2011).

[140] À ne pas confondre avec les Territoires à Energie Positive pour la Croissance Verte (TEPCV) de l'appel à projets lancé par le Ministère du Développement Durable en 2015 qui visait à encourager les collectivités à s'engager dans des actions liées à la transition énergétique sur divers axes. Voir la page de l'opération sur le site du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (consultée la dernière fois le 12/10/2016) : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Un-territoire-a-energie-positive.html

> « *[Un]* mouvement qu'on est en train de faire, c'est de passer du bâtiment au quartier. […] Il y a plusieurs facteurs. D'abord les collectivités n'ont plus d'argent. Elles vont avoir encore moins d'argent l'année prochaine parce que les dotations qui représentaient 25% de leur budget vont disparaître, les dotations de l'Etat. Mais par contre ils ont toujours des projets, des demandes de développement sur leur territoire. Donc, ils ont compris un truc, c'est qu'il y a un certain nombre de services qui peuvent être financés par les promoteurs privés, les opérateurs privés. Nous on leur dit, d'accord, mais on ne peut pas faire ça, on ne peut pas trouver un modèle économique sur un bâtiment de 20 logements, le modèle économique de ces services mutualisés […] on sait le faire sur un quartier entier. […] Donc c'est pour ça que de plus en plus, nous dans nos consultations avant on avait à peine 10% de consultations sur des quartiers, maintenant on est passé à 30%. »
>
> Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014

L'emphase sur la question de l'énergie viendrait alors d'une nécessité de prouver la capacité de ces quartiers où des flux d'énergie seraient produits à les autoconsommer (dans le sens que nous avons défini dans le premier chapitre de cette thèse), notamment dans une tentative de démonstration vis-à-vis des acteurs des réseaux.

> « Quand vous redensifiez une ville, si vous ne faites pas un effort sur sa consommation, ça pose des problèmes à tous les concessionnaires, que ce soit le chauffage collectif s'il y en a, que ce soit même ERDF, quand vous amenez 1650 logements au milieu d'un quartier résidentiel et que le réseau n'était pas dimensionné pour ça, il y aura intérêt à faire des efforts, sinon pour ERDF c'est d'une complexité sans nom, il faut re-tirer des réseaux en amont. C'est pour ça qu'on se concentre beaucoup sur la partie énergie. […] On a dit, il faut qu'on fasse bouger les lignes et qu'on montre à toutes les parties prenantes, ERDF et EDF y compris, qu'en faisant un quartier à énergie positive, entre guillemets, qu'on peut autoconsommer ce qu'on produit, on ne va pas mettre la pagaille sur le réseau, on ne veut pas faire leur métier. »
>
> Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014

C'est ici que l'intérêt de la mixité fonctionnelle entre en jeu pour le promoteur, au travers des principes de mutualisation qui tirent parti du foisonnement, que nous avons évoqués dans le premier chapitre, pour permettre une optimisation de la puissance qui évite les interactions avec le réseau centralisé : « je prends l'exemple d'un immeuble *[de bureaux]*, on produit de l'énergie solaire et on la remet dans le réseau, parce que c'était l'époque où le rachat par EDF était super intéressant. Mais quand on prend … c'est une aberration complète parce qu'au lieu d'autoconsommer sur le bâtiment, on renvoie dans le réseau qui n'est pas prévu pour. Ça circule dans les … donc ERDF est obligé d'adapter son réseau donc c'est du grand n'importe

quoi » (Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014).

> « Le vrai sujet, c'est de regarder au niveau de la ville, et de profiter de la mixité urbaine pour traiter globalement des bâtiments qui ne vont pas consommer au même moment. Le potentiel d'optimisation se trouve là. Si on part de cette première maille, par exemple un bâtiment de bureaux avec du photovoltaïque, en sachant que le week-end, sauf activité spécifiques, il n'y a personne au bureau, que fait-on de cette énergie photovoltaïque ? On pourrait se dire « Je la balance sur le réseau puis c'est le problème d'EDF ». Il nous semble plus intelligent de nous dire : « Regardons, déjà, localement, s'il n'y a pas des habitats qui auraient des besoins locaux ». On doit pouvoir créer un premier niveau d'optimisation locale pour avoir une courbe de consommation la plus lisse possible, ce qui a de la valeur en termes de modèle économique. Un bâtiment qui consomme tout le temps la même chose ou un bâtiment qui est en permanence en train d'osciller, en termes d'impacts énergétique, écologique, et donc économique, ce n'est pas du tout la même chose. »
>
> Responsable innovation, Bouygues Immobilier, s'exprimant à un séminaire du PUCA, 22/10/2014

L'intérêt de la mutualisation pour Bouygues Immobilier, réside donc dans la possibilité de faire la preuve que la construction d'un morceau de ville à la fois consommateur et producteur peut être menée sans qu'il n'y ait une forte incidence sur le fonctionnement conventionnel des services énergétiques. Cette logique n'est d'ailleurs pas réduite à la question de l'énergie dans le discours du promoteur, comme en atteste la représentation graphique de l'offre UrbanEra visible Figure 6.11. Par exemple, la question du stationnement est évoquée suivant les mêmes principes[141] : « quand on fait des quartiers mixtes, on essaie de mutualiser énormément de choses pour en baisser le coût. Donc on mutualise les parkings. Le parking c'est pareil » (Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014).

[141] Notons par ailleurs que si la notion de mutualisation apparaît bien dans le discours de l'aménageur relativement à la conception de l'opération d'aménagement, elle est également rapportée à la question du stationnement et non à celle de l'énergie. Ainsi, peut-on lire dans le glossaire de l'opération d'aménagement présenté par la SPL Lyon Confluence sur son site web (http://www.lyon-confluence.fr/fr/glossaire/ - consulté la dernière fois le 15/09/2016) la définition suivante de la « mutualisation » : « répartition de l'usage d'équipements ou de biens entre différents groupes d'individus. La mutualisation est différente du partage dans la mesure où elle permet à chaque groupe, selon des modalités définies (temporelles par exemple) de bénéficier de l'ensemble du bien ou de l'équipement. À La Confluence, la mutualisation est un principe qui concerne notamment deux parkings mutualisés entre différents utilisateurs (salariés, habitants, visiteurs, commerçants) ». Il est alors intéressant de constater que le principe de mixité se retrouve à nouveau associé à la notion. En outre, on retrouve également la notion de foisonnement associée au sujet, comme l'explique le CERTU (Centre d'Etudes sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme – ancien nom du CEREMA) (Certu, 2010) : « la Collectivité peut faire jouer le foisonnement et la complémentarité entre les demandes de stationnement : commerces et bureaux, par exemple, n'ont pas leur pointe de génération les mêmes jours dans la semaine ». Ainsi, on constate que les analyses menées ici sur l'énergie peuvent être transposées à d'autres types de services.

Le discours et l'ambition du promoteur sont donc tout entier tournés vers le quartier ou la ville, qui tranchent avec l'échelle de l'îlot à laquelle la mutualisation est effectivement mise en œuvre dans le cas d'Hikari. L'entreprise s'en explique de deux manières, dont l'une est d'ailleurs reprise par d'autres acteurs impliqués dans le projet. Le premier argument donné est celui d'un processus en plusieurs phases, l'îlot privé étant la première étape : « vous savez, nous, on est des industriels, on appartient à un conglomérat industriel donc on y va pas à pas. […] Donc là on passe du stade de l'immeuble au stade de l'îlot. On n'est pas encore au stade du quartier, parce qu'il n'y a pas de public là-dedans, pour l'instant on est sur un îlot privé. Mais les bâtiments vont se parler entre eux » (Eric Mazoyer, directeur général délégué de Bouygues Immobilier, au cours d'un entretien filmé par la WebTV GreenTech Republic, 28/11/2012).

Le second argument, repris autant par Bouygues Immobilier que par Toshiba et la SPL ne se place quant à lui pas dans le registre de la stratégie choisie mais dans celui de la contrainte : « on a aujourd'hui juste une contrainte réglementaire qui est qu'ERDF qui a le monopole de la distribution en France, n'autorise pas à faire des échanges en traversant l'espace public. […] Donc on attend avec impatience que ça se dérégule en France ! » (Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014).

> « Je ne sais pas aujourd'hui traverser Hikari et un Hikari bis s'il y a une route publique. Si on doit traverser une voirie, légalement les immeubles ne savent pas communiquer. Donc d'avoir un gigantesque quartier qui permettrait de mutualiser les énergies entre bureaux et logements qui ne fonctionnent pas au même moment, on ne sait pas aujourd'hui faire communiquer. »
>
> Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015

Ainsi, Toshiba met en avant le fait que les systèmes techniques que l'entreprise développe ne sont en rien responsables de cette limitation à l'échelle de l'îlot : « aujourd'hui faire de la solidarité énergétique au niveau d'un quartier, c'est pas organisé comme ça. […] Bouygues aurait bien aimé qu'on puisse faire ça, mais aujourd'hui c'est difficile à organiser. Donc on essaye déjà de démontrer qu'à l'îlot, au niveau d'un micro-îlot privatisé c'est possible. Après le cadre de sa généralisation sur l'espace public pose des questions réglementaires et non pas technologiques. Le système serait capable de pouvoir gérer ça à l'échelle d'un grand quartier, voire d'une ville, d'ailleurs c'est ce qu'on fait à Yokohama. Parce que là apparemment le

cadre réglementaire le permet » (Directeur *Smart Community* de Toshiba France, s'exprimant à un séminaire du PUCA, 26/01/2015).

Ainsi, on observe dès l'initiation du projet un attrait pour un dépassement de l'échelle effective de la synergie, contrairement aux cas de Dunkerque et du Val d'Europe pour lesquels des réflexions de la sorte ne sont envisagées que dans un second temps, pour répondre à des dynamiques métaboliques ou économiques jugées problématiques. En somme, nous comprenons que l'émergence de la synergie à l'échelle de l'îlot provient de la conjonction de deux stratégies dont la première crée le cadre de mise en œuvre de la seconde. D'abord, le maître d'ouvrage du quartier de La Confluence construit progressivement une stratégie visant une neutralité locale du bilan énergétique, en particulier par des partenariats publics et privés. Ensuite, le promoteur saisit cette opportunité pour mettre en œuvre et communiquer sur un principe de mutualisation qui vise à faire la preuve de sa capacité à construire des morceaux de ville, autonomes et performants, en particulier sur le plan énergétique, selon une idée d'optimisation de la puissance par un lissage des flux au travers d'une complémentarité entre leurs différents usages. Nous verrons dans ce qui suit que si cette différence dans les registres d'argumentation n'entraîne pas de conflit propre au moment de la conception de l'îlot, elle n'est pas sans incidence sur l'équilibre énergétique plus large du quartier et sa prise en charge par l'aménageur.

III. Quand tous les flux ne se valent pas : interdépendances thermiques et électriques à l'échelle de l'îlot et du quartier

Un point commun que l'on retrouve dans les discours des acteurs de la production de l'îlot révélés jusqu'ici est leur concentration sur les questions de flux (énergie positive, lissage). Pourtant, on constate que, matériellement, les effets de la mutualisation ne sont qu'à la marge d'ordre métabolique. En effet, la conception concrète du système par le bureau d'études associe à la mutualisation un potentiel d'optimisation avant tout technique qui ne correspond pas à la publicisation qui est faite du programme, comme nous le montrons dans une première section (A). Dans une seconde, nous expliquons que, en conséquence, la mutualisation du système énergétique se traduit principalement par des interdépendances liées au partage d'un système de production de chaleur, qui se matérialisent autant dans l'organisation spatiale de celui-ci que dans la création d'une structure juridique dédiée à la gestion du système (B). Enfin, dans la dernière section, nous montrons qu'autant les interdépendances liées à la production de chaleur que l'absence d'interdépendance à l'échelle de l'îlot pour le cas de

l'électricité sont mises en cause par certains acteurs qui réprouvent les formes d'équilibres ainsi obtenus au regard d'autres objectifs à l'échelle du quartier (C).

A. La mutualisation comme optimisation technique plus que métabolique

Lorsque l'on interroge le concepteur du système énergétique (Manaslu Ing.) sur la question de la mutualisation, c'est la question de la production thermique qui est traitée en premier lieu (nous verrons plus loin qu'il existe une explication très concrète à cela). Conformément à ce qu'annonce le promoteur, la mise en commun des usages entre des activités diversifiées apparaît comme un vecteur d'efficacité pour le système thermique de l'ensemble, cependant davantage pour le fonctionnement technique des machines qu'à travers l'équilibrage entre les différents usages au cours du temps revendiqué par Bouygues Immobilier. Si l'on se réfère à la Figure 6.12, on constate en effet que la « communalisation » des besoins de chauffage, qui correspond donc à la mutualisation dans le vocabulaire du bureau d'études Manaslu, ne mène pas à un lissage important des pointes de consommation : la courbe violette qui représente la consommation totale de chaleur à l'échelle de l'îlot possède de nombreux pics.

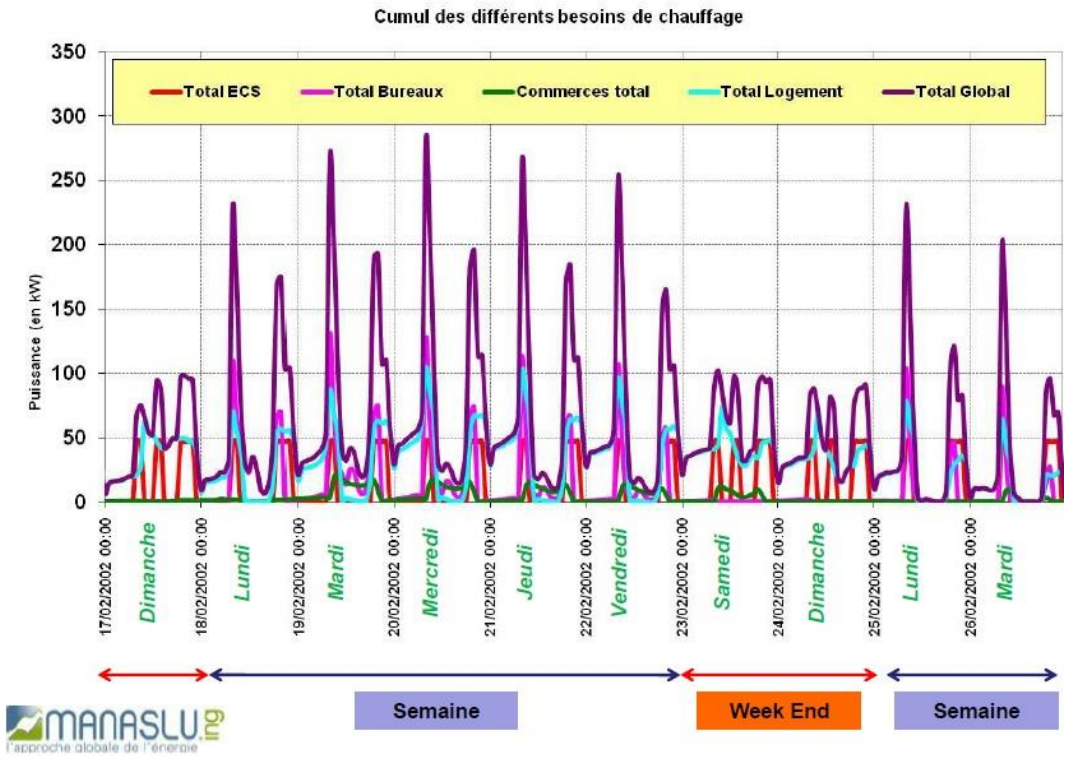


Figure 6.12 : Besoins en puissance de chaleur des différentes fonctions de l'îlot simulés sur la semaine la plus froide d'hiver (17-24 février) – Source : Manaslu Ing - 2011

Cependant, cette mutualisation permet de garantir une consommation en continu, le matin et le soir pour les logements, la journée pour les bureaux et la journée puis une partie du week-end pour les commerces : « le besoin de chauffage des bureaux on se rend compte qu'on n'a pas de besoins la nuit donc on coupe le chauffage, ou très peu si vraiment il fait très froid. Pas de besoins le week-end ou très peu, et puis les commerces c'est à peu près pareil sauf qu'on travaille le samedi. […] Et puis dans les logements on a un profil qui est un peu plus continu » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015). On constate en effet, toujours en se référant à la Figure 6.12, que la consommation totale de chaleur n'est presque jamais nulle contrairement aux consommations des différentes activités. Il existe donc bien une « complémentarité » temporelle entre les différents usages mais qui se trouve davantage dans un rythme jour/nuit ou semaine/week-end que dans une complémentarité continue.

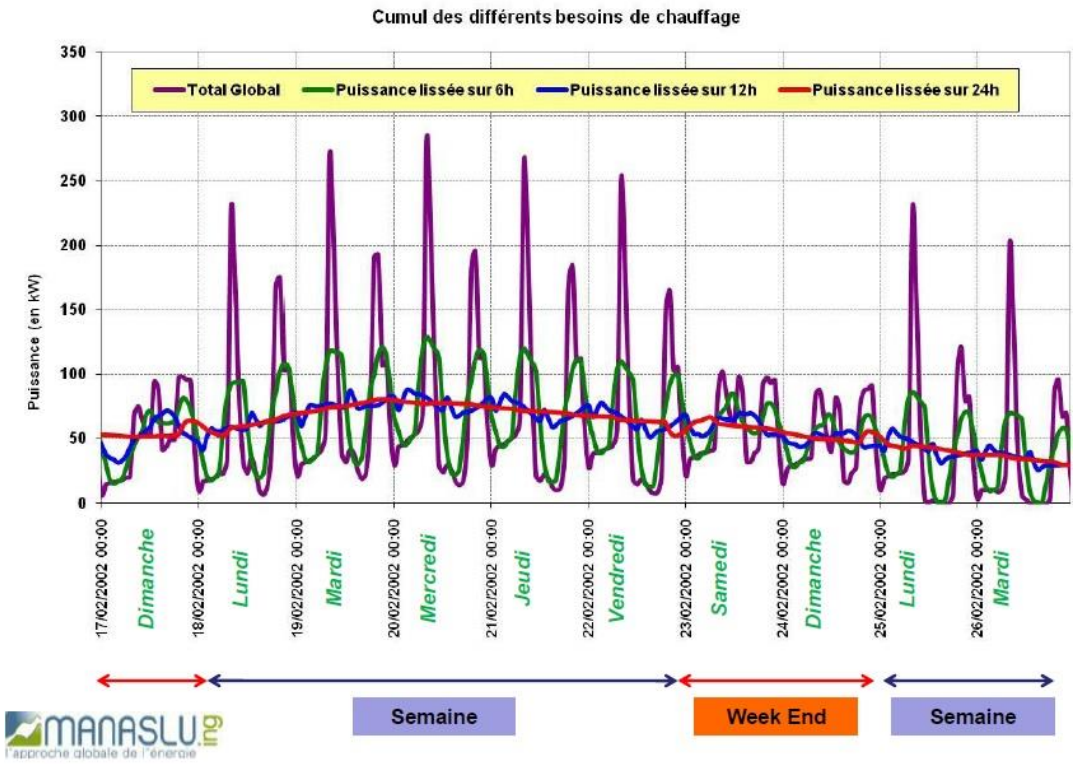


Figure 6.13 : Lissage des besoins en puissance de chaleur de l'îlot simulés sur la semaine la plus froide d'hiver (17-24 février) – Source : Manaslu Ing - 2011

En réalité, ce qui permet de diviser la puissance installée par trois, tel que cela est avancé par Bouygues Immobilier dans sa communication, c'est la conjonction de la mutualisation et du stockage. La Figure 6.13, toujours issue des simulations du bureau d'études, permet de le

constater : en lissant, c'est-à-dire en moyennant les puissances dans le temps, on parvient à diminuer drastiquement la puissance maximale appelée. Matériellement, c'est par le stockage, mutualisé à l'échelle de l'îlot, que cette moyenne est réalisée : « on a 28 m^3 de stockage, ce qui nous permet de sous-dimensionner la cogénération biomasse au strict nécessaire, […] et d'avoir une chaudière gaz qui permet derrière de générer en cas de grand froid la chaleur sans stockage. C'est-à-dire qu'elle est dimensionnée pour la Pmax *[puissance maximale soutirée]* » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

Ainsi, une quantité de chaleur peut être stockée jusqu'à douze heures dans des ballons d'eau chaude et ne doit donc pas nécessairement être produite au moment du pic de consommation. Le choix de la quantité de stockage disponible, c'est-à-dire de cette division par trois de la puissance installée, n'est bien entendu pas un fait du hasard : il correspond à un optimum pour l'usage de la cogénération à base d'huile végétale. En effet, en permettant cette diminution de puissance, le bureau d'études s'assure que l'électricité produite par ce processus, qui ne peut être stockée que difficilement (nous y revenons plus loin), ne se trouve jamais en trop grande quantité par rapport aux consommations de l'îlot, et n'a donc pas besoin d'être revendue et injectée sur le réseau d'ERDF : « en fait, on a juste fait des moyennes de lissage pour se dire sur quelle durée il faudrait moyenner pour avoir une production électrique en continue avec la cogénération, donc ne pas avoir un besoin de revendre cette énergie électrique et quand même satisfaire les besoins de chauffage. […] Quand on commence à lisser sur 6 heures on se rend compte que quand il fait très froid, il ne nous faut plus que 100 kW et puis après si on lisse sur 12h ou sur 24h on a pratiquement très peu de différence. Donc on s'est dit que le stockage allait nous permettre d'avoir une unité qui fonctionnait au point nominal pratiquement en continu à la bonne charge, l'arrêter une fois qu'on peut l'arrêter et c'est donc ce qui a défini notre architecture hydraulique avec du stockage, tout mutualisé » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015). Ces calculs mènent le bureau d'études à envisager un total de 30 m^3 de ballons capables de stocker la chaleur. Dans les faits, des contraintes spatiales entraînent une réévaluation à la baisse du projet : les cuves prennent de la place dans le sous-sol qui doit remplir d'autres fonctions. Ainsi, ce sont finalement 28 m^3 de cuves qui sont installés.

En comparaison, la mixité fonctionnelle, qui n'est de toute façon pas choisie par l'équipe concevant le système énergétique, n'apparaît pas comme un vecteur fort de lissage et, surtout, elle n'est pas une source importante de diminution de la puissance installée, tout au moins pour ce qui concerne la chaleur : « on avait des contraintes de surface et d'une mixité tertiaire,

commerces, logements. Ça c'était une contrainte du concours qu'on a adapté. Alors déjà *[sans mixité fonctionnelle]* pour la puissance max, ça n'aurait pas beaucoup changé puisqu'en fait c'est la mise en chauffe des surfaces donc on a à peu près toujours ce même schéma. En revanche si on avait plus de logements, il y aurait plus d'eau chaude sanitaire donc on aurait augmenté la puissance moyenne. Alors qu'en tertiaire, […] dès qu'il y a un rayon de soleil on chauffe tout de suite et c'est les PC et les bonhommes, les équipements qui vont chauffer la journée. Donc il n'y a que la mise en chauffe, après le besoin il est … il est marginal » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

Le lissage de la consommation au cours du temps ne provient donc qu'à la marge de la mise en commun de besoins divers. Puisqu'il repose sur des dispositifs de stockage, il représente en outre un coût, contrairement à un lissage qui serait lié au simple foisonnement des usages, mais les concepteurs du système justifient ce coût par le gain que le dispositif apporte en termes de rendement des installations. En effet, s'il permet de diminuer la puissance maximale nécessaire, il permet aussi d'augmenter la puissance minimale appelée, qui représente également un enjeu important, comme nous l'avons d'ailleurs déjà vu dans le cas du Val d'Europe. Pour justifier ce raisonnement, le bureau d'études s'appuie sur des observations réalisées sur un bâtiment à énergie positive au sein duquel les usages étaient fortement intermittents et les rendements des installations énergétiques faibles : « on s'est demandé pourquoi et on s'est rendu compte que la machine ne faisait que s'arrêter et démarrer. Elle est en court cycle, comme sur tous les bâtiments, c'est comme ça. […] Si on mettait un ballon de stockage, on pouvait fonctionner au point nominal, recharger le ballon. Et puis le COP *[*Coefficient of Performance*]* global allait s'améliorer. Donc ça on a déjà ces retours d'expériences qui nous permettent de se dire qu'il faut arrêter des systèmes qui font du *stop and go* » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

Ainsi, au sein de l'îlot Hikari, l'installation des ballons de stockage permet autant de lisser les pics que d'éviter des appels de production trop faibles qui mettraient les systèmes en arrêt et nécessiteraient l'installation de systèmes de production de plus faible capacité qui seraient peu utilisés en comparaison de l'investissement qu'ils représenteraient : « ça évite d'avoir des fonctionnements à charge très partielle. Ce qu'il faut voir c'est que si on n'avait qu'une chaudière qui était à 300 kW ou même une cogé, en fait en dessous de 20% de charge, donc en dessous de 50 kW, on ne sait pas moduler. Il n'y a pratiquement aucun équipement qui sait faire. […] Et puis là quand on a très peu de besoins, de toute manière on est tellement bas qu'il aurait fallu faire une cascade avec trois équipements donc trois contrats de maintenance

» (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015). Encore une fois, si la mixité des usages contribue à régler le problème, c'est principalement le stockage qui permet de réaliser un tel gain. Notons bien toutefois que l'ensemble de cette conception est basé sur des hypothèses de consommation des différentes activités, qui devront être confrontées à la réalité de l'exploitation. On retrouve cette logique dans le cas de l'opération Innovéa citée plus haut, comme l'explique l'Encadré 6.3 ci-dessous qui montre que la conception de la mutualisation par un promoteur s'appuie toujours sur des hypothèses quant aux usages futurs au sein des bâtiments, ce qui fait à nouveau percevoir la problématique des incertitudes dans l'évolution des flux.

En somme, la mixité fonctionnelle au sein de l'îlot permet avant tout de garantir une consommation de chaleur en continue (journée/soir, semaine/week-end) qui convient mieux au fonctionnement technique des installations de production. Cependant, l'optimisation métabolique de l'îlot, c'est-à-dire dans ce cas l'abaissement de la puissance maximale consommée, provient du stockage et simplement à la marge du foisonnement que permet la mixité d'activités. En définitive, les gains apportés par la mutualisation portent davantage sur le partage des dispositifs de stockage, c'est-à-dire d'un système technique, que des circulations de flux au sein de l'îlot, contrairement à ce qu'affiche la communication publique du promoteur.

Encadré 6.3 – **Innovéa : la conception de la mutualisation et ses hypothèses**

Hikari n'est pas la première tentative de mutualisation énergétique à l'échelle d'un îlot dans laquelle Bouygues Immobilier se soit engagé. À Châtenay-Malabry, l'îlot « Innovéa » s'appuie sur les mêmes principes de complémentarités entre un immeuble de bureaux et un immeuble de logements que Bouygues Immobilier présente comme « une nouvelle vision de l'énergie ». Le principe de mutualisation à l'échelle des deux bâtiments est schématisé par le promoteur comme reproduit Figure 6.14 : « dans le *data center* des bureaux, il y a énormément de chaleur qui est dégagée, étant donné que c'est de l'informatique. Du coup on va extraire toute cette chaleur, on va la redonner aux pompes à chaleur, les pompes à chaleur avec leur coefficient de performance vont réussir à démultiplier plus ou moins des calories récupérées et vont les redonner à l'eau chaude sanitaire. Donc après on n'est pas sur des grosses quantités mais ça permet d'avoir un petit apport quand même » (Entretien avec une chargée de maîtrise d'ouvrage technique, Bouygues Immobilier, 09/10/2014).

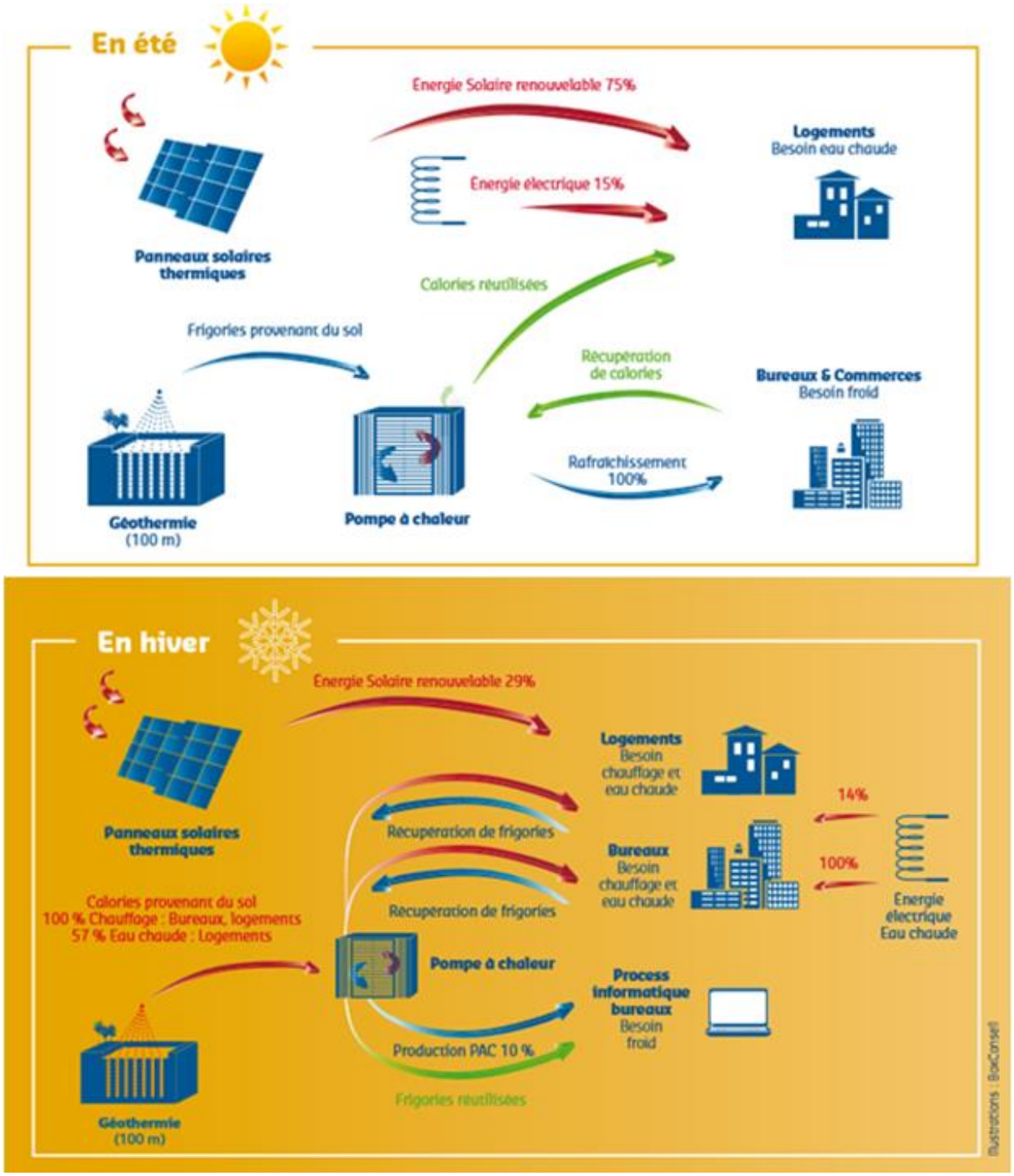


Figure 6.14 : Le principe de mutualisation énergétique sur l'opération Innovéa – Source : Présentation publique Bouygues Immobilier

Le potentiel de récupération est toutefois basé sur des hypothèses d'occupation du bâtiment : « encore une fois, on est en phase conception, on a des chiffres qui sont complètement théoriques, qui sont basés sur des scenarii d'occupation où tous les bureaux sont pris, ce qui n'est pas le cas pour le moment. […] Vraiment tout dépend de qui va prendre. Nous on se base sur des bureaux où ce sont des personnes, des travailleurs normaux, façon de parler, dans le sens où ils ont pas des énormes serveurs, juste pour avoir des postes individuels en *open space*, tout cloisonné, on va dire un poste chacun par personne dans les limites raisonnables et moyennes d'occupation. Après admettons, c'est une entreprise, je ne sais pas, de

développement de design d'informatique qui a besoin de gros serveurs pour le coup qui dégagent énormément, ben on n'aura plus de récupération. Tant mieux pour eux, quelque part, ils produiront plus, mais à l'inverse, si on a des gens qui ne travaillent pas du tout sur PC, façon de parler, ou qui n'ont pas besoin d'une grande capacité de données, donc pas beaucoup de *data centers*, ben on sera en deçà de ce qu'on avait prévu » (Entretien avec une chargée de maîtrise d'ouvrage technique, Bouygues Immobilier, 09/10/2014). On retrouve ainsi, à l'échelle de l'îlot, la centralité de la question de l'incertitude quant à la nature et à la quantité des flux et à leur évolution dans le temps pour l'organisation des échanges d'énergie.

B. Structure juridique *ad hoc* et souterrains partagés pour l'exploitation d'un système mutualisé

Parallèlement à cette primauté de l'efficacité technique, on observe que les interdépendances apportées par la synergie portent *a priori*, c'est-à-dire selon ce que prévoit la conception, exclusivement sur le système technique. Plus précisément, la mutualisation a deux effets principaux sur la constitution et le fonctionnement de l'ensemble immobilier. En premier lieu, la machinerie de production et de stockage d'énergie se trouve dans les sous-sols de l'îlot[142] (voir une photographie Figure 6.15), ce qui se traduit de manière directe dans la constitution de ce dernier : il est partagé par les trois immeubles, sans délimitation physique. Au-delà d'une mutualisation énergétique, il y a donc également mutualisation d'une partie des surfaces : « la contrainte c'est que, comme on a une production centralisée, on voit un petit peu tout ce qui est hydraulique. On voit quand même qu'il y a la contrainte sur le système, c'est que votre réseau de chaleur, réseau de chaud, réseau de froid, c'est à l'échelle de l'îlot. […] Tous les sous-sols communiquent, c'est pour ça qu'on peut mutualiser tout ce qui est distribution. On fonctionne comme un réseau de chaleur » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

En second lieu, la gestion de l'exploitation du système à l'échelle de l'îlot se traduit par la création d'une structure juridique *ad hoc* qui dépasse l'échelle de la copropriété. Sur l'îlot Hikari, c'est la structure de l'Association Syndicale Libre (ASL) qui a été choisie[143]. Dotée d'un président, elle vise à gérer pour l'ensemble des adhérents l'exploitation et la maintenance des dispositifs de production énergétique : « c'est la structure juridique qu'on a

[142] Nous n'avons pas pu en prendre une photographie en raison de l'obscurité, mais la machinerie frigorifique en particulier est composée d'un nombre impressionnant de tuyaux que le sous-sol doit abriter.
[143] Il semblerait qu'il s'agisse d'une Association Foncière Urbaine Libre (AFUL) qui prend la forme d'une ASL, mais nos interlocuteurs n'ont pas su nous le préciser. C'est toutefois la forme qui a été choisie pour le fonctionnement du projet Innovéa du même promoteur et fonctionnant sur le même principe.

mise pour représenter une collectivité, qui s'exprime au nom de cette collectivité. Donc c'est une association dans laquelle est représenté chaque membre propriétaire, alors de nature différente, c'est-à-dire propriétaire d'un volume, cet immeuble est un volume, ce volume-là est une copropriété » (Entretien avec le directeur des opérations d'immobilier d'entreprise région Rhône-Alpes, Bouygues Immobilier, 02/04/2015). Juridiquement, c'est cette structure qui porte la propriété et la responsabilité des installations énergétiques.

Figure 6.15 : Groupe de cogénération (en vert au fond), cuves de stockage (en rouge à gauche) et enchevêtrement de tuyaux au plafond, en sous-sol de l'îlot Hikari – Photo prise par l'auteur - Avril 2015

L'ASL nécessite l'adhésion de l'ensemble des acquéreurs d'un bien appartenant à l'un des trois immeubles de l'îlot et vient donc s'ajouter à l'adhésion à la copropriété : « les gens le savent, d'autant plus que quand ils prennent un logement ou une surface de bureau, ils deviennent membre de cet AFUL *[structure juridique dont l'ASL est une forme]* jusqu'à ce qu'ils le revendent. Du coup ils n'ont pas le choix. Ils ne peuvent pas dire, non, moi je n'ai pas envie de faire partie de l'AFUL, non. C'est, si vous prenez les bureaux, une surface de bureau, vous devez signer, et vous devez devenir membre » (Entretien avec une chargée de maîtrise d'ouvrage technique, Bouygues Immobilier, 09/10/2014). Le promoteur, pourtant à l'origine du choix de la mutualisation, s'inquiète de cette contrainte et de ses effets sur la gestion du système.

> « C'est une gestion … d'abord partager des choses qu'on possède c'est toujours difficile. Donc c'est vrai que psychologiquement, là on est sur le comportemental. Comportementalement, psychologiquement, les gens ne sont pas partageurs et donc ça c'est la première chose. […] Gérer des charges avec beaucoup de matériaux mutualisés, la complexité c'est pas tant la copropriété que le fait qu'il y a des stratégies de mutualisation qui sont très différentes en fonction des usages, de l'environnement, du comportement de l'utilisateur. […] Pour moi le plus lourd, c'est le changement comportemental qu'on impose. […] Il y a des gens qui vont payer des charges donc une partie de la consommation aussi bien de tertiaire que de commerce et de logement. Avec en plus la cerise des performances énergétiques sur le gâteau, avec en plus du matériel qui n'appartient pas forcément à la copropriété puisqu'il appartient à un organisme japonais qui s'appelle Toshiba… »
>
> Entretien avec le directeur des opérations d'immobilier d'entreprise région Rhône-Alpes, Bouygues Immobilier, 02/04/2015

> « Quand vous faites un canard à cinq pattes, c'est compliqué, l'entreprise elle est là, attend … dépendre d'une AFUL *[ASL]* pour le propriétaire du bâtiment, il dit : mais je ne peux pas vendre, mon bâtiment sur le marché n'est pas aussi liquide qu'un bâtiment normal parce que j'ai cette contrainte, il y a des panneaux photovoltaïques *etc*. »
>
> Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014

La question de l'exploitation mutualisée est ainsi le principal problème que les acteurs évoquent face au futur de l'îlot. C'est également un point qui ressort dans le cadre de l'opération Innovéa qui suit le même modèle.

> « C'est très compliqué parce que … c'est très compliqué de mettre en place, et à l'époque quand ils *[Bouygues Immobilier]* l'ont proposé, c'était … moi je l'avais jamais vraiment vu sur un projet avant. On avait plusieurs fois essayé de le mettre en place et tout ça mais on n'avait jamais réussi. Parce qu'en fait c'est très compliqué … mais plutôt par rapport à l'exploitation après. Comment on divise les charges, qui paye quoi, comment on va suivre … Donc en fait il faut vraiment un gros montage comme ça, et des personnes qui acceptent de créer la phase exploitation derrière. »
>
> Entretien avec une chef de projets RFR éléments, 28/10/2014

On retrouve aussi cette crainte dans d'autres opérations au sein desquelles l'idée de mutualisation est finalement abandonnée précisément en raison de cette question d'exploitation (voir un exemple dans l'Encadré 6.4). Malheureusement, le stade d'avancement de l'opération, non encore exploitée au moment de notre enquête, ne permet pas d'explorer les diverses implications de la mise en relation de propriétaires aux profils fort différents (résidents, entreprises, commerces) dans une structure commune. Ce que l'on peut dire, et

c'est ce que nous a rapporté le directeur de l'immobilier d'entreprise pour la région Rhône-Alpes de Bouygues Immobilier qui s'est chargé de l'opération, c'est que l'ajout de cette problématique n'est selon lui pas vecteur de frein à l'achat : il n'y a pas d'appréhension *a priori* de la part des acquéreurs. En outre, l'ajout de nombreux capteurs et compteurs dans le système technique est présenté comme un vecteur de simplification des rapports, tout particulièrement pour la répartition des charges : « il y a suffisamment de capteurs pour qu'on puisse analyser toutes les dérives. Donc là on est dans de la base de données, de l'exploitation de données et puis on revient sur un métier classique » (Entretien avec le directeur des opérations d'immobilier d'entreprise région Rhône-Alpes, Bouygues Immobilier, 02/04/2015). Ainsi, les équilibres financiers sont, comme les équilibres métaboliques, contrôlés par de nouveaux systèmes techniques (capteurs dans un cas, stockage dans l'autre) pris en charge par une subvention, les uns comme les autres venant limiter les interdépendances entre acteurs partageant les flux d'énergie, ce qui mène précisément à la concentration des interdépendances sur l'exploitation du système technique. En d'autres termes, une partie des interdépendances sont effacées par des systèmes techniques qui ne représentent pas un investissement supplémentaire pour les usagers de la synergie.

Pour autant, nous pouvons remarquer que, jusqu'ici, notre analyse des flux s'est uniquement portée sur le système thermique, c'est-à-dire sur la production de chaleur. Il existe une raison à cela : la mutualisation à la seule échelle de l'îlot s'arrête essentiellement à cette partie. Dans la section suivante, nous repartons de l'organisation de la production et de la distribution de l'électricité qui nous permet d'interroger plus largement la question des interdépendances entre l'îlot et le quartier.

Encadré 6.4 – **Entrepôts Macdonald : un projet de mutualisation énergétique abandonné**

Dans sa thèse soutenue en mars 2015, Charlotte Tardieu étudie la prise en compte des enjeux de transition énergétique dans trois projets urbains parisiens (Tardieu, 2015). L'un d'entre eux, le projet Paris Nord-Est, comprend l'opération immobilière des entrepôts MacDonald. L'auteur rapporte qu'une solution d'« écosystème thermique » est envisagée pour son approvisionnement en chaleur, qui vise à construire une boucle d'eau tiède sur l'ensemble de l'opération composée de logements (sociaux), des bureaux et des commerces (la relation entre les boucles d'eau tiède et les synergies est plus largement abordée dans la première partie du chapitre 8). L'idée est de permettre des échanges énergétiques (thermiques) entre les différentes fonctions et de mutualiser les besoins.

« Comment on fait pour que quand les bureaux produisent du froid pour eux-mêmes, ils produisent du chaud, et comment ce chaud peut servir aux logements ? Et inversement, comment les logements peuvent redonner du froid ? On a étudié une boucle d'eau tiède, une espèce de moyen d'échange où tous les programmes étaient raccordés à cette boucle d'eau tiède, sur laquelle ils donnaient ou ils prenaient du chaud, ou du froid. Au final, cette boucle était alimentée à la base par le CPCU *[Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain]*, et une portion du CPCU assez spécifique puisqu'elle est pluggée sur de la géothermie profonde, donc extrêmement vertueuse de fait. C'est ce réseau vertueux qui alimente cette première boucle de partage, et ensuite, chacun donne ou prend ce dont il a besoin, en excédent ou pas. Plutôt que rejeter la chaleur perdue » (Agence Franck Boutté Consultants, le 17/07/2013, citée dans : Tardieu, 2015, p. 262).

La solution est finalement abandonnée et le raccordement aux réseaux parisiens de chaleur (CPCU) et de froid (Climespace) lui sont préférés. Charlotte Tardieu mène l'analyse de l'abandon de cette solution sur plusieurs pages et montre qu'il est enchâssé dans des logiques qui dépassent le seul intérêt technico-économique et environnemental de la boucle d'eau tiède : il s'agit dans les faits de privilégier des réseaux d'étendue spatiale plus grande afin d'asseoir leur équilibre économique (Certu, 2010). La solution de l'« écosystème thermique » suscite toutefois des appréhensions relatives à sa propre nature. Nous reproduisons deux extraits d'entretien menés par Charlotte Tardieu qui font fortement échos à la complexité de telles solutions mutualisées mentionnée par les acteurs du projet Hikari.

« Quand vous avez une dalle qui est mise en gestion par un bailleur social, une copropriété privée et un immeuble de bureaux, il suffit que la copropriété soit en situation de dégradation, que plus personne ne gère ou que les bureaux aient disparu pour que le bailleur social ne puisse plus rien faire sur sa dalle et qu'elle se dégrade. C'était vraiment notre inquiétude de ne pas tomber dans ce travers. On s'est toujours employé à rendre les trucs indépendants au maximum. Et de limiter les sujets qui sont gérés en commun au strict minimum. C'est tout à fait contradictoire avec une autre réflexion qui est : la gestion énergétique, si elle est mutualisée, on fera des économies » (SAS ParisNordEst, le 11/12/2012, cité dans : Tardieu, 2015, p. 264).

« Aujourd'hui, je pense que c'est très loin de la réalité, de ce que souhaitent les utilisateurs. Ça a sans doute du sens en termes d'économie d'énergie. Si on peut récupérer l'énergie produite par un logement pour chauffer un bureau, ça a du sens. Mais il faut passer au-delà de la force des habitudes et des freins de chaque gestionnaire, qui est confronté à une gestion de tous les jours et qui a du mal à se projeter dans ce qui va se faire dans 5 ou 10 ans. Je ne sais pas s'il y a des exemples d'utilisation de grands ensembles immobiliers qui fonctionnent bien avec des échanges calorifiques. Je ne suis pas certain » (Icade Promotion Logement, le 04/01/2013, cité dans : Tardieu, 2015, p. 264).

C. Autonomie, réseau local, réseau national et mutualisation : différentes échelles d'interdépendances en confrontation

Au sein de l'îlot Hikari, l'organisation de la distribution de l'électricité est duale. D'un côté, l'électricité produite par la cogénération à huile végétale est entièrement autoconsommée. L'adéquation entre cette production et les besoins de l'îlot est rendue possible, d'une part, par l'optimisation de la puissance de production de la cogénération évoquée dans la première section de cette partie et, d'autre part, par l'installation d'une batterie, soit d'un nouveau dispositif de stockage pris en charge par le partenariat avec le NEDO. Cette électricité est entièrement dédiée aux besoins des bureaux et commerces et non aux logements : « on a des problèmes légaux de réglementation. C'est-à-dire que par exemple, sur les logements, on est obligé d'avoir les tarifs réglementaires logement par logement donc on ne peut pas fournir de l'énergie *[électrique]* à des particuliers dans leur logement. Ça, c'est la loi en France. Par contre on peut arriver à cofacturer des charges pour les tertiaires. Et les commerces, ils font ce qu'ils veulent. C'est-à-dire qu'ils peuvent avoir leur tarif jaune, leur propre abonnement, ou ils peuvent se mettre sur le transformateur sur le réseau local de l'îlot » (Entretien avec le directeur de Manaslu Ing., 02/04/2015).

D'un autre côté, l'exploitation de la centrale photovoltaïque est similaire à ce que l'on retrouve dans la majorité des installations photovoltaïques en France : « le photovoltaïque, lui, il est recraché sur le réseau » (*Ibid.*). En effet, l'électricité produite est reversée sur le réseau national exploité par ERDF et les revenus qui en découlent sont répartis entre les copropriétaires par immeuble, en fonction de la taille de leur lot, selon le même modèle que l'on trouve pour l'opération Innovéa : « la mutualisation des panneaux solaires et des panneaux photovoltaïques n'est pas réelle en soi, dans le sens où on ne gère pas l'énergie que les logements arrivent à dégager des panneaux solaires, c'est eux qui se débrouillent avec leurs panneaux solaires et *idem* pour les bureaux. C'est là où s'arrête la mutualisation » (Entretien avec une chargée de maîtrise d'ouvrage technique, Bouygues Immobilier, 09/10/2014). Il n'y a donc contractuellement aucune mutualisation et aucune autoconsommation. Mais dans les faits, physiquement, l'équation n'est pas aussi simple.

> « L'électricité c'est un petit peu particulier. Parce que la mutualisation elle existe de fait par le réseau, et le fait que l'énergie soit injectée, certains considèrent que ça vaut absence de mutualisation. Or quand on dit qu'elle est vendue ou injectée sur le réseau, c'est uniquement qu'elle passe un compteur mais physiquement, l'énergie reste consommée sur place. Donc il y a de fait mutualisation, même si contractuellement on passe par de la vente. »

Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015

Ainsi, la mixité fonctionnelle de l'îlot entraîne physiquement une autoconsommation plus importante que dans le cas d'un bâtiment monofonctionnel, malgré le fait qu'elle ne soit pas accompagnée d'une infrastructure et d'une structure contractuelle *ad hoc*. On observe donc un rapprochement dans le discours de certains acteurs entre les mutualisations de flux et d'infrastructure et une importance de l'échelle considérée : puisque l'infrastructure par laquelle passe le flux est centralisée, le flux lui-même leur apparaît comme non local. Seule la création d'un réseau purement local, non connecté au réseau national vaudrait mutualisation à l'échelle de l'îlot.

> « Il y a un bilan global qui est tiré, donc ce qui est intéressant c'est effectivement que c'est un bâtiment à énergie positive avec du tertiaire, du logement et un mix logement tertiaire. Donc il y a réellement un bilan global sur l'îlot. Après, il n'y a pas forcément un stockage d'énergie *[d'électricité]* qui va revendre à un autre pour qu'il les consomme. On balance globalement sur le réseau et c'est un équilibre … Il n'y a quasiment pas d'autoconsommation. »

Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015

On est ainsi confronté à des conceptions de la mutualisation et de l'autoconsommation qui sont construites par rapport au réseau centralisé conventionnel : quand bien même il existe une mutualisation locale de fait par le réseau, elle n'apparaît pas réelle car elle n'est pas liée à une autonomie et qu'elle est contractuellement liée à l'opérateur historique. Il y a donc bien une dépendance sur le plan électrique entre les différents bâtiments, au travers du réseau d'ERDF mais, pour les acteurs, elle se joue à une autre échelle et n'apparaît donc ni dans leur conception ni dans leur discours.

Il faut toutefois noter que cette conception du système électrique local est en partie orientée par le cadre qui contraint les échanges locaux d'électricité à rester confinés à des échelles très restreintes puisque, comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente de ce chapitre, les échanges directs ne peuvent passer par le domaine public. Cette contrainte rend complexe la création d'un équilibre tendant vers l'autoconsommation d'électricité au travers de la mutualisation qui puisse s'extraire totalement du réseau national : si l'on ne peut échanger qu'à l'échelle d'ensembles totalement privés, le nombre restreint de bâtiments que l'on peut atteindre rend délicat la recherche d'un équilibre constant entre production et consommation sans stockage, ce dernier étant bien plus coûteux pour l'électricité que pour la chaleur.

Malgré tout, et de manière apparemment paradoxale, l'intérêt de la mutualisation « autonome » n'est pas défendu pour l'ensemble du métabolisme énergétique par la SPL. Ainsi, sur la question de la chaleur, la pertinence de l'autoconsommation est mise en question en regard d'un autre projet, à l'échelle du quartier cette fois-ci : celui d'un réseau de chaleur approvisionné par une cogénération biomasse (soit la même technologie qu'au sein de l'îlot Hikari, mais à partir d'un processus différent[144]). Celui-ci vise à poursuivre l'objectif de neutralité carbone : « on a imaginé de mettre en place une centrale de cogénération de chaleur et d'électricité qui fonctionne grâce à la gazéification de la biomasse. Donc on est en train de travailler dessus, elle devrait être mise en place en 2017 normalement. Elle alimentera en chaleur le quartier neuf, mais qui est très peu consommateur et le quartier existant qui lui l'est davantage » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015). Le développement de ce réseau local est l'une des raisons de la transformation de la SPLA en SPL : l'aménageur est en charge de l'exploitation du réseau au moins pendant les cinq ans qui suivent sa création.

Contrairement au cas du système électrique de l'îlot, dont différents acteurs regrettent la connexion au réseau national, le maître d'ouvrage déplore la non connexion de l'îlot au réseau de chaleur du quartier : « je ne vois pas qu'il y ait une rentabilité à ne pas reverser leur production dans le réseau de chaleur, mais voilà … » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015). Lorsqu'on observe le tracé prévisionnel du réseau construit par l'aménageur, tel que représenté Figure 6.16, on s'aperçoit en effet que l'îlot Hikari est l'un des rares îlots en bordure duquel le réseau est amené à passer et dont la connexion à ce dernier n'est pas prévue, ni pour la production, ni pour la consommation. Or, comme expliqué plus haut, l'équilibre de l'infrastructure n'est pas simple à obtenir pour l'aménageur puisque le quartier est peu consommateur, ce qui explique qu'il ait été choisi de l'étendre à un quartier existant adjacent dans lequel les consommations de chaleur sont plus importantes (le quartier de Saint Blandine). Ainsi, le choix de non connexion de la part des concepteurs de l'îlot Hikari est perçu comme une occasion perdue d'améliorer l'équilibre de ce système : l'idée défendue est que la connexion au réseau aurait pu permettre de limiter les besoins de stockage à l'échelle de l'îlot en profitant d'un foisonnement plus important à l'échelle du quartier, tout en contribuant à ce foisonnement : « en agrandissant le périmètre de mutualisation, on évite d'installer des systèmes qui ne

[144] La technologie mise en place pour le réseau de chaleur se veut innovante : il s'agit de produire du gaz à partir de bois puis de produire de l'électricité et de la chaleur à partir de la combustion de ce gaz.

servent à rien, qui sont là juste pour rentrer dans des mécanismes contractuels, financiers » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015).

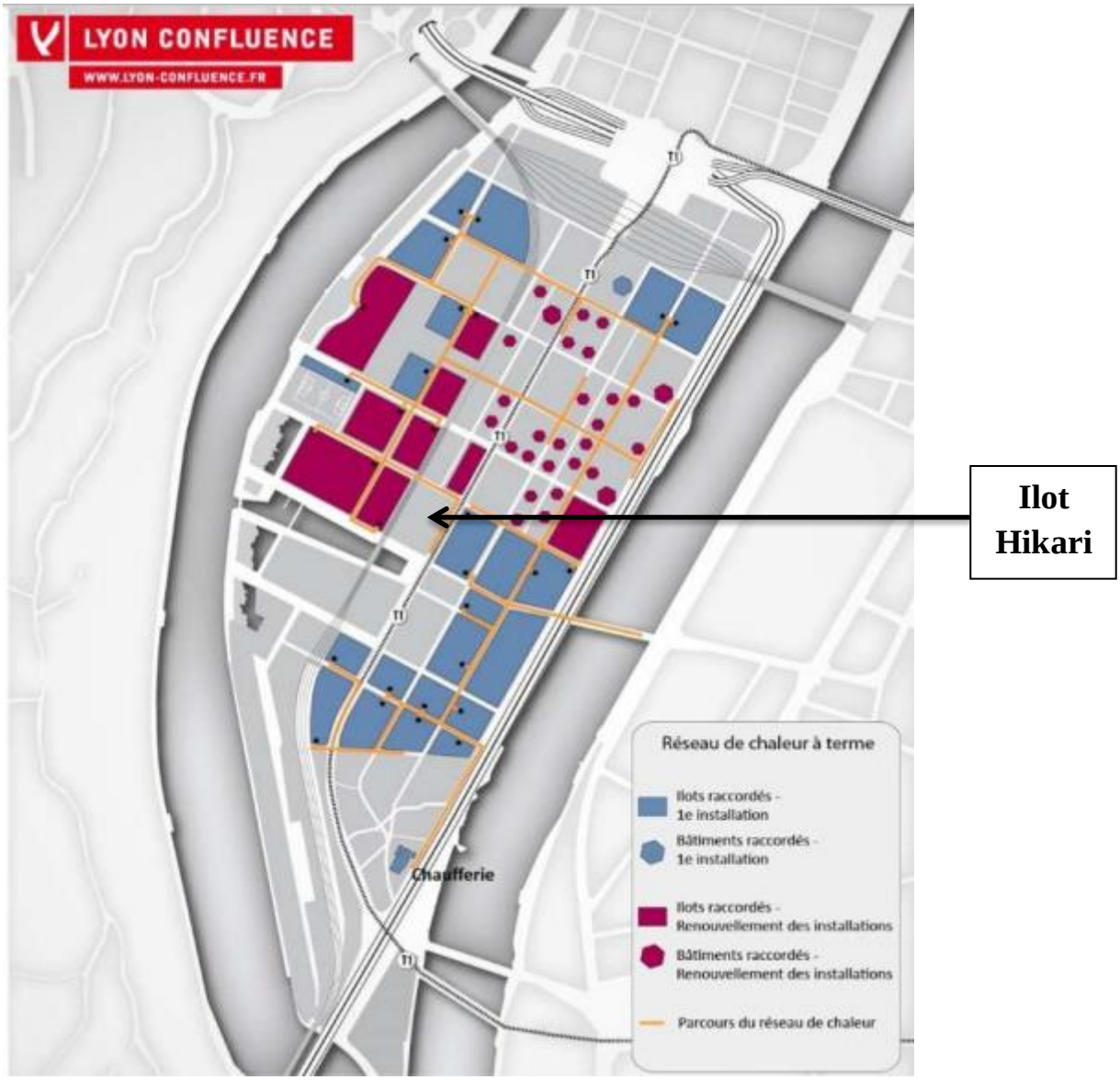


Figure 6.16 : Tracé prévisionnel du réseau de chaleur de La Confluence – Source : SPL Lyon Confluence

Ainsi, on comprend qu'il existe une confrontation qui, selon notre observation, ne se traduit toutefois pas en conflit, entre l'objectif de démonstration d'une possibilité d'autonomie par la mutualisation du promoteur et les logiques d'équilibre de l'approvisionnement énergétique à l'échelle du quartier. Tantôt on loue la limitation des interdépendances électriques à l'échelle de l'îlot, tantôt on critique l'autonomie en termes de production et distribution de chaleur. Il existe donc une contradiction entre des choix publics liés à l'approvisionnement énergétique :

la volonté de construire des îlots à énergie positive d'une part, et de développer les réseaux de chaleur sur l'ensemble du territoire urbain d'autre part (Rocher, 2013). En somme, si l'équilibre de la synergie de mutualisation apparaît *a priori* stabilisé aux acteurs grâce à une complexification du système techniques et juridiques (stockages mutualisés, capteurs, ASL), la question des interdépendances est ici davantage reliée à une question d'optimisation de l'usage des systèmes techniques.

Le cas de Lyon fait ainsi émerger une problématique d'échelle que nous n'avons pas observée dans les autres cas : si l'extension spatiale du réseau est mise en œuvre ou en question à Dunkerque comme au Val d'Europe, le rapport à des réseaux d'échelle supérieure n'y apparaît pas. Aussi, nous verrons dans la section suivante que les réflexions quant à l'évolution locale de la mise en réseau ne sont pas du même ordre que dans ces cas précédents et qu'elles font apparaître plus clairement les raisons de l'opposition entre les logiques qui s'appliquent à l'échelle de l'îlot et du quartier.

IV. Planifier l'autoconsommation à l'échelle du quartier : la mutualisation et la gestion des flux en questions

Lorsqu'on interroge les acteurs de l'aménagement de Lyon Confluence ou de la planification au Grand Lyon sur le sujet de l'îlot Hikari, tous le replacent dans un contexte plus large et considèrent les implications des concepts appliqués à la conception énergétique de l'îlot tantôt à l'échelle du quartier, tantôt à l'échelle de l'agglomération : ainsi, tout comme pour Bouygues Immobilier, les acteurs de l'aménagement voient dans l'îlot une première étape vers une refonte des systèmes énergétiques locaux. Deux stratégies ressortent de cet élargissement. D'un côté, les principes de mutualisation pourraient être étendus pour concevoir une autonomie de La Confluence face au réseau national, ce que nous montrons dans une première section (A). De l'autre, du point de vue de la Métropole, Hikari serait une expérience d'équilibrage entre productions et consommations destinée à être appliquée à l'échelle urbaine, où elle aurait plus de sens d'après des logiques que nous exposons dans une seconde section (B). Dans une dernière section, alors qu'un consensus de dépassement de l'échelle de l'îlot se dessine, nous analysons les raisons des dissensions entre acteurs évoquées à la fin de la partie précédente (C).

A. Plus de mutualisation pour plus d'autonomie : organiser l'autoconsommation à l'échelle du quartier

Comme nous l'avons déjà évoqué, la mutualisation énergétique pour les acteurs du projet urbain de La Confluence est directement liée à la question de l'autoconsommation, notamment de l'électricité. C'est par le biais de réflexions autour de ce concept que sont imaginées les suites de l'expérimentation de l'îlot Hikari, dont nous avons vu dans la seconde partie de ce chapitre qu'elle devait préfigurer les futures opérations. Ainsi, un nouvel îlot (en cours de construction au moment de notre enquête) doit appliquer ce principe de manière plus tranchée : « il y a un îlot qui est en train de sortir et qu'on appelle l'îlot A3 et qui va être également un îlot calqué … dont le cahier des charges a été calqué sur celui d'Hikari c'est-à-dire à énergie positive. […] C'est le promoteur Icade qui a remporté … c'est YnFluence. C'est un petit îlot et effectivement la SPL souhaite que sur cet îlot B2 soit étudiée l'autoconsommation » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015).

> « Par exemple il y a un îlot qui va commencer bientôt, qui est le premier îlot de la ZAC2, qui est fait par Icade, qui sera à énergie positive tous usages. Nous on regarde toujours les bilans au niveau des îlots, les bilans énergétiques au niveau des îlots, et pas au niveau du simple bâtiment. Et sur ce prochain îlot-là, on voudrait en particulier travailler sur l'autoconsommation de la production photovoltaïque. En mettant en place des onduleurs qui vont faire du micro-stockage, pour justement jouer entre la production, la consommation du tertiaire, la consommation du … mais voilà, le faire de manière beaucoup plus active, là *[sur Hikari]* c'est un peu … c'est un peu virtuel. […] Par contre là on a essayé d'y réfléchir beaucoup plus activement, parce qu'on a des problèmes aujourd'hui avec le photovoltaïque qui d'ici peu ne sera plus du tout aidé d'un point de vue financier, et donc il faut qu'on voit comment on peut réussir à trouver un modèle économique à l'autoconsommation. »
>
> Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015

Cependant, le développement de l'autoconsommation au travers d'une mutualisation très locale (*i.e.* à l'échelle de l'îlot) ne fait en rien l'unanimité, tout comme pour le cas de la chaleur dans le cas d'Hikari. Dans un contexte où un réseau d'électricité maille déjà le territoire, Bouygues Immobilier défend son modèle de connexion au réseau national pour subvenir aux consommations et injections de pic. Le modèle de l'isolement est ainsi rejeté par le promoteur.

> « Une autre approche est de dire, finalement, on fait des quartiers complètement autonomes. Il y a notre cousin Bouygues Construction qui travaille sur ce sujet-là, sur

des bâtiments complètement autonomes. C'est un projet de R&D, un projet qui gère ses déchets, qui récupère son eau et qui gère son eau, la recycle *etc*[145]. Nous on pense que ce n'est pas adapté à des pays développés, parce qu'il y a tous les réseaux et ça coûte quand même moins cher de se brancher sur les réseaux que de tout produire. […] L'idée c'est de pouvoir autoconsommer, mais d'être connecté encore au réseau pour la période de pointe, ou même pour revendre s'il le faut. »

Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014

De même, Hespul, en tant qu'assistant de l'aménageur sur les questions énergétiques, autant qu'en tant qu'organe menant des réflexions plus larges sur les questions de développement des énergies renouvelables, estime que l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque n'est pas pertinente à l'échelle envisagée, pour des raisons principalement économiques.

« Pour certaines personnes, l'autoconsommation, c'est faire un système que nous on appelle en site isolé, qui est encore pire, c'est qu'on se prive de la stabilité apportée par le réseau, on se prive de la possibilité de foisonnement avec d'autres utilisateurs, c'est le pire des cas et nous on connaît bien ce pire des cas, parce qu'en photovoltaïque, l'origine du photovoltaïque c'est les sites isolés et on avait des systèmes très chers surdimensionnés, avec d'énormes parcs batteries, pour alimenter des petites installations. […] si la mise en place d'un mécanisme d'autoconsommation conduit à massivement faire installer des batteries à côté des installations de production, le coût de production de notre photovoltaïque, il va augmenter. Or ce qu'on veut, ce n'est pas qu'il augmente, c'est qu'il continue de diminuer. »

Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015

Cependant, pour Hespul, la « bonne échelle » de l'autoconsommation, qui passe par la mutualisation, est définie du point de vue de la technique de production d'énergie et du réseau et non du point de vue l'urbain : « pour nous, la bonne échelle, ce n'est sûrement pas l'échelle du logement, or aujourd'hui il y a des projets de mécanisme de soutien des renouvelables par logement, par consommateur d'électricité. Ce n'est sûrement pas la maison individuelle et ce n'est sûrement pas l'immeuble. C'est beaucoup plus large que ça. C'est peut-être l'îlot, et encore, nous on pense vraiment que c'est plutôt à l'échelle de la boucle locale. Alors on ne sait pas encore si c'est la boucle basse tension ou plutôt … c'est plutôt pour nous la boucle HTA, donc moyenne tension. Ce qui veut dire qu'on pourrait avoir cette réflexion sur l'échelle d'un territoire comme Lyon Confluence. Et l'avantage de mettre de la production et

[145] Il s'agit du projet ABC (Autonomous Buildings for Citizens) de Bouygues Construction. Lors d'une présentation de ce projet, nous avons d'ailleurs pu observer que le discours sur l'autonomie tendait à être remis en question par l'entreprise qui parle à présent également de connexion avec des réseaux externes aux bâtiments (Présentation aux journées d'études sur la fabrique de l'autonomie énergétique par Thierry Juif, 13/06/2016).

de la consommation sur un territoire comme ça dans une logique d'autoconsommation, l'intérêt principal c'est qu'on vient réduire fortement les pertes de distribution de l'énergie dans le quartier » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015).

La question de l'échelle n'est pas non plus absente des réflexions de l'aménageur qui rejoignent sur un point celles d'Hespul. L'idée commune aux deux acteurs est celle de la possibilité de l'autoconsommation à l'échelle urbaine, grâce à la diversité des activités, qui entraînerait la possibilité d'une autoconsommation à l'échelle d'un quartier tel que celui de La Confluence qui regroupe à leurs yeux une même diversité d'activités : « en fait, à l'échelle de la ville, ça marche. Donc au niveau du quartier forcément ça marche. La question c'est : qui est-ce qui pilote ?[146] » (Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015).

> « Si on a cette réflexion d'autoconsommation à l'échelle d'un quartier comme ça, et d'une boucle locale du réseau de ce type-là, on vient diminuer les pertes du distributeur, et on pourrait assez facilement sur un quartier mixte avec beaucoup de logements, du tertiaire, de l'activité, estimer la puissance maxi qui serait nécessaire à installer pour espérer… C'est pour ça qu'on a introduit cette notion d'autoconsommation à l'échelle du quartier, parce qu'il y a un potentiel beaucoup plus grand. Il y a un intérêt technique, un intérêt financier et environnemental et pour nous c'est à cette échelle qu'il faut réfléchir. »
>
> Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015

Ainsi, si le discours des acteurs du projet d'aménagement se place en opposition aux travaux de Bouygues Immobilier sur l'îlot Hikari, les acteurs partagent pourtant la même vision. En effet, comme nous l'avons montré dans la deuxième partie de ce chapitre (II.B.), le promoteur ne voit l'échelle de l'îlot que comme une étape vers une mutualisation à l'échelle du quartier puis de la ville et ne se place en outre pas dans une perspective d'autonomie totale vis-à-vis des réseaux d'échelle supérieure. En définitive, il y a donc, comme dans les cas précédents, un consensus sur l'intérêt d'élargir le périmètre de circulation des flux. Dès lors, un décentrement vers l'échelle de l'agglomération nous permet de mettre au jour une seconde lecture des dissensions observées dans le discours, ce que nous menons dans les sections suivantes.

B. Equilibrer productions et consommations en ville

La question de l'élargissement de l'échelle d'application des principes qui sous-tendent la conception et le fonctionnement de l'îlot Hikari se pose d'autant plus pour les acteurs de la

[146] Nous revenons dans la dernière section de cette partie sur cette dernière interrogation.

métropole qu'ils ne jouent qu'un rôle opérationnel très réduit dans le développement de La Confluence : « nous, à la rigueur on n'a rien fait. C'est-à-dire que c'est vraiment Toshiba, Bouygues qui ont mené les études. C'est ça qui a apporté » (Entretien avec le directeur de la Mission Energie de la Métropole de Lyon, 27/05/2015).

Au sein de la Métropole de Lyon (Communauté Urbaine du Grand Lyon au moment de notre enquête), autorité pour l'aménagement de l'agglomération, le traitement des questions d'énergie est centralisé depuis 2011 à la Mission Energie, identifiée comme un membre du Plan Climat Energie Territorial (PCET).

> « Le PCET s'est posé la question de dire, « qu'est-ce que j'ai comme levier sur l'énergie ? ». Et ils se sont aperçus : « rien au sein de ma collectivité urbaine ». Donc en parallèle il y a eu une réflexion sur « je dois prendre la compétence énergie au niveau local ». Et quand on dit ça, la compétence énergie au niveau local, personne ne savait vraiment ce que c'était à l'époque. Le PCET, […] c'est la somme des bonnes intentions des services. […] Et donc un PCET n'a jamais été dans la mesure d'apporter des arguments sur le terrain, sur la territorialisation *etc*. »
>
> Entretien avec le directeur de la Mission Energie de la Métropole de Lyon, 27/05/2015

Malgré la distance entre la conception de l'îlot Hikari et les activités de la Mission, les réflexions sur le projet ne sont pas inexistantes et nous verrons plus loin qu'elles sont importantes car elles préfigurent une pensée plus large de la gestion énergétique métropolitaine qui s'appuie sur les projets du quartier de La Confluence. Ainsi, au Grand Lyon, les idées qui sous-tendent la conception énergétique de l'îlot paraissent pertinentes au directeur de la Mission Energie, mais non abouties car pensées dans une logique trop expérimentale.

> « Vous avez une certaine logique. Sauf que cette logique-là elle tient quand vous êtes sur du neuf, où vous faites du démonstrateur technologique, qui restera une pépite technologique, qui sera réplicable à l'échelle de Confluence, réplicable à l'échelle de quelques projets exemplaires en Europe. Le renouvellement de la ville c'est 1% par an, je vous laisse mettre les échéances du réchauffement climatique derrière et la question des ressources et tout, vous voyez que vous avez un petit problème pour renouveler toute votre ville. Et ce type de projet c'est quoi ? C'est 0.1, 0.01%, le temps que ça devienne la norme et qu'on puisse se le payer, c'est même pas sûr un jour que ça devienne la norme. »
>
> Entretien avec le directeur de la Mission Energie de la Métropole de Lyon, 27/05/2015

Dans la vision défendue par le directeur de la Mission, l'échelle de l'îlot n'est pas sans intérêt mais elle n'est qu'un petit morceau du système énergétique qui devrait être construit pour la Métropole, au sein duquel les différents échelons territoriaux échangeraient, à la marge, des surplus et besoins d'énergie :

> « Il faut inverser le mode de fonctionnement. C'est de dire que chaque échelle territoriale essaye de minimiser son appel à l'échelle territoriale du dessus. Et en fait Hikari vous avez ça […] il a pensé son truc pour avoir un système énergétique qui va être minimisé, dans le sens où je vais maximiser mes moyens de stockage en étant multi-énergie, et j'ai pensé les répartitions d'activités pour que ça tienne plus ou moins. Ça a été fait au niveau d'un îlot. […] Et après vous pouvez commencer à faire ça à un quartier. Parce que vous pouvez avoir des foisonnements d'usage qui ont plus de sens. L'îlot, c'est trop petit, et en plus vous ne remettez pas l'existant. Par contre quand vous commencez à être au niveau du quartier ou de la polarité de développement urbain comme vous en avez dans le SCOT, vous pouvez commencer à avoir des logiques, et après vous pouvez parler agglo, et venir à la région. »
>
> Entretien avec le directeur de la Mission Energie de la Métropole de Lyon, 27/05/2015

La première étape que pose la Mission pour aller vers cette gestion énergétique métropolitaine prend la forme de la construction d'un Schéma Directeur des Energies. L'objectif recherché au travers de l'élaboration d'un tel document est une planification des réseaux d'énergie qui soit coordonnée avec les évolutions et le développement urbains. Une comparaison est ainsi faite avec la coordination plus classique entre transport et urbanisme (Gallez *et al.*, 2013 ; Kaufmann *et al.*, 2003).

> « L'intérêt c'est que, eux, ils vont vraiment avoir un outil opérationnel de planification des réseaux, ce qu'ils appellent le schéma directeur énergie, et donc se dire cette fois, à l'échelle du territoire, on fait croiser la carte des territoires, des projets urbains, des réseaux de gaz, élec' et puis chaleur, froid, voire même les réseaux de transport mais bon après c'est moins … enfin bon le plus d'infos possibles, et cette fois on n'est plus dans une logique d'inventaire […] où le but c'est juste de voir où en sont les émissions et de le suivre annuellement. »
>
> Entretien avec la responsable du Plan Climat, Métropole de Lyon, 28/05/2014

> « Ce sera une vision prospective de comment doit s'organiser le système énergétique en fonction des ressources et des contraintes du territoire et on ne dit pas plus. Aujourd'hui quand vous dimensionnez votre développement multipolaire, vous le dimensionnez par des règles d'urbanisme et de transport. Et souvent c'est le transport avec les grands axes qui ne sont pas saturés ou les grands axes de transport en commun qui font. Aujourd'hui, vous voyez quand vous commencez à creuser un peu la planification énergétique que vous avez des saturations du réseau d'énergie électrique en certains

points, que vous avez un réseau de chaleur, ou un potentiel de réseau de chaleur qui est intéressant par rapport à de l'urbain. En fait il va falloir arriver à mettre ces différentes couches d'information. »

Entretien avec le directeur de la Mission Energie de la Métropole de Lyon, 27/05/2015

En définitive, en comparaison des deux cas précédents, on observe ici un rapport encore différent entre la synergie et la stratégie d'approvisionnement énergétique du territoire. Il ne s'agit en effet ni d'une extension de l'étendue spatiale des échanges ni d'un contournement : ce sont les concepts qui ont prévalu à la production de la synergie qui sont repris. La mutualisation à l'échelle de l'îlot constitue bien une base pour la planification énergétique mais d'une façon qui n'est ni métabolique ni technique : l'interaction semble à première vue idéelle et non matérielle.

C. Du *Community Energy Management System* à l'opérateur territorial

Toutefois, au-delà des convergences conceptuelles, l'ensemble des acteurs portent à l'échelle qui les concerne la question de la gestion des flux énergétiques et donc de l'exploitation des réseaux d'énergie, cette fois-ci dans une relation matérielle avec l'îlot Hikari. Au fondement de cette problématique, se trouve la question des données de consommation, dont la connaissance par les acteurs publics est jugée nécessaire par les acteurs de l'aménagement de La Confluence, autant dans un souci de planification que d'évaluation.

« Ce qui manque en fait, c'est d'avoir accès à la donnée de consommation des quartiers, d'arriver à détecter les potentiels, et ça c'est vrai que tout ce qui est *smart grid* sur l'électricité ça va apporter beaucoup de renseignements, et l'idée c'est de se dire effectivement un secteur qui est composé de logements uniquement qui consomment le matin et le soir, et qu'on blinde de panneaux photovoltaïques qui vont produire la journée, c'est un peu idiot parce que du coup les gens ne seront pas là quand ça va produire, et ils seront là quand ça ne va pas produire. Donc effectivement il y aura des logiques comme ça où ça se fera. J'ai envie de dire sur Confluence quelque part c'était facile parce que c'était neuf, donc quand il n'y a rien de construit c'est beaucoup plus facile, et c'est d'ailleurs pour ça que ça a pu être possible de faire de la planification énergétique. »

Entretien avec la responsable du Plan Climat, Métropole de Lyon, 28/05/2014

« Sur la ZAC Lyon Confluence, il y a cet objectif zéro carbone et on n'a pas d'outil aujourd'hui pour suivre cet objectif zéro carbone. Et on espère qu'en multipliant les sources de données des bâtiments, mais surtout les sources de données disponibles à l'échelle du quartier : la consommation de l'électricité, la consommation de gaz, la consommation de bois pour alimenter le réseau de chaleur. On pense qu'avec ces

> données là on pourra avoir une bonne vision de l'atteinte de l'objectif zéro carbone du WWF. […] Le deuxième objectif qui est un peu plus micro, c'est de vérifier sur le long terme également l'objectif de performance qui est fixé par la SPL au promoteur, donc en l'occurrence, l'objectif zéro énergie pour l'îlot P, et à chaque fois la SPL a un objectif spécifique pour chaque îlot. »
>
> Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015

En réponse à ces questions, un projet de *Community Management System* (CMS) est développé à l'échelle de La Confluence, dans le cadre du projet *Lyon Smart Community* avec le NEDO, pour récolter de façon centralisée les données de production et de consommation des différents bâtiments et infrastructures du quartier : « un centre de données de gestion de tous les îlots qui soient connectés, donc tous les îlots qui soient producteurs d'énergie multiusages. C'est-à-dire que c'est Hikari qu'on va avoir, mais éclaté à l'échelle du territoire pour, en secteur de pointe été-hiver, logement-bureau, week-end semaine ouverte, permettre de gérer » (Le directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015).

Le développement d'un tel dispositif sur La Confluence ne répond cependant pas à des contraintes réelles et se place donc davantage dans la continuité de la démarche d'expérimentation sur les questions énergétiques associées au projet : « on a à peu près 1 MW de photovoltaïque sur ce quartier-là. Les infrastructures de distribution c'est plutôt 25 MW. Donc il y a un différentiel de 25, du coup on n'est pas du tout sur la même échelle et du coup il n'y a absolument pas besoin de piloter la production. […] c'est intéressant parce que c'est la première fois que ce sera fait et il y aura de l'évaluation du retour d'expérience. Mais on va le faire sur un réseau sur lequel il n'y aura pas de contrainte » (Entretien avec le chef de projets planification, Hespul, 02/04/2015).

En outre, la question de la gouvernance des équilibres des systèmes énergétiques locaux est mise en question. L'idée d'un opérateur énergétique local, un « micro-ERDF » qui viendrait chapoter le système et qui centraliserait la propriété des systèmes de production afin d'éviter les reventes directes d'un bâtiment à un autre, est ainsi lancée.

> « Quand je vous dis « qui pilote ? », il y a effectivement la question du modèle du gestionnaire très local. […] On peut imaginer que c'est … nous on vend un terrain avec une charge, avec un droit à construire et on oblige les gens à mettre des panneaux photovoltaïques sur le toit. Ça les embête, concrètement. Ça leur coûte de l'argent, et puis il faut qu'ils les reversent, en plus ils ne savent pas faire, ils ne savent pas comment ça marche. Il suffirait qu'on leur vende juste un volume, et qu'on reste propriétaire nous

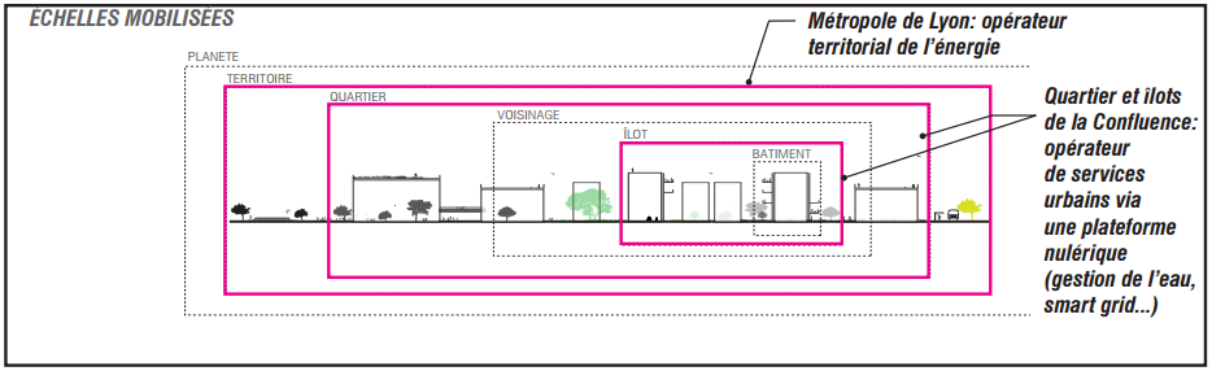
de ça, et du coup on récupère un peu sur la charge foncière pour produire, et on leur dit, ne vous en occupez pas, on le fait pour vous et on le gère. […] C'est une espèce de micro-ERDF. Parce que là on ne va pas du tout rejeter au réseau, donc ne on va vivre que sur l'abonnement qui nous sera donné. Mais *a priori* c'est rentable sur du long terme. »

Entretien avec le chargé de mission développement durable à la SPL Lyon Confluence, 01/04/2015

Ces réflexions concomitantes sur les données et la gouvernance se rejoignent dans la réponse qui est faite fin 2015 par la SPL et la Métropole lyonnaise à l'appel à projets « démonstrateurs industriels pour la ville durable » (DIVD) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer visant à « expérimenter de nouveaux modes de conception et de gestion des projets urbains »[147]. Dans la continuité des recherches de financement au travers de programmes partenariaux et de labellisations évoquées dans la seconde partie de ce chapitre, les deux acteurs publics répondent au projet, accompagnés de Bouygues et d'Alstom pour partenaires industriels. Le consortium est l'un des lauréats de l'appel avec un projet qui porte le nom de *Lyon Living Lab*.

Cette fois-ci cependant, l'ambition d'un changement d'échelle des expérimentations est marquée par la place de chef de file qui est réservée à la Métropole (et non à la SPL) dans le portage politique du projet. Dans la description de ce dernier sur le site du PUCA (qui suit la mise en œuvre de ces projets et a participé au choix des lauréats), cette volonté est explicitement affichée : « l'ambition est de renforcer le rôle de la collectivité, en lui donnant les moyens d'agir et de faire émerger la ville de demain autour d'un démonstrateur concret à l'échelle du quartier de La Confluence, visant à concevoir un quartier durable, désirable et innovant et la mise en place d'un opérateur global de services urbains »[148]. Plus précisément, comme l'indique à demi-mot cette formulation – où l'on retrouve en filigrane les formulations de Bouygues Immobilier, nous y revenons plus loin –, l'objectif du projet est de repenser la gouvernance locale des services urbains, et tout particulièrement de l'énergie, en s'appuyant sur des outils numériques (voir les représentations graphiques du projet Figure 6.17).

[147] Extrait de la description de l'appel à projets sur le site du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, consultée la dernière fois le 01/06/2016
Suite de l'extrait : « les bénéfices collectifs attendus de cette expérimentation sont un usage plus sobre des ressources, une réduction des coûts publics et privés, une plus grande cohésion sociale et une démocratie facilitée ».
www.developpement-durable.gouv.fr/L-appel-a-projet-demonstrateurs.html#Pr_sentation_de_l_appel___projet_d_monstrateurs_industriels_pour_la_ville_durable
[148] Description du projet *Lyon Living Lab* sur le site du PUCA, consulté la dernière fois le 01/06/2016
http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/divd-lyon-living-lab-a819.html



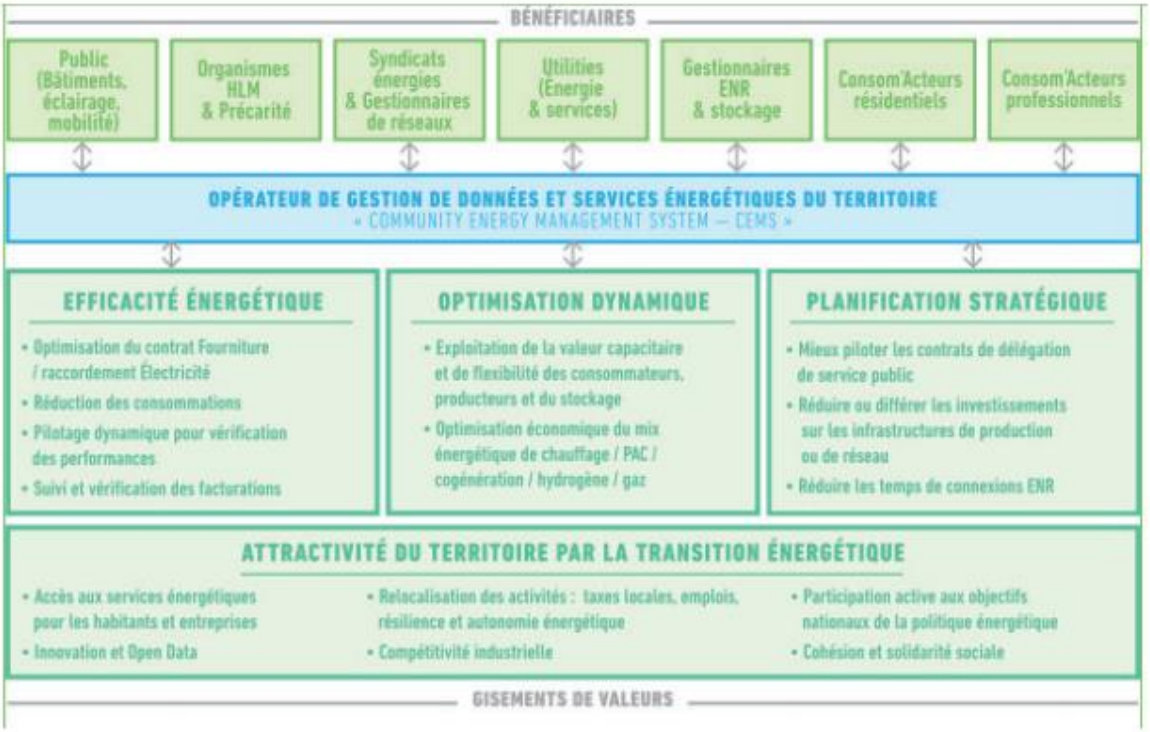


Figure 6.17 : Extraits du dossier « Démonstrateur Industriel pour la Ville Durable (DIVD) "Lyon Living Lab" »

Il s'agit donc, d'un côté, d'élaborer les conditions de l'élargissement du *Community Management System* de La Confluence pour construire une « plateforme numérique quartier durable », soit un « *smart grid* multi-fluides » et, de l'autre, de travailler à la création d'un opérateur de services urbains métropolitain : « ce *smart grid* Lyon Confluence, à terme, il a pour visée de se dissoudre dans un CMS de la métropole qui viserait à pouvoir équilibrer les équilibres *[sic]* entre les producteurs et les demandeurs d'énergie aux bonnes puissances et en les optimisant. […] Ce qu'on fait ici, ce n'est pas un *one shot*, un BedZed[149] qu'on a tous admiré. Le souhait c'est que ce soit réplicable dans l'agglomération ce qu'on produit » (Le

[149] Beddington Zero Energy District, un quartier anglais construit dans les années 1990 conçu pour produire autant d'énergie qu'il en consomme.

directeur de la SPL Lyon Confluence, s'exprimant aux rencontres opérationnelles de l'aménagement, le 06/10/2015).

Cependant, les termes et la portée de cette expérimentation locale font fortement échos au registre sur lequel Bouygues Immobilier fonde sa communication autour de la marque UrbanEra. La Figure 6.18 montre plus précisément ce que le promoteur entend mettre en œuvre : il s'agit de combiner des couches d'interconnexion énergétique et numérique à l'échelle du quartier pour y mener une gestion dynamique des flux.

Figure 6.18 : Représentation de la stratégie de la marque UrbanEra par Bouygues Immobilier – Source : Support de présentation Bouygues Immobilier

Concrètement, la stratégie de l'entreprise se traduit par la création en 2011 d'une filiale qui produit des offres de conseil sur la *smart city* mais également un outil numérique de pilotage des flux d'énergie qui porte précisément le nom de *Community Energy Management System* (voir Figure 6.19).

> « On a développé une *start-up* avec Alstom qui s'appelle Embix qui a développé un outil qui sait faire du pilotage énergétique dans le quartier, et qui en fait demain, dans ces quartiers qu'on va livrer, fera du *trading* d'énergie entre les différents bâtiments. L'idée ce n'est pas de piloter les bâtiments, ce n'est malheureusement pas comme des … ce ne sont pas des éléments inertes, les bâtiments à l'intérieur… nous on a un mainteneur *[acteur assurant la maintenance et l'exploitation des systèmes énergétiques]* auquel on a donné des objectifs en termes de confort de température *etc*. On ne peut pas avoir quelqu'un de l'extérieur qui prend la main à un moment donné pour mettre en cause le pilotage de ce bâtiment. Donc en fait c'est Embix qui va dire au mainteneur, écoutez j'ai de l'énergie qui est produite, qui est moins chère que celle du réseau, est-ce que ça vous intéresse ? Et puis le mainteneur dira *ok*, moi je prends, donc lui il va abaisser ses coûts de production et Embix, lui il fera un petit peu du *trading*, plus local, d'énergie, entre l'énergie produite et les besoins des uns et des autres. »
>
> Entretien avec le directeur innovation et développement durable, Bouygues Immobilier, 15/10/2014

On comprend donc que, au-delà de la stratégie du promoteur présentée en seconde partie de ce chapitre, qui vise à faire la preuve de sa capacité à produire conjointement des morceaux de ville et des services, le passage du bâtiment au quartier pour la conception et l'interconnexion du système énergétique est également une manière de tirer une valeur (financière) des échanges de flux énergétiques. Il ne s'agit pas tant de jouer le rôle d'opérateur de réseau, comme en atteste d'ailleurs la « connexion au réseau ERDF » bien mise en évidence sur la Figure 6.18, que de créer un marché très local de l'énergie dont l'infrastructure en permettant le fonctionnement serait fournie par l'entreprise qui en tirerait un revenu. La mutualisation locale entre des activités diverses n'est donc plus seulement un argument justifiant l'obtention de lots plus importants pour le promoteur mais également une manière de créer une nouvelle activité économique.

En somme, autant les acteurs publics que privés du projet visent, à plus ou moins court terme, le développement d'une activité de mutualisation et d'échange des consommations et productions d'énergie à l'échelle du quartier, dont l'îlot Hikari est un point de départ à la fois matériel et idéel. Comme le rappelle le responsable de projets de la SPL interrogé « la question c'est : qui est-ce qui pilote ? » et les développements de cette section montrent que la question « en quel but ? » doit y être ajoutée : dans le cas du projet porté par la collectivité on parle « d'optimisation économique du mix énergétique », qui évoque un contrôle par une entité centralisée, tandis que Bouygues Immobilier utilise la notion de « *trading* », qui renvoie au marché. Nous revenons plus précisément et plus longuement sur cette question dans le chapitre 8 de cette thèse.

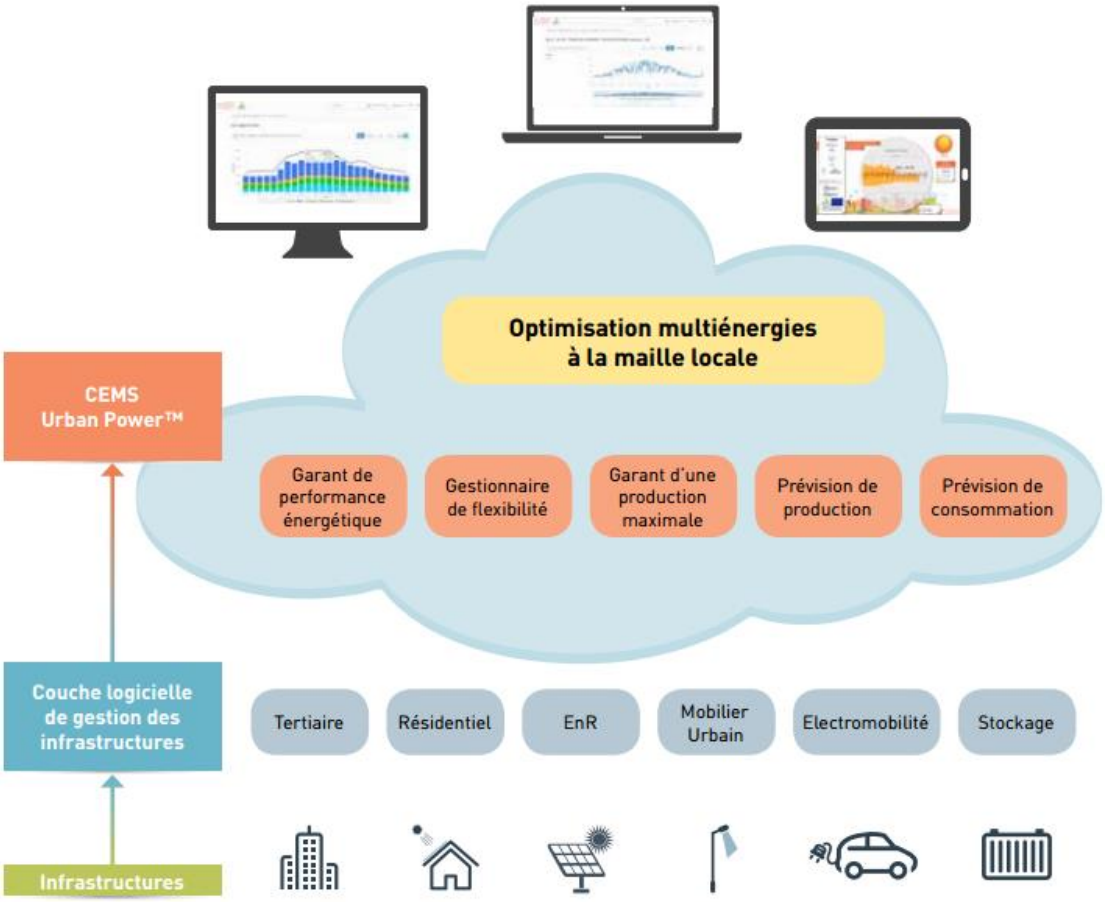


Figure 6.19 : Le Community Energy Management System développé par Embix – Source : plaquette de présentation Embix

Pour autant, cette opposition nous permet de porter un second regard sur les dissensions (sans conflits ouverts, rappelons-le), apparues quant à la connexion de l'îlot aux différents réseaux d'électricité ou de chaleur, d'échelle supérieure. En effet, on constate qu'autant l'aménageur que le promoteur souhaitent tirer parti de l'îlot Hikari pour expérimenter une gestion énergétique locale centralisée. Aussi, s'ils s'accordent sur l'intérêt d'élargir les connexions au-delà des trois bâtiments, on comprend que les enjeux ne sont pas les mêmes pour les deux vecteurs énergétiques. En effet, alors que, pour la chaleur, la mise en réseau de l'îlot passerait par une connexion à une infrastructure contrôlée par l'aménageur, celle qui permet la circulation de l'électricité est quant à elle contrôlée à l'échelle nationale. Ainsi, la dissension ne provient pas d'une opposition sur l'intérêt de l'extension de la mise en réseau mais d'une concurrence des modèles de contrôle (public ou privé, optimisation ou *trading*) sur la circulation des flux.

En définitive, le cas de l'îlot Hikari et de son rapport sociomatériel au quartier de La Confluence et à la métropole lyonnaise fait émerger une nouvelle lecture de la mise en

synergie de l'urbain : s'il s'agit de faire le meilleur usage de ressources produites localement, comme dans les deux cas analysés précédemment, on s'aperçoit qu'il existe également un enjeu de gestion matérielle et financière de la circulation des flux d'énergie qui fait des synergies un moyen d'optimisation, selon des modes différents (optimisation publique centralisée ou optimisation de marché). Partant, la connexion énergétique est ici envisagée de manière indissociable d'une connexion numérique, la gestion et le contrôle sur les données se trouvant au cœur des stratégies d'évolution des réseaux.

Cette lecture est d'autant plus nourrie par ce cas que si l'on observe une volonté d'étendre la mise en réseau au-delà de la synergie d'origine, l'objectif n'est pas une stabilisation métabolique, qui existe déjà grâce à des systèmes techniques *ad hoc* partagés à l'échelle de l'îlot, mais un accroissement des possibilités de circulation pour l'optimisation de systèmes externes à la synergie. Cependant, finalement, le résultat est le même : on envisage toujours d'étendre la mise en réseau.

Conclusion

Le cas de l'îlot Hikari fait apparaître une forme d'émergence d'une synergie singulière en comparaison de celles que nous avons étudiées dans les deux chapitres précédents : elle n'est, à l'origine, du fait d'aucun des acteurs destinés à échanger les flux d'énergie et partager des systèmes techniques. En outre, on ne trouve dans le jeu d'acteur aucun opérateur énergétique. La synergie apparaît au contraire comme la mise en œuvre d'une stratégie d'un promoteur privé qui se place dans le cadre offert par les stratégies environnementales et partenariales que suivent les autres acteurs impliqués dans l'aménagement local.

La synergie en elle-même, dont nous n'avons toutefois pas pu observer la phase d'exploitation, entraîne des interdépendances concentrées sur la gestion des systèmes techniques de production, de distribution et de stockage. La répartition des flux est ainsi contrôlée par des systèmes techniques *ad hoc*, précisément pour limiter les interactions entre acteurs sur ce plan, en particulier d'un point de vue financier. Ces dispositifs techniques sont en outre financés par un acteur extérieur à la synergie, ce qui supprime les négociations (et conflits) qui pourraient exister à cet égard entre les acteurs entre lesquels circulent les flux d'énergie.

Toutefois, l'ensemble des acteurs s'entend sur l'idée que la restriction de la mutualisation à l'échelle de l'îlot n'est pas optimale du point de vue de l'équilibre du système, qui n'est

stabilisé sur le plan métabolique que grâce à des systèmes de stockage coûteux ou à la dépendance à un macro-système technique d'échelle nationale (le réseau national d'électricité). Ainsi, autant le promoteur que l'aménageur et son conseil pour les questions énergétiques ou encore la collectivité considèrent que l'échelle du quartier voire de la ville sont plus pertinentes pour envisager une mutualisation locale, qui s'extrait de la mutualisation permise de fait par la connexion au réseau national. Partant, les systèmes énergétiques du quartier et de l'agglomération ne sont pas pensés pour stabiliser la synergie de l'îlot Hikari mais empruntent ses principes de fonctionnement pour les appliquer à d'autres échelles.

Toutefois, s'il y a consensus entre les acteurs publics et privés quant à la pertinence de dépasser l'échelle de l'îlot, on observe que ces derniers construisent des stratégies concurrentes pour le contrôle de ces flux mutualisés. D'un côté, la collectivité et l'aménageur de La Confluence lancent une expérimentation d'opérateur local (métropolitain) de services urbains, et tout particulièrement de la distribution d'énergie. La première étape de mise en œuvre de cette stratégie est la constitution d'un système de gestion des flux d'énergie à l'échelle de La Confluence, qui collecte les données de productions et consommations de différents bâtiments et équipements, en particulier de l'îlot Hikari. Pour autant, l'usage qui peut être fait de ces données, autre que celui d'une évaluation des performances des bâtiments, n'est pas clairement identifié.

D'un autre côté, le promoteur développe, en parallèle de son activité immobilière, une filiale qui construit des outils numériques de gestion des flux d'énergie à l'échelle d'un quartier. Si les objectifs poursuivis peuvent paraître similaires, on comprend que les modèles de gestion sur lesquels s'appuient ces deux acteurs, qui ne sont toutefois pas encore clairement déterminés, ne peuvent être les mêmes. En effet, alors que le discours des acteurs publics tend à user du registre de l'optimisation, le promoteur emploie le terme de *trading*. Ainsi, d'un côté, on cherche à assurer un équilibre métabolique au travers de la mutualisation locale tandis que, de l'autre, l'objectif semble davantage de créer une valeur économique à partir des variations continues des productions et consommations d'énergie, c'est-à-dire à partir de déséquilibres.

En définitive, le cas de l'îlot Hikari, replacé au sein de La Confluence et de la Métropole de Lyon, nous permet de nuancer plus avant la validité de nos hypothèses. Si la première est de nouveau vérifiée, d'autant plus que les acteurs s'accordent ici sur la faible efficacité économique du système, il nous est plus difficile d'apporter une réponse claire pour la

seconde. En effet, comme nous l'avons vu, les risques attenants aux interdépendances que crée la synergie sont ici largement effacés par des dispositifs financiers et techniques qui relèvent davantage du cadre de l'expérimentation. Pour autant, on observe que le partage des systèmes techniques se traduit très concrètement par la création d'une organisation spécifique qui rompt avec le mode conventionnel de fonctionnement des ensembles immobiliers.

Enfin, notre troisième hypothèse ne s'applique pas tout à fait à ce cas : si l'on constate bien que l'ensemble des acteurs soutiennent une extension spatiale du cadre de la circulation des flux d'énergie, y adjoignant cette fois-ci des flux numériques, une problématique supplémentaire apparaît. En effet, dans les cas de Dunkerque et du Val d'Europe, la question du contrôle sur ces circulations de flux pour maintenir un équilibre ne fait pas partie des préoccupations des acteurs. Chaque fois, un opérateur dédié dont le métier est celui de la distribution d'énergie joue ce rôle, sans qu'il ne soit remis en question. À Lyon, au contraire, deux modèles semblent s'opposer pour assurer des équilibres futurs, l'un qui repose sur des mécanismes de gestion publique, l'autre sur des mécanismes de marché, l'un et l'autre ne provoquant pas les mêmes effets sur le rôle attribué à la mise en réseau. S'ils ne sont pas clairement construits dans le cas de La Confluence, le dernier chapitre de cette thèse nous permettra de montrer qu'émergent des modèles de gestion des réseaux qui proposent des évolutions plus claires en ce sens. Nous pourrons ainsi discuter plus avant les formes d'évolution de la chaîne d'approvisionnement énergétique à la ville que pourrait entraîner la mise à l'agenda des circulations d'énergie locales et multidirectionnelles que sont les synergies.

Partie 3

Une transformation et ses limites : des réseaux de distribution aux réseaux d'« échange »

Dans cette dernière partie, nous construisons progressivement les conclusions de cette thèse au travers de deux processus différents. Dans un premier temps (chapitre 7), nous mettons nos trois études de cas en perspective avec la littérature discutée dans la première partie. Ce travail est mené successivement pour chacune de nos hypothèses. Dans un second temps (chapitre 8), nous sortons de nos études de cas pour observer des propositions de transformation de l'organisation de la fourniture d'énergie, précisément pour accompagner le développement de synergies énergétiques entre activités urbaines. Nous confrontons en outre l'analyse de ces propositions aux résultats obtenus dans le chapitre 8, pour parvenir à une lecture plus globale des évolutions à l'œuvre, potentielles ou effectives, pour les systèmes et métabolismes énergétiques urbains.

Chapitre 7 – Les synergies changent-elles la manière de mettre l'urbain en réseau ? Mise en perspective des études de cas

Les récits des études de cas construits dans les trois chapitres précédents nous ont permis de formuler des réponses contrastées aux questions de recherche posées dans cette thèse. Si nous avons d'ores et déjà pu mettre en écho certains éléments empiriques, nous considérons qu'une confrontation plus exhaustive des résultats ne peut être menée qu'au terme de l'ensemble des analyses empiriques, lorsque les spécificités de chaque cas face à la problématique ont été mises au jour.

Aussi, le premier objectif de ce chapitre est de mettre en perspective les études de cas, de manière systématique et synthétique, afin de construire des réponses à nos questions de recherche et, en conséquence, à notre problématique, qui s'extraient de la spécificité de chaque situation. Ces éléments, qui ont cadré nos analyses empiriques, sont rappelés dans le Tableau 7.1, ci-dessous[150].

Tableau 7.1 : Rappel des questions de recherche et hypothèses de réponse construites en préliminaire des études de cas

Questions de recherche	Hypothèses
Comment expliquer que de tels systèmes émergent malgré l'apparente complexité à faire fonctionner ensemble des systèmes sociomatériels hétérogènes ?	La coordination entre les différents systèmes sociomatériels est justifiée par des stratégies, dont nous ne préjugeons *a priori* de la nature, qui dépassent l'intérêt technico-économique propre de la synergie.
À quel point les synergies énergétiques urbaines génèrent-t-elles des interdépendances sur le territoire urbain et quels en sont les effets sur le fonctionnement de ce dernier ?	Les synergies énergétiques urbaines sont à l'origine d'interdépendances fortement instables qui font peser des risques sur le fonctionnement du système énergétique local.
Quelles visions et stratégies d'évolution de la synergie sur le territoire sont construites par les acteurs, en particulier face aux incertitudes quant à l'évolution des flux ?	Les acteurs développent des stratégies d'évolution spatiale du système qui visent à en faire croître la stabilité.

[150] Nous n'avons pas rappelé les sous-hypothèses qui forment un découpage plus précis des hypothèses principales (voir chapitre 3).

Le second objectif du chapitre est de discuter les hypothèses, postulats ou conclusions de la littérature introduite dans la première partie de la thèse au regard des résultats et, si cela apparaît pertinent, de montrer que d'autres résultats académiques peuvent être considérés. Il s'agit ainsi de comprendre comment nos analyses peuvent contribuer aux débats scientifiques en cours.

Ainsi, dans ce qui suit, nous confrontons successivement chacune de nos questions et hypothèses de recherche aux résultats empiriques exposés dans la partie précédente de la thèse et tentons d'en tirer des grilles de lecture plus générales qui nous permettent de les faire dialoguer avec les analyses existantes des réseaux conventionnels. Dans un premier temps, nous cherchons à comprendre comment se construisent les intérêts des acteurs et comment ils se combinent pour mener à une synergie : nous montrons qu'ils ne relèvent pas nécessairement de stratégies et qu'ils sont parfois opportunistes (I). Dans un second temps, nous analysons et catégorisons les interdépendances qui caractérisent les synergies et montrons que ces dernières sont prises entre deux logiques qui mènent bien à une situation d'instabilité, inédite par rapport au modèle du réseau conventionnel (II). Enfin, dans un dernier temps, nous montrons que le rapport à l'espace dans les stratégies d'évolution du réseau face à cette instabilité est resserré, mais qu'il s'appuie davantage sur une prise en compte fine de l'organisation spatiale des activités du territoire que sur une volonté d'action sur cette dernière (III).

I. Initiation des synergies : des intérêts stratégiques autant qu'opportunistes qui s'accumulent plus qu'ils ne convergent

En guise de première question de recherche, nous nous sommes interrogée sur l'origine des synergies. Nous avons posé la question de leur émergence face à la complexité apparente à faire fonctionner ensemble des systèmes sociomatériels habituellement séparés, composés d'acteurs qui se méconnaissent, appartiennent en partie à des mondes différents et possèdent des logiques et des intérêts qui peuvent diverger. Nous avons alors supposé que l'intérêt technico-économique propre aux synergies, c'est-à-dire le caractère « gagnant-gagnant » que l'on attribue communément à ces formes de mise en lien (Baas et Boons, 2004 ; Chertow, 2007 ; Esty et Porter, 1998), n'était pas suffisant pour expliquer que les acteurs s'y impliquent. Au contraire, nous avons fait l'hypothèse que la coordination entre ces différents systèmes était justifiée par des stratégies qui dépassent cet intérêt technico-économique, sans poser toutefois d'hypothèse quant à leur nature.

Dans ce qui suit, nous commençons par montrer que, dans l'ensemble, les intérêts des acteurs ne sont en effet pas d'ordre technico-économique et, en outre, qu'ils ne sont pas tous de la même nature : ils s'inscrivent pour certains dans des stratégies explicitement construites quand d'autres relèvent davantage d'une forme d'opportunisme (A). Ensuite, nous montrons que les différents intérêts nécessaires à l'émergence de la synergie ne sont pas toujours convoqués selon le même processus (B). Puis, nous soutenons que ces processus divergents, dans lesquels les acteurs publics jouent des rôles variés, amènent à ne pas voir l'émergence de la synergie comme une convergence des acteurs vers un intérêt commun mais davantage comme une accumulation d'intérêts divers, dont la diversité ne présage pas des conflits qui peuvent en naître (C). Enfin, confrontant ces résultats aux travaux portant sur l'histoire des réseaux urbains, nous mettons en question le rôle des acteurs publics dans la conception de la circulation des flux en ville, arguant que les synergies énergétiques entraînent une confrontation entre une logique de service public et une logique d'optimisation métabolique (D).

A. Des intérêts stratégiques ou opportunistes pour la synergie qui dépassent une vision technico-économique

Au premier degré, notre première hypothèse apparaît validée : dans chacun de nos cas d'étude, les caractéristiques technico-économiques de la synergie ne sont pas au centre de l'argumentaire déployé par les acteurs pour expliquer leur intérêt, quand elles n'en sont pas totalement absentes. Les différents argumentaires emploient au contraire des registres liés à l'environnement, à l'autonomie énergétique, au développement durable, au projet de territoire, à la démonstration technologique ou encore à l'expérimentation. En d'autres termes, si nous utilisons le vocabulaire de l'ANT introduit au second chapitre de cette thèse (Akrich, Callon et Latour, 1988 ; Latour, 1996), nous pouvons expliquer que les acteurs traduisent, à travers leur intérêt pour la synergie, des enjeux autres que celui de l'efficacité technique et économique des systèmes impliqués dans cette dernière. Dans certains cas, et notamment pour ce qui concerne les acteurs privés producteurs de chaleur fatale, il est même explicitement avancé que les gains financiers ne font pas partie des objectifs de la synergie. La contrainte financière qui lie tous les acteurs est ainsi réduite à son minimum : la synergie ne doit pas représenter un surcoût.

Toutefois, au terme de l'analyse empirique, l'usage du terme stratégie, défini comme une série d'actions plus ou moins efficaces pour parvenir à un but (voir chapitre 3), pour

caractériser l'intérêt des acteurs, appelle à une discussion qui nous permet de distinguer différents registres d'argumentation. À Dunkerque et à Lyon, des stratégies dans lesquelles s'inscrivent explicitement les synergies sont bien construites par les initiateurs (ou porteurs) des projets. D'une part, à Dunkerque, l'objectif des municipalités (regroupées au sein du SICURD) pour la première captation est de parvenir à une plus grande autonomie énergétique dont la récupération de chaleur est un moyen. Pour la seconde captation, il s'agit d'améliorer l'efficacité environnementale de l'approvisionnement énergétique local. D'autre part, à Lyon, Bouygues Immobilier construit la mutualisation énergétique à l'échelle de l'îlot comme un moyen de faire la preuve de sa capacité à produire un morceau de ville, selon ce que nous qualifions de stratégie d'entreprise.

Pour le reste, la possibilité de synergie apparaît être saisie comme une opportunité plutôt que délibérément intégrée à une stratégie : en effet, les argumentaires déployés par les autres acteurs impliqués ne font jamais référence à une telle construction. Le cas du Val d'Europe est une illustration d'autant plus parlante de ce constat que le SAN, acteur à l'origine du projet, explique avoir saisi la possibilité de récupération de chaleur sans qu'elle ne soit reliée à une stratégie qui l'intègre *a priori* : « c'est un peu le fruit du hasard » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe 24/09/2014). Ceci est par exemple illustré par le changement de nature du projet, qui passe d'un simple échange entre le *data center* et la piscine à un réseau de chaleur, à partir du moment où un opérateur énergétique est impliqué.

Plus précisément, nous pouvons distinguer deux registres d'argumentation relevant de cette attitude opportuniste. D'un côté, certains acteurs raccrochent *a posteriori* leur intérêt à une stratégie qui ne l'intégrait pas à l'origine. C'est par exemple le cas à Lyon où les acteurs de l'aménagement du quartier de La Confluence, la collectivité et l'aménageur, intègrent l'îlot Hikari à une stratégie énergétique construite progressivement pour l'opération d'aménagement : la mutualisation est bien vue comme un outil pour participer à l'objectif « zéro carbone » et à une stratégie partenariale visant à obtenir des aides financières pour le projet, mais elle n'est pas construite comme une condition nécessaire à l'atteinte de ces objectifs. De même, Toshiba et son financeur, le NEDO, l'intègrent à leur stratégie de démonstration technologique sans que la synergie en elle-même ne joue un rôle dans cette dernière. Au Val d'Europe également, outre le SAN qui intègre *a posteriori* la synergie à une stratégie pour l'approvisionnement énergétique d'abord de la piscine puis du parc d'entreprise, l'ensemble des acteurs raccroche opportunément la synergie à des stratégies

d'ordres divers : Dalkia y voit une opportunité commerciale et d'expérimentation, l'Epamarne y perçoit une façon d'aller dans le sens de la définition de Marne-la-Vallée comme « territoire du développement durable » et, enfin, Disney la raccroche à une stratégie de création d'une image de qualité pour le parc d'entreprises.

D'un autre côté, dans un dernier registre d'argumentation, certains acteurs justifient leur implication par le faible impact de la synergie sur leurs activités, suivant une attitude que nous pouvons qualifier de passive. Le cas du Val d'Europe en offre une illustration particulièrement parlante puisque l'interlocuteur interrogé à la banque explique en particulier l'intérêt pour la synergie par une double négation : « il n'y avait pas de raison fondamentale, intrinsèque, de ne pas le faire » (Entretien avec le responsable des travaux de la banque, 10/12/2014). En outre, la reconstitution de l'intérêt de l'industriel lors de l'émergence de la première captation à Dunkerque, malgré sa difficulté due à l'ancienneté du processus, nous a permis d'observer une même attitude passive : l'intérêt de l'industriel pour la synergie provient principalement de la faiblesse des désavantages qu'elle entraîne.

En somme, nous pouvons qualifier le processus d'émergence des synergies d'une hybridation entre des stratégies construites et des intérêts plus opportunistes, qui intègrent la synergie *a posteriori* à diverses stratégies ou bien qui relèvent d'une attitude passive attribuant un effet neutre à la synergie. Ces trois registres de justification ne sont bien sûr pas nécessairement indépendants et peuvent être combinés dans l'argumentaire d'un acteur : par exemple, la banque propriétaire du *data center* au Val d'Europe associe le faible impact sur ses activités au raccrochement à une stratégie visant à appliquer une démarche de conception environnementale à l'ensemble de ses constructions.

En outre, les différents intérêts ne sont bien entendu pas figés, conformément à ce que montrent les travaux de l'ANT sur la dynamique de la constitution des réseaux d'acteurs dans les projets techniques (Latour, 1996). Par exemple, le cas de la seconde captation à Dunkerque nous montre la transformation de l'intérêt d'un acteur : alors que, lors de la première récupération, l'industriel se place dans une attitude passive, il construit dans le second cas une stratégie environnementale, liée à la gestion des poussières, et co-construit la synergie en ce sens. De même, alors que dans le premier cas la Compagnie Générale de Chauffe répond de manière opportuniste à un appel à projet, dans le cadre d'une stratégie commerciale, dans le second, Dalkia se trouve à l'origine du projet de captation, construit pour répondre à une stratégie d'augmentation des parts d'énergie décarbonée dans le réseau.

Ainsi, les intérêts ne dépendent pas uniquement du rôle que les acteurs sont amenés à jouer dans la matérialité de la synergie mais également de facteurs exogènes à cette dernière, tels que des contraintes réglementaires ou matérielles, ou encore des mots d'ordre qui s'exercent sur les acteurs et qui peuvent évoluer dans le temps.

À travers les différents exemples mobilisés jusqu'ici, nous avons finalement évoqué et caractérisé l'ensemble des intérêts des acteurs impliqués dans nos cas d'étude. Pour plus de clarté, la Figure 7.1 les réordonne selon chaque cas, distinguant la première et la seconde captations à Dunkerque puisque nous avons vu qu'elles relevaient d'intérêts différents. Elle reprend les schémas d'organisation des acteurs produits dans les trois chapitres précédents, supprimant toutefois la nature des relations formelles qui les lient, pour une lecture plus aisée, ces dernières pouvant donc être retrouvées ailleurs. En outre, dans le cas de Lyon, les AMO (nommément Hespul et Manaslu) ont été supprimés, puisque nous n'avons conservé dans l'analyse que les acteurs ayant un rôle décisionnaire dans la mise en œuvre de la synergie.

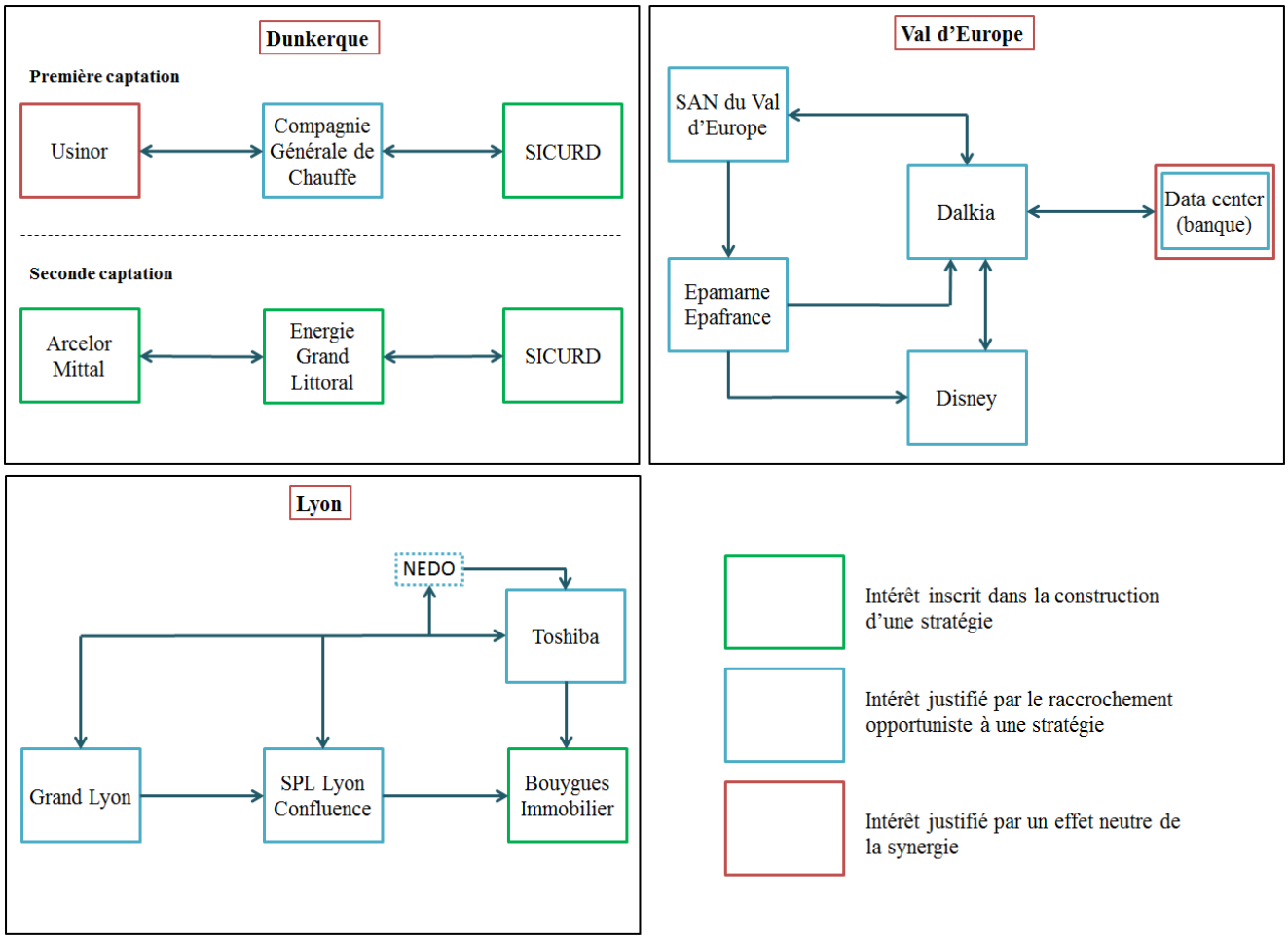


Figure 7.1 : Représentation des différentes formes d'intérêt des acteurs pour la synergie – Réalisation personnelle

B. Des processus d'intégration des intérêts hétérogènes, conditionnés par l'organisation territoriale préexistante

Partant de cette analyse « à plat » des intérêts des acteurs, comme l'illustre la forme prise par les schémas de la Figure 7.1, nous pouvons à présent nous intéresser au processus d'émergence de la synergie, c'est-à-dire à la manière dont ces différents intérêts sont convoqués dans le temps. L'objectif n'est donc plus de comprendre ce qui justifie l'implication des différents acteurs mais les conditions de l'articulation de leurs intérêts.

Dans chacun de nos cas d'étude, nous avons pu observer qu'un unique acteur initie le processus, en ce qu'il se charge seul de faire la preuve d'une « faisabilité » de la synergie, c'est-à-dire de l'existence d'une forme de complémentarité entre des flux et des systèmes techniques encore dissociés. Ainsi, à Dunkerque, les deux étapes de la récupération sont initiées par des études techniques commandées par les collectivités locales. Au Val d'Europe, le SAN analyse le permis de construire du *data center* pour évaluer les conditions techniques de la récupération. Enfin, à Lyon, Manaslu Ing., pour le compte de Bouygues Immobilier, lance des calculs dynamiques pour estimer les conditions techniques dans lesquelles la mise en œuvre de la synergie est possible.

Dans ce cadre, on perçoit l'importance de la matérialité et de l'organisation du territoire comme conditionnement du processus d'émergence de la synergie. Tout d'abord, c'est bien l'existence de proximités géographiques qui s'impose comme préalable à sa mise en œuvre : les études techniques ne sont entamées que parce qu'une proximité est auparavant perçue par ces acteurs initiateurs et considérée suffisante pour envisager les échanges.

Ensuite, les systèmes techniques préexistants à la synergie et les temporalités d'action des parties prenantes impliquées dans la construction du territoire influencent le processus de constitution des intérêts, comme illustré par une comparaison entre les cas de Dunkerque et du Val d'Europe. Lors de la première étape de la captation à Dunkerque, les systèmes de récupération interagissent peu avec le système technique déjà en place et peuvent être installés à tout moment. Au contraire, dans le cas du Val d'Europe, une coordination temporelle entre la construction des systèmes de refroidissement du *data center* et de récupération est nécessaire. Aussi, bien que les systèmes techniques spécifiques à la connexion soient considérés comme simples par les acteurs, les conditions préalables à l'émergence de la synergie sont autant spatiales et temporelles que techniques : il s'agit de trouver en temps et lieu communs des activités complémentaires sur le plan énergétique et il est également

nécessaire que les acteurs initiateurs considèrent que la mise en lien des systèmes techniques soit réalisable, selon des critères qui leur sont propres et qui traduisent leur disposition ou non à changer leur mode de fonctionnement.

Enfin, les relations préexistantes entre les acteurs jouent également un rôle dans l'initiation du processus, comme illustré par la mention du travail collectif sur l'industrie et l'environnement à Dunkerque ou par les échanges informels continus entre le SAN et Dalkia au Val d'Europe. Elles ne sont toutefois pas nécessaires, comme en atteste le cas de Lyon où l'on parle par exemple d'« exercice imposé » dans lequel les acteurs sont mis en lien par des mécanismes qui n'apparaissent pas territorialisés, mais on constate bien qu'elles peuvent faire partie des conditions d'émergence. Ainsi, de manière générale, nous retrouvons ici l'importance de la territorialité, et tout particulièrement des proximités géographiques et organisées, dans l'émergence des synergies, dont les travaux d'écologie territoriale ont fait le fondement de leur approche (Beaurain et Brullot, 2011 ; Bognon, 2014 ; Buclet, 2015 ; Duret *et al*., 2007).

En fonction de ces conditions territoriales, on observe que le périmètre des acteurs impliqués dans la synergie (ou le réseau d'acteurs si l'on reprend la terminologie de l'ANT (Latour, 2005)) se constitue de manière différente d'un cas à l'autre, d'une façon qu'il n'est en outre pas toujours aisée de reconstituer. En effet, dans la suite du processus, le ralliement (ou intéressement (Akrich, Callon et Latour, 1988)) des autres acteurs ne suit pas un ordre ou un mode opératoire précis. Ainsi, à Dunkerque, la collectivité convainc d'abord l'industriel avant d'intégrer un opérateur au travers d'une opération commerciale classique de délégation de service public. Au Val d'Europe, la collectivité approche en premier lieu la banque pour lui proposer l'échange de chaleur, sans succès, et intègre finalement un opérateur au processus pour faire le lien entre acteurs public et privés. À Lyon, Bouygues Immobilier se trouve à l'origine de la mutualisation énergétique et l'ensemble des acteurs liés au processus pour des raisons réglementaires restent en retrait de l'émergence de la synergie. Ainsi, sur le plan de la constitution du cercle d'acteurs, on n'observe pas une homogénéité qui pourrait être une spécificité des synergies énergétiques.

Plus particulièrement, on observe deux formes de divergences. En premier lieu, nous avons vu que dans les cas de Dunkerque et de Lyon, les acteurs initiateurs des synergies que sont le SICURD et Bouygues Immobilier placent leur intérêt dans la construction d'une stratégie tandis qu'il n'en existe pas de telle au Val d'Europe. Nous avons parallèlement constaté que dans ce dernier cas, l'intégration de l'opérateur est nécessaire à l'implication de la banque.

Sans tirer de conclusion d'ordre général à partir d'un unique cas, cette conjonction de faits nous amène toutefois à supposer que l'absence d'une stratégie construite dans laquelle s'intègre la synergie se traduit par un intérêt plus faible de la part de l'acteur initiateur, qui n'est donc pas moteur, si bien que d'autres intérêts doivent être convoqués.

En second lieu, lorsque la conjonction des intérêts est suffisamment importante pour initier le processus, qu'elle soit le fait ou non de stratégies construites par des acteurs, que nous pouvons cette fois-ci qualifier de moteur, on constate que le processus d'intégration des autres acteurs ne se déroule pas de la même façon. D'un côté, à Dunkerque ou au Val d'Europe, les intérêts des acteurs sont successivement intégrés lorsque leur rôle dans la synergie s'avère nécessaire. Ainsi, pour la première récupération de Dunkerque, la stratégie d'autonomie énergétique pour la collectivité et l'intérêt neutre de l'industriel font émerger le projet de récupération de chaleur et autorisent ensuite le positionnement de l'opérateur énergétique pour en assurer la construction technique et l'exploitation. Dans la seconde captation, l'ensemble des stratégies de ces trois acteurs se rencontre pour co-construire le projet. Au Val d'Europe, nous avons vu que la collectivité, la banque et l'opérateur imaginent communément la synergie. Par la suite, Disney et l'aménageur[151] sont convoqués par nécessité, en raison de leur implication dans l'aménagement du territoire.

D'un autre côté, à Lyon, le processus apparaît inversé et s'apparente davantage à une succession de cadrages des possibles qui autorisent l'émergence de la synergie : l'aménageur donne progressivement un contenu énergétique à l'opération d'aménagement, puis une volonté de partenariat et enfin une stratégie de démonstration technologique décident de la construction d'un îlot à énergie positive. Ce n'est qu'au bout du processus que le projet d'une mutualisation énergétique sur l'îlot émerge, tandis que les acteurs impliqués, autres que l'initiateur du projet qu'est Bouygues Immobilier, le raccrochent *a posteriori* aux stratégies déployées antérieurement.

Ces récits des différents processus font apparaître l'existence de deux types d'étapes dans l'émergence des synergies : d'une part, la mobilisation de l'intérêt de certains acteurs est déterminante pour la constitution du projet tandis que, d'autre part, toute une série d'acteurs ne jouent qu'un rôle d'autorisation (réglementaire ou non) de ce dernier. La distinction entre les processus survenant à Dunkerque ou au Val d'Europe d'un côté et à Lyon de l'autre montre que la mobilisation de ces différents rôles ne suit pas d'ordre précis : l'autorisation

[151] Nous revenons plus loin sur le conflit qui émerge lors de l'intégration de l'aménageur.

peut être un état de fait saisi par un (ou des) acteur(s) initiateur(s) ou bien elle peut être construite *a posteriori*.

Ainsi, si nous extrayons les acteurs en eux-mêmes de l'analyse et nous concentrons sur le contenu des registres par lesquels ils justifient leur intérêt pour la synergie, nous pouvons construire les schémas représentés sur la Figure 7.2, qui constituent un mode de représentation de l'émergence de ces systèmes sous forme de processus. Mis bout à bout avec ceux de la Figure 7.1 présentée plus haut, ils ont pour objectif de donner une image de cette dernière qui soit différenciée selon les acteurs d'une part et dynamique d'autre part.

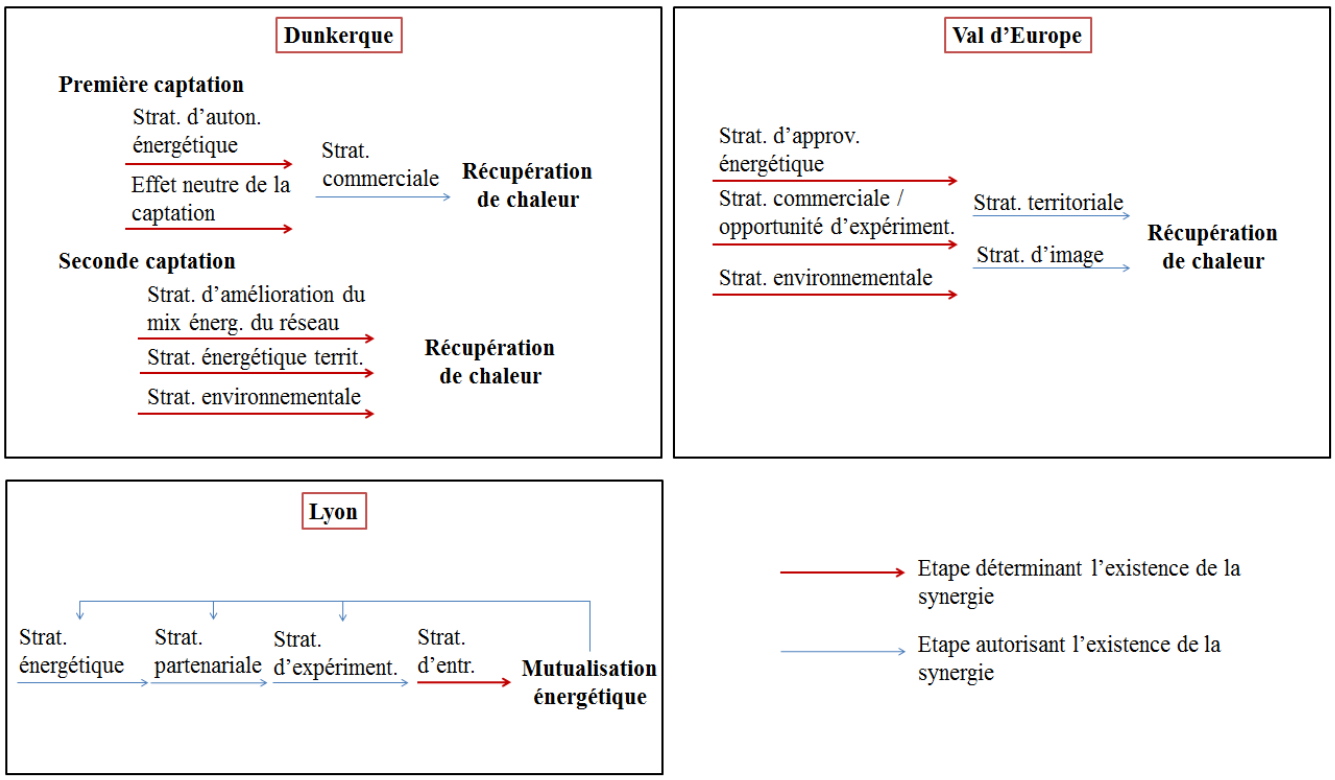


Figure 7.2 : Représentation schématique des processus d'intégration des différentes stratégies d'acteurs dans le projet de synergie – Réalisation personnelle

C. Planification et conflictualité : l'émergence des synergies comme une accumulation d'intérêts plutôt qu'une convergence

Cette analyse limitée à la phase amont de la synergie, c'est-à-dire au processus qui précède la décision partagée de sa mise en œuvre matérielle, nous permet de discuter les travaux qui portent sur l'émergence de démarches d'écologie industrielle, le plus souvent sous l'angle de la recherche des conditions qui la favorisent. En effet, comme nous l'avons évoqué dans le troisième chapitre de cette thèse, certains écrits du champ avancent que, tout autant que la

possibilité d'une coordination technique entre les différents processus des entreprises, les gains financiers sont une condition nécessaire à la mise en œuvre de synergies éco-industrielles, (Baas et Boons, 2004 ; Beaurain et Varlet, 2014b; Chertow, 2007 ; Esty et Porter, 1998), comme l'illustre une conclusion tenue par Pierre Desrochers (Desrochers, 2001) : *"in recent decades, localized interdindustry recycling linkages spontaneously developed in several European and American cities primarily because they made good business sense and only secondarily because they produced environmentally positive effects"*. Au premier degré, les résultats de notre recherche présentés ici montrent que cette condition n'apparaît pas nécessaire dans le cas des synergies énergétiques urbaines étudiées : dans aucun des cas un argumentaire économique n'a été déployé par l'ensemble des acteurs impliqués. Aussi, une conception de ces synergies comme relevant d'une logique d' « affaires » (*business*) ne semble pas adaptée.

À un second degré, il nous faut replacer ce résultat défendu par un certain nombre d'auteurs dans un débat qui anime le champ depuis ses débuts, que nous avons évoqué sans développement au chapitre 3 et qui oppose les tenants de deux visions opposées de ce que devrait être l'écologie industrielle : l'une planificatrice et l'autre libérale (Curien, 2014) ou, en d'autres termes, l'une *top-down* et l'autre *bottom-up* (Maillefert et Schalchli, 2010). Tandis que la seconde associe ces démarches au « bon sens des affaires » évoqué plus haut, dont aucune forme d'intervention ne pourrait améliorer les effets, la seconde encourage une telle intervention de la part de la puissance publique. Cette seconde vision s'appuie sur la révélation de la complexité des facteurs sur lesquels reposent les relations inter-entreprises qui accompagnent ces démarches (Ashton et Bain, 2012 ; Boons et Baas, 1997 ; Ehrenfeld, 2004). Ainsi, par exemple, Elisa Conticelli et Simona Tondelli (2014) estiment qu'une forme d'intervention est pertinente pour les construire, "*to define a path to build trusty relationships and interchange opportunities among firms that are already settled in a given area or interested in entering into a firm's network"*. De même, Leïa Abitbol prend pour acquise l'existence de « promoteurs de projets » et analyse les facteurs de réussite de leur intervention dans l'émergence de synergies dans lesquelles ils ne sont pas matériellement impliqués (Abitbol, 2012).

Si la pertinence de ce débat est parfois remise en cause car il correspondrait à une opposition entre deux formes canoniques que l'on ne retrouve pas en réalité (Maillefert et Schalchli, 2010), il nous permet toutefois de discuter le rôle des acteurs publics dans les synergies que nous avons étudiées. En effet, nous avons supposé en guise de sous-hypothèse que le

caractère essentiel du service de distribution associé aux flux dont nous analysons les échanges entraîne un rôle d'acteurs publics, selon des intérêts décalés par rapport à ceux des acteurs privés, les distinguant en cela de synergies éco-industrielles. Les résultats de nos études de cas conceptualisés dans les schémas représentés Figure 7.1 et Figure 7.2 ne nous permettent pas de relever un rôle ou des intérêts caractéristiques des acteurs publics dans l'émergence des synergies. Ainsi, nous n'observons pas une dichotomie entre, d'un côté, un intérêt économique pour les acteurs privés et, de l'autre, des intérêts environnementaux et sociaux pour les acteurs publics, comme il a pu l'être montré dans le cadre de l'analyse de symbioses industrielles (Beaurain et Varlet, 2014b, 2015). De même, le rôle des acteurs publics dans le processus d'émergence de la synergie n'est pas uniforme. En premier lieu, à Dunkerque, l'intervention du SICURD joue bien plus qu'un rôle de planification ou d'incitation : elle encadre entièrement la circulation de la chaleur fatale en appelant la récupération de chaleur de ses vœux, en portant le financement et en permettant la construction matérielle de l'infrastructure qui la sous-tend (selon des responsabilités partagées contractuellement et réglementairement avec l'opérateur). En second lieu, au Val d'Europe, le SAN ne joue qu'un rôle d'initiateur, sans que la récupération n'ait fait partie d'un travail de planification, et laisse place aux acteurs privés (tout en restant impliqué de manière informelle, comme nous l'avons vu) pour définir les conditions de la circulation de chaleur[152]. Enfin, à Lyon, l'acteur moteur est privé et les acteurs publics ont peu à voir avec l'organisation des circulations énergétiques au sein de l'îlot.

On constate donc qu'il n'existe pas de régularité dans le rôle que jouent les acteurs publics dans l'émergence des synergies, ces derniers pouvant totalement l'encadrer ou bien en être absents. Pour autant, nous observons bien que le caractère spécifique des flux échangés, liés à un service public, crée des particularités en comparaison de synergies éco-industrielles entre entreprises privées. Tout d'abord, à Dunkerque, l'organisation des relations d'acteurs provient largement du cadre juridique créé pour assurer un service public, le rôle de l'opérateur étant contraint par ce dernier. Ensuite, dans le cadre du projet de la seconde captation, on observe des dissensions entre ArcelorMittal d'un côté et Dalkia et le SICURD de l'autre : le premier pose des conditions de temps à l'acquisition de garanties financières. Ces dissensions s'expliquent par une conflictualité entre les temporalités d'action de l'industriel et de l'opérateur, ce dernier étant soumis aux dynamiques qui animent le financement d'un système en réseau assurant un service public.

[152] Nous revenons plus loin sur le rôle de l'aménageur.

Nous retrouvons cette même confrontation au Val d'Europe, qui vient précisément expliquer le retrait de la collectivité dans la construction et la gestion de la synergie. La temporalité de mobilisation du cadre réglementaire spécifique à l'organisation d'un service public (la DSP) contraint le mode de gestion choisi pour convenir à la dynamique de fonctionnement de l'acteur privé qu'est la banque. Une nouvelle situation de conflit en découle, qui provient à nouveau de l'implication d'acteurs publics : l'aménageur fait valoir une responsabilité vis-à-vis de l'approvisionnement énergétique du parc d'entreprises pour refuser en premier lieu la solution privée choisie par les autres acteurs, ce qui a pour conséquence de ralentir le processus d'émergence de la synergie.

En somme, si nous ne pouvons révéler une opposition claire entre les intérêts des acteurs publics et privés pour la synergie, nous constatons bien que l'intégration d'une dimension publique (collective) dans les synergies énergétiques urbaines n'est pas sans incidence sur les processus qui mènent à leur émergence. Ainsi, elles ne peuvent être considérées, sur le plan des relations d'acteurs en particulier, comme des cas particuliers de synergies éco-industrielles, comme cela l'est pourtant fait dans l'analyse de certaines symbioses (Beaurain et Varlet, 2015 ; Ehrenfeld et Gertler, 1997).

En outre, la mise au jour des deux situations conflictuelles liées à cette particularité nous permet de faire un retour sur la question du faible rôle joué par l'intérêt technico-économique dans les dynamiques d'acteurs. En effet, on constate bien dans ces deux cas de conflit que l'opposition ne porte pas sur le fonctionnement technique ou sur la répartition des coûts et gains financiers liés à la synergie : elle est liée à des visions divergentes du rôle que devraient jouer les acteurs publics dans la distribution d'énergie au sens large. Au-delà, le récit de l'émergence des synergies ne fait pas apparaître d'autres formes de conflictualités qui porteraient sur leur organisation technico-économique. Nous pouvons l'interpréter comme un signe supplémentaire que l'aspect « gagnant-gagnant » sur les plans techniques et économiques de la synergie ne constitue pas la motivation première des acteurs, ce qui corrobore nos premières conclusions.

Plus largement, la faible conflictualité observée dans les phases d'initiation des synergies nous permet de proposer une conclusion d'ordre plus général sur la constitution de l'intérêt commun à l'émergence de la synergie. Ainsi, plutôt que d'observer que la diversité d'intérêts des acteurs entraîne des conflits par leur confrontation, comme l'ont supposé ou montré des travaux d'écologie industrielle (Beaurain et Varlet, 2015 ; Korhonen, 2001 ; Korhonen *et al.*,

2004), ce qui justifierait la nécessité d'une intervention extérieure pour les faire converger (Abitbol, 2012), on s'aperçoit qu'elle peut les prévenir et que, au contraire, la proximité entre des intérêts peut mener au conflit. Ainsi, à Lyon, les intérêts des acteurs sont bien différents mais ne se confrontent pas : ils cohabitent en donnant chacun une signification différente au projet, en le « traduisant » différemment (Callon, 1986). Le conflit observé lors de la mise en œuvre de la seconde captation à Dunkerque nous permet d'illustrer la proposition inverse : alors que le projet de la première récupération au sein duquel les intérêts des acteurs sont très différents se déroule sans heurts, la seconde captation fait émerger le conflit que nous avons décrit plus haut. Or, dans ce cas, l'ensemble des acteurs ont un intérêt lié à la matérialité propre de la synergie, que ce soit pour la récupération de poussière ou de chaleur. L'intérêt de l'industriel devient donc plus fort lors de ce second épisode, mais il se rapproche également de celui des autres acteurs et c'est de ce rapprochement que provient le conflit. Il semble ainsi qu'un alignement sur un même registre d'intérêts soit précisément ce qui entraîne la conflictualité : la synergie se trouve traduite sur un même plan plutôt que sur des plans parallèles, ce qui rend possible la confrontation.

En somme, une diversité d'intérêts n'entraîne pas leur opposition dans des conflits et, en retour, une convergence des intérêts ne prévient pas leur apparition : des intérêts suffisamment lointains peuvent cohabiter sans se rencontrer et donc sans entrer en contradiction, tandis que des intérêts communs peuvent trouver des points de friction. Aussi, l'émergence des synergies dans les cas étudiés ne se caractérise pas tant par une « convergence » d'intérêts ou d'objectifs (Abitbol, 2012 ; Maillefert et Schalchli, 2010) que par une accumulation, un rassemblement d'intérêts dont la diversité ne présage pas de la conflictualité.

D. Le rôle des acteurs publics en questions : quand service public et optimisation métabolique se confrontent

Au terme de cette analyse menée au regard de l'écologie industrielle, dont nous jugeons la mobilisation particulièrement pertinente dans ce cadre étant donné le nombre de travaux du champ s'intéressant aux conditions d'émergence des synergies, nous pouvons revenir sur notre hypothèse de façon plus synthétique et générale, c'est-à-dire en extrayant les résultats d'une démonstration qui fait référence de manière systématique à nos cas d'études. L'objectif est de discuter plus directement la question du processus de mise en réseau de l'urbain au regard du modèle du grand réseau conventionnel.

En définitive et en guise de synthèse, notre analyse nous a permis de faire ressortir une série de résultats qui viennent confirmer pour partie, mais aussi nuancer et enrichir notre hypothèse :

- Les intérêts des acteurs pour la mise en réseau que forme la synergie dépassent son intérêt technico-économique en tant que forme de distribution d'énergie.
- Mais ces intérêts ne sont pas tous liés à des stratégies construites dans lesquelles la synergie ait été délibérément inscrite. D'autres registres de justification sont observés : dans certains cas, elle est raccrochée opportunément à une stratégie *a posteriori* et dans d'autres cas encore l'intérêt est « neutre », au sens où les acteurs revendiquent un laisser-faire plutôt qu'une implication volontariste.
- Le processus de mobilisation de ces différents intérêts est conditionné par la matérialité et l'organisation du territoire, et tout particulièrement par les différentes proximités géographiques et organisées qui préexistent à la synergie.
- Les intérêts des acteurs ne jouent pas tous le même rôle dans ce processus : certains sont déterminants pour initier la synergie quand d'autres sont nécessaires pour la permettre (ou l'autoriser selon le vocabulaire que nous avons utilisé plus haut). La mobilisation de ces différentes formes d'intérêt dans le processus d'émergence ne suit toutefois pas un ordre donné. Plus précisément, les intérêts qui autorisent la synergie ne sont pas nécessairement convoqués après ceux qui l'initient : au contraire, les premiers peuvent constituer un cadrage *a priori* rendant possible l'expression des seconds.
- L'un des caractères spécifiques des synergies énergétiques urbaines, en comparaison des synergies éco-industrielles, qu'est leur lien avec un service public, ne confère pas un rôle particulier aux acteurs publics dans leur émergence. Pour autant, cette distinction n'est pas sans incidences sur le déroulé du processus et ainsi sur les caractéristiques des synergies, si bien qu'il n'est pas possible de les considérer comme des cas particuliers de synergies éco-industrielles.
- Enfin, l'émergence des synergies ne se conçoit pas tant comme une convergence vers un intérêt commun que comme une accumulation d'intérêts dont la diversité n'est pas un gage de conflictualité tandis qu'une similarité peut générer des tensions.

Ainsi, notre analyse fait bien apparaître un changement par rapport au modèle du grand réseau centralisé : il ne s'agit pas ici de rechercher l'efficacité technico-économique, c'est-à-dire la réduction des coûts et la simplification de la gestion de systèmes techniques. Bien que les

formes de mise en réseau considérées puissent être, comme nous l'avons vu dans la première partie de cette thèse et comme l'explique l'écologie industrielle (Chertow, 2007), précisément vecteur de gains économiques pour l'ensemble des acteurs, nous constatons qu'il ne s'agit pas du registre de justification mobilisé par ces derniers. En particulier, la question des économies d'échelle (Curien, 2000), centrale dans le modèle conventionnel, n'est pas mobilisée.

Au contraire, de la diversité des intérêts des acteurs pour ces mises en réseau, ressort une prégnance de stratégies qui visent à faire le meilleur usage de ressources énergétiques locales pré-existantes ou produites selon un processus renouvelable, que l'objectif soit celui d'une efficacité environnementale (prenant parfois le nom de développement durable) ou d'une autonomie locale. En d'autres termes, si une forme d'efficacité est toujours recherchée, elle n'est plus technique ou financière mais métabolique, ce qui rejoint l'un des fondements de l'hypothèse du post-réseau (voir le Tableau 1.1 du premier chapitre) qui met, face au modèle technico-économique fondé sur l'expansion du modèle conventionnel, un « modèle de conservation ou de préservation des ressources et des milieux » (Coutard, 2010, p. 114). Aussi, si les intérêts des acteurs accumulés mènent à l'émergence de la synergie, ce n'est pas tant parce qu'ils « convergent » que parce que chacun d'entre eux englobe un objectif d'efficacité dans l'utilisation des ressources énergétiques locales.

Un corolaire de ce résultat porte sur la notion de service. Alors que l'efficacité technico-économique recherchée dans le grand réseau centralisé vise à garantir des gains autant pour les entreprises qui le gèrent que pour les usagers du service qu'il fournit, ce dernier semble absent des registres de justification des acteurs. Cela se traduit en particulier par l'absence des usagers[153] dans le processus d'initiation des synergies, autant en tant qu'acteurs que dans les représentations des parties prenantes. Les synergies sont ainsi construites sans que ne soient pris en compte une partie de ceux qui participent à l'échange des flux, ce qui peut d'ailleurs se traduire par une absence physique de ces derniers lors de l'exploitation de la synergie, comme le montre le cas du Val d'Europe. En outre, lorsque les usagers sont considérés dans le processus d'émergence de ce dernier, c'est-à-dire lorsque l'aménageur craint qu'ils ne se retournent contre lui si le service doit cesser, la logique de service à leur égard est finalement dominée par une stratégie de développement durable pour le territoire, selon un registre qui porte sur l'utilisation des ressources.

[153] Notons bien que la question de la représentation de l'usager dans la construction et la gestion des services en réseau est complexe : elle dépend de conditions économiques, politiques, sociales et technologiques (Coutard et Pflieger, 2002 ; Jaglin et Subrémon, 2015 ; Pilo, 2015 ; Pflieger, 2002 ; Walker et Cass, 2007).

Un second indice nous permettant d'aller plus avant en ce sens se trouve dans le rôle joué par les acteurs publics que nous avons montré n'être pas homogène d'un cas à l'autre, et non nécessaire à l'émergence des mises en réseau. Les travaux sur les réseaux conventionnels montrent au contraire, comme nous l'avons mentionné au chapitre 3, l'importance déterminante de l'intervention publique dans le processus de leur développement sous forme d'universalisation (Coutard et Pflieger, 2002 ; Poupeau, 2004). Dans les cas étudiés, si les acteurs publics ne sont jamais absents, leur rôle n'apparaît au contraire ni nécessaire ni déterminant. Pour autant, ce constat peut ne pas surprendre, pour deux raisons. En effet, d'une part, l'intervention publique dans les réseaux conventionnels n'a pas toujours été aussi importante. Le cas du réseau d'électricité en France en est un exemple fort parlant : de multiples petits réseaux locaux d'initiatives privées se sont développés avant que les collectivités locales ne s'y intéressent puis que l'Etat n'entreprenne, au cours du 20ème siècle, une vaste opération d'uniformisation, d'interconnexion et de nationalisation (Poupeau, 2004). En outre, à partir des années 1970, la libéralisation des services sous l'impulsion de réformes européennes et nationales entraîne un renouveau de l'initiative privée (Lorrain et Stoker, 1997), qui se trouve au fondement de la thèse du *splintering urbanism* évoquée au chapitre 3 (Graham et Marvin, 2001). Pour autant, cette dernière avance que les *premium network spaces* (Graham, 2000) rendus possibles par ce mouvement, ont pour objectif la création de services de qualité supérieure pour des usagers sélectionnés, rompant ainsi avec l'universalité des réseaux conventionnels.

Or, les initiatives privées rencontrées dans nos études de cas n'entrent pas dans cette même stratégie puisque, comme nous l'avons vu, elles ne font pas référence à la notion de service. La création d'un réseau local et qui n'a pas *a priori* vocation à s'étendre (nous discutons cette idée plus avant dans la dernière partie de ce chapitre) n'apparaît donc pas comme le résultat d'une différenciation socio-spatiale mais, c'est en tout cas ce que nous défendons, comme une recherche d'optimisation de l'usage des flux[154]. Ainsi, la place laissée aux acteurs privés pour organiser la circulation des flux ne l'est pas par dessein mais parce que cette optimisation est placée au-dessus de la nécessité d'un contrôle public, comme le cas du Val d'Europe l'illustre parfaitement. Bien sûr, rien ne dit qu'un rapport de force inversé entre ces deux logiques n'existe pas dans d'autres cas de synergies mais notre analyse montre à tout le moins qu'elles peuvent désormais entrer en concurrence.

[154] Ce qui n'empêcherait pas qu'une différenciation socio-spatiale puisse en être un effet, ce que nous n'avons toutefois pas observé dans nos études de cas.

En définitive, il apparaît que la mise en œuvre des réseaux formés par les synergies est motivée par une accumulation d'intérêts stratégiques ou opportunistes qui ont pour point commun de s'accorder avec un objectif d'optimisation de l'usage des flux locaux. À ce jour, cette logique n'est pas associée à une répartition spécifique des responsabilités entre acteurs publics et privés, construites au contraire autour de la notion de service public, ce qui a pour conséquence que nous n'observions pas une attribution homogène des rôles d'un cas à l'autre.

II. Des systèmes instables à chaque bout des tuyaux : interdépendances de flux et d'infrastructures

Dans la deuxième phase de l'analyse de nos cas d'étude, nous nous sommes intéressée à la confrontation des systèmes sociotechniques hétérogènes ou, plus précisément, à leur intégration complète ou à la marge au travers de la synergie. Nous nous sommes en effet interrogée sur la nature des interdépendances qui résultent des synergies ainsi que sur leurs effets sur le fonctionnement des territoires. En préliminaire de ces analyses, nous avons non seulement supposé que des interdépendances existent mais qu'elles créent des instabilités qui font peser des risques sur le système énergétique local.

Dans cette partie, nous commençons par faire l'inventaire des interdépendances observées selon une catégorisation que nous tirons de la lecture d'un réseau comme un assemblage de « couches » de natures diverses, qui peut finalement être lue selon une dualité entre les flux qui circulent entre les acteurs d'une part et les infrastructures qu'ils partagent d'autre part (A). De là, nous montrons que les incertitudes qui pèsent sur certains des systèmes sociotechniques impliqués, tout autant que les retenues d'information entre acteurs, font de ces interdépendances des vecteurs de risque pour la pérennité du système, qui en devient donc bien instable (B). Puis, nous avançons que les risques qui découlent de cette instabilité ne sont pas répartis de manière égale et que, en comparaison du modèle de réseau conventionnel, ils se déplacent vers l'aval de la chaîne d'approvisionnement, c'est-à-dire l'opérateur et les usagers (C). Enfin, nous soutenons qu'en raison de ce déplacement, les synergies énergétiques ne reproduisent pas la solidarisation du territoire qu'engendrent les réseaux conventionnels (D).

A. Quatre couches du réseau pour quatre formes d'interdépendances

L'analyse du fonctionnement réel ou projeté des synergies après leur initiation, c'est-à-dire au cours de leur exploitation, fait sans conteste apparaître une série d'interdépendances, qui se

manifestent par des imbrications entre les actions, les matérialités et les dynamiques qui animent les acteurs, précisément en raison de la mise en réseau. Pour autant, ces interdépendances ne sont pas toutes équivalentes, au sens où elles ne touchent pas aux mêmes caractéristiques de la mise en réseau et n'ont donc pas les mêmes conséquences. En outre, elles n'ont pas toutes la même importance. Aussi, le terme d'interdépendance n'est pas utilisé pour signifier la force des interactions que la synergie fait naître mais pour reprendre les terminologies de l'écologie industrielle (Andrews, 1999 ; Beaurain et Varlet, 2014a ; Roberts, 2004 ; Vernay, 2013) et insister sur leur caractère réciproque : il s'agit bien de situations dans lesquelles chaque sous-système (ou sous-assemblage) impliqué dans la synergie subit des effets plus ou moins forts liés à la mise en réseau.

Avant de comparer la nature et l'importance de ces interdépendances aux « solidarités » qui découlent du fonctionnement des réseaux conventionnels (Coutard et Rutherford, 2015), nous en faisons ici une caractérisation. Au terme des analyses empiriques, nous proposons de les regrouper en catégories d'interdépendances que nous voulons pouvoir être appliquées à tout type de synergie, et même plus loin, à tout type de réseau. Ces dernières s'appuient en fait sur la décomposition d'un réseau en différentes « couches », l'usage de ce terme rappelant explicitement le travail en économie de Nicolas Curien. Celui-ci propose en effet une forme de décomposition pour tout système en réseau qui distingue le réseau-support (l'infrastructure), le réseau-service (les différents services acheminés par le réseau) et le réseau de commande (l'optimisation de l'utilisation de l'infrastructure, notamment par des solution numériques) (Curien, 1993, 2000 ; voir Zembri, 2008 pour un résumé). À sa suite, et cette fois-ci dans le champ des analyses sociotechniques, Jean-Marc Offner propose un modèle du réseau qui s'appuie sur une décomposition du même ordre, à laquelle il ajoute deux couches (ou dimensions, dans les termes de l'auteur) : la morphologie, c'est-à-dire le tracé du réseau, et la territorialité, c'est-à-dire la topologie des points reliés par le réseau (Offner, 1993). En d'autres termes, il intègre une dimension spatiale au modèle.

Ce modèle n'apparaît toutefois pas adéquat pour l'analyse des interdépendances que nous entendons mener, tout d'abord pour des raisons d'inadéquation avec ce que nous avons observé : d'une part, nous avons vu que la notion de service n'était pas pertinente pour comprendre les dynamiques spécifiques qui animent ces formes de mise en réseau et, d'autre part, le « réseau de commande », bien qu'il existe, comme nos visites de terrain de « postes de commande » nous l'ont par exemple montré, ne fait pas surface dans l'analyse des liens entre acteurs puisqu'il est chaque fois contrôlé par un unique opérateur. Ce second constat montre

que, plus fondamentalement peut-être, ce modèle permet une lecture du réseau dont les catégories n'ont pas de sens pour l'ensemble des acteurs. Ainsi, par défaut, le réseau de commande n'entraîne pas des relations entre les mêmes acteurs que le réseau de service. Une analyse plus systématique des interdépendances doit à notre sens s'appuyer sur des dimensions de la mise en réseau qui concernent tous les acteurs impliqués dans les échanges.

En conséquence, les catégories que nous proposons ne prennent pas pour point de départ cette conception, qui est en fait héritée d'une lecture du modèle conventionnel des réseaux. Elles partent d'une conceptualisation plus fondamentale d'un réseau, adaptée des travaux de Gabriel Dupuy sur le réseau technique urbain qui le définit comme « un équipement de mise en relation physique et de mise en rapport social d'éléments localisés du système urbain » (Dupuy, 1984). En d'autres termes, le réseau est ici vu comme un agrégat d'objets techniques, de flux physiques et de rapports et échanges entre acteurs. De là, nous définissons quatre couches non ordonnées, au sens où la mise en réseau est composée de l'ensemble d'entre elles sans qu'aucune ne puisse être considérée sans les autres, qui sont associées à quatre catégories d'interdépendances et qui peuvent à notre sens être appliquées à toute forme de réseau : métaboliques, financières, organisationnelles et techniques. Ainsi, la couche métabolique correspond aux flux physiques et la couche technique correspond aux objets techniques tandis que les couches financière et organisationnelle regroupent les relations et échanges entre acteurs. Nous détaillons leur contenu et analysons leur importance dans chacun des cas d'étude dans ce qui suit.

La catégorie métabolique touche aux flux d'énergie. Les cas de récupération de chaleur en sont bien entendu les exemples les plus parlants puisqu'une variation d'activité de la part du producteur de cette chaleur influence directement l'équilibre métabolique du réseau dans sa globalité. Ainsi, à Dunkerque, nous avons constaté l'importance déterminante des variations des quantités et qualités de flux en provenance d'ArcelorMittal, qu'elles soient dues au fonctionnement routinier de l'industriel ou à des événements non réguliers, sur l'équilibre du mix énergétique du réseau de chaleur : l'opérateur doit faire appel à des flux complémentaires d'une nature physique différente (le fioul dans ce cas). Au Val d'Europe, le constat est le même : l'usage de l'appoint dépend de la quantité et de la nature des flux provenant du *data center*. En outre, la circulation des flux dépend bien entendu des consommations qui, parce qu'elles ne sont pas suffisantes, impactent la qualité (ici la température) des flux qui reviennent à la banque. Nous avons vu que de façon plus générale, la faiblesse de ces

consommations influence tout l'équilibre métabolique du réseau, qui est en outre contraint par les spécificités des systèmes techniques choisis.

En revanche, dans le cas de la mutualisation de La Confluence, les flux d'énergie qui pourraient varier et entraîner des interactions entre acteurs liés par la synergie, c'est-à-dire les flux d'électricité photovoltaïques, sont couplés à ceux du système d'ordre supérieur qu'est le réseau national d'électricité. Les flux de chaleur sont quant à eux produits par la cogénération qui est construite pour s'adapter aux besoins en tout temps. En outre, les systèmes de stockage sont précisément pensés pour limiter l'impact des interdépendances métaboliques en tempérant leur effet sur les systèmes de production : c'est le principe de l'optimisation par le stockage que nous avons présenté au chapitre 6.

La seconde catégorie d'interdépendances est similaire à la première en ce qu'elle s'intéresse à des flux, mais qui sont cette fois-ci d'ordre financier. Si ces deux catégories sont liées, elles ne sont pas équivalentes : les transactions financières entre les acteurs ne sont pas uniquement déterminées par les quantités et qualités de flux. En outre, ces flux sont plus difficiles à évaluer, car les acteurs ne nous ont pas communiqué le détail des transactions financières associées aux synergies. Pour autant, les quelques principes qui nous ont été présentés nous donnent des éléments de réponse.

Notre enquête nous indique en premier lieu qu'il existe effectivement une relation importante entre cette catégorie et la précédente. Tout d'abord, à Dunkerque comme au Val d'Europe, le revenu tiré de la synergie par les entreprises produisant le flux de chaleur fatale dépend en partie de la quantité de flux produite et, en retour, le bilan économique de l'exploitation du réseau y est également lié[155]. En outre, dans le cas de Lyon, les concepteurs de la mutualisation énergétique à l'échelle de l'îlot expliquent que, parallèlement à l'effacement des interdépendances métaboliques, les flux financiers sont organisés pour être strictement liés aux consommations propres de chacun des acteurs liés par la synergie. En d'autres termes, le système est explicitement pensé pour que les consommations énergétiques des uns n'influencent pas les coûts financiers supportés par les autres. Toutefois, nous savons qu'à Dunkerque, l'opérateur verse une redevance à l'industriel pour l'occupation de son terrain : il existe donc également des relations financières qui ne dépendent pas du flux en lui-même, ce qui explique que nous ne mettions pas au premier abord ces deux catégories sur le même plan.

[155] Notons qu'à Dunkerque, comme nous l'avons observé dans l'étude de cas, cette interdépendance n'est pas entièrement reportée sur les usagers puisque le poids de la récupération dans les tarifs de consommations n'est certes pas nul mais minimisé en comparaison de ce qui est mesuré en réalité.

La troisième catégorie porte sur l'organisation interne à chaque acteur : le mode de fonctionnement de la synergie peut les amener – ou non – à faire évoluer les modes de gestion ou l'organisation de leur travail et à interagir avec celle d'autres acteurs. La forme la plus emblématique prise par cette interdépendance au sein de nos cas d'études se trouve à Lyon où le partage des systèmes énergétiques entre les activités regroupées au sein de l'îlot est total, si bien qu'une structure *ad hoc* est créée pour organiser les interactions sur ce point précis. La mise en œuvre de la synergie fait donc explicitement émerger une nouvelle forme d'organisation.

Sur un plan intermédiaire, à Dunkerque, nous avons vu que la maintenance du système de récupération, et donc une partie de l'organisation du travail de l'opérateur du réseau, sont conditionnées par celles des installations techniques de l'industriel et par ses prérogatives de sécurité. Toutefois, ces interactions ne constituent pas une organisation en elle-même, si bien que cette forme d'interdépendance apparaît moins importante dans ce cas que dans celui de Lyon. Enfin, au plus bas de l'échelle, au Val d'Europe, nous avons vu que l'organisation de l'exploitation du réseau est pensée pour que les équipes de l'opérateur n'aient pas à pénétrer dans les locaux de la banque et qu'il n'y ait pas d'interaction avec l'organisation de l'exploitation du *data center*[156].

Enfin, la dernière catégorie touche aux systèmes techniques : la mise en lien par la synergie implique en effet nécessairement un degré d'interaction entre des systèmes qui seraient sans cela découplés. Tout d'abord, il existe une forme d'interdépendance technique, qui n'est pas spécifique aux synergies puisqu'on la retrouve dans toute forme de mise en réseau fondée sur la circulation d'un fluide : l'installation de tuyaux ou de câbles qui permettent la circulation des flux, dont l'existence-même dépend de la mise en réseau. Au-delà, la mutualisation des systèmes de production et de distribution d'énergie à Lyon représente la forme la plus forte d'interdépendance technique rencontrée dans les cas d'étude puisque les systèmes de production habituellement individualisés sont entièrement mis en commun : ils ne deviennent plus qu'un. À Dunkerque, les interactions techniques ne sont pas inexistantes mais elles sont faibles dans le cas de la première captation, au sens où la hotte qui la rend possible n'interagit pas avec le système de production de l'industriel. Cependant, dans le cadre de la seconde

[156] Dans les deux cas de réseau de chaleur, les interdépendances organisationnelles existent également entre l'opérateur et les usagers pour ce qui concerne la maintenance des installations mais elles ne sont pas propres aux synergies : elles sont similaires à celles qui existent dans l'exploitation de n'importe quel réseau de chaleur (maintenance des sous-stations, relevé des compteurs). On constate d'ailleurs que, dans le cas conventionnel, la volonté de limiter ces interdépendances influence la matérialité des systèmes : installation des sous-stations dans des locaux spécifiques, télé-relève des compteurs …

captation, le couplage des récupérations de poussière et de chaleur entraîne leur imbrication dans une installation technique dédiée. Pour finir, au Val d'Europe, les systèmes de refroidissement du *data center* et de traitement et distribution de la chaleur sont physiquement séparés par la réalisation de deux boucles distinctes, à dessein.

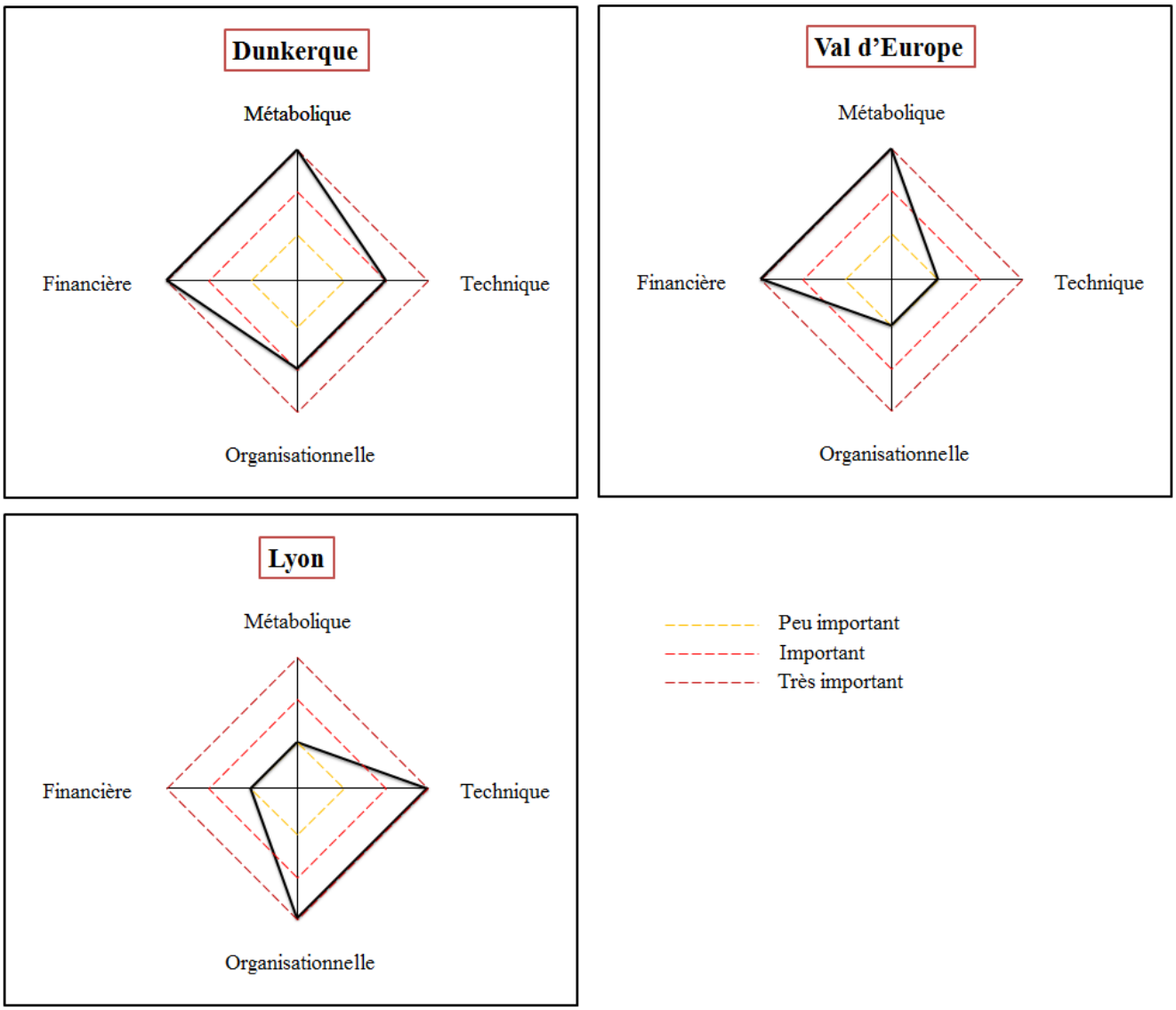


Figure 7.3 : Représentation de l'importance des interdépendances pour chaque cas d'étude - plus on s'éloigne du centre, plus l'interdépendance est importante – Réalisation personnelle

Au terme de cette analyse, nous pouvons représenter l'importance de ces interdépendances pour chacun des cas étudiés, comme proposé sur les schémas regroupés Figure 7.3, ci-dessus. L'échelle qui y est représentée n'a bien entendu de sens que dans le cadre relatif constitué par

nos trois études de cas. Toutefois, cette graduation en trois niveaux peut rappeler, sans en utiliser les termes, la hiérarchie proposée par Anne-Lorène Vernay entre la connexion, la jonction et l'union, que nous avons présentée au chapitre 3 (Vernay, 2013). En outre, l'objectif n'est pas celui d'une comparaison terme à terme : il s'agit de montrer qu'il n'existe pas d'homogénéité quant à la répartition de l'importance de ces interdépendances qui soit inhérente à la forme « synergie énergétique urbaine ».

Bien entendu, ces quatre couches du réseau ne sont pas indépendantes, comme la caractérisation des réseaux comme des systèmes sociomatériels le laisse bien entendre. En conséquence, les interdépendances observées en elles-mêmes entretiennent des liens. Nous l'avons déjà évoqué lorsque nous avons constaté que, par exemple, les circulations des flux d'énergie s'accompagnent de circulations financières. Le cas de Lyon montre également que la séparation des flux financiers s'accompagne d'une absence d'interaction entre les flux physiques à l'échelle de l'îlot après leur production. En outre, la réduction des interdépendances sur ces deux plans est rendue possible par une complexification du système technique à travers l'intégration de systèmes de stockage et de nombreux capteurs visant à rendre la répartition des flux transparente aux yeux des usagers. De la même manière, nous avons vu que les séparations de l'organisation et des systèmes techniques dans le cas du Val d'Europe sont conçues conjointement, la seconde permettant la première.

Sans nous risquer à tirer des conclusions trop générales, puisque nous remarquons que la répartition des interdépendances dépend de nombreux facteurs spécifiques à chaque situation, nous constatons toutefois une forme de régularité dans la structure des schémas représentés Figure 7.3. En effet, interdépendances techniques et organisationnelles d'un côté et interdépendances métaboliques et financières de l'autre paraissent être d'importance relative comparable. Partant de ce constat, le rapprochement des deux premières catégories par leur nature de flux nous incite à rechercher de la même façon un chapeau commun aux deux autres formes d'interdépendances. L'examen des études de cas nous montre que, dans les faits, les deux premières catégories sont toutes deux liées au partage de systèmes techniques : dans tous les cas, les organisations de l'exploitation et le degré d'interaction entre les systèmes techniques sont liés.

De là, nous proposons de regrouper les interdépendances en deux catégories : d'un côté, les interdépendances de flux, liées à toutes les formes de circulation entre les points du réseau et, de l'autre, les interdépendances d'infrastructures, qui résultent du partage du système

technique permettant ces circulations. Cette séparation dichotomique simple nous permet en outre de construire un plan dans lequel peuvent être situées toutes les formes de mise en réseau (voir Figure 7.4 pour nos cas d'études), au-delà de nos cas d'études et au-delà des synergies. Par exemple, les réseaux conventionnels d'énergie ont pour caractéristique de réduire au minimum ces deux formes d'interdépendances en centralisant production et fourniture d'énergie et en contrôlant le système de production pour qu'il réponde aux besoins en tout temps. Nous verrons toutefois dans le chapitre suivant que des mouvements d'ouverture à de nouvelles circulations de flux tendent à changer la donne pour ces derniers.

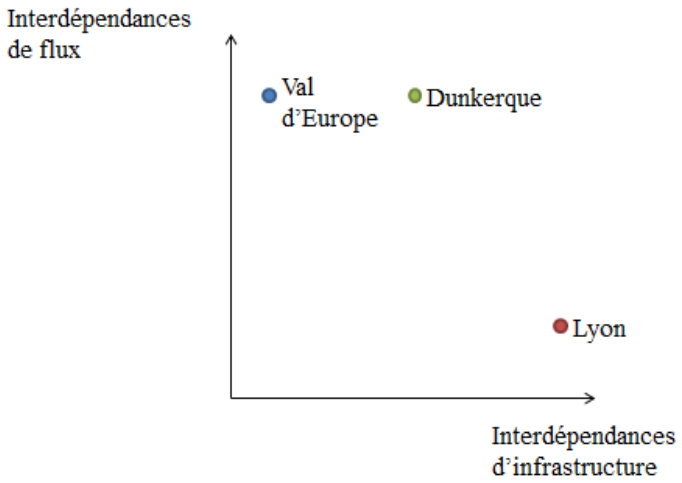


Figure 7.4 : Représentation de l'importance des interdépendances pour chaque cas d'étude sous deux catégories – Réalisation personnelle

B. Des interdépendances aux instabilités : un réseau pris entre incertitudes et inconnues

À présent que nous avons mise au jour l'existence de ces interdépendances, nous pouvons en discuter les effets. Notre hypothèse de recherche leur associait en effet une instabilité menant à des risques pour le système énergétique local. Plus précisément, nous avons supposé que des incertitudes quant à l'évolution de chaque sous-système sociotechnique impliqué dans la synergie font peser un risque sur le devenir de l'existence d'une circulation de flux.

Avant d'entrer plus avant dans l'analyse, précisons ici que nous ne suivons pas la dichotomie que l'on retrouve dans certains champs, et notamment dans celui de l'économie, entre le risque et l'incertitude, selon laquelle le premier est quantifiable, probabilisable, tandis que la seconde n'est pas connue de cette manière (Knight, 2012). Au contraire, reprenant les définitions de la géographie, nous considérons que le risque est un effet jugé dommageable

d'un aléa qui dépend de l'enjeu ou de la vulnérabilité du système humain qui peut y être soumis (Veyret et Reghezza, 2006). L'incertitude est quant à elle une difficulté ou une impossibilité de se représenter l'avenir avec exactitude[157]. Aussi, nous considérons que l'existence d'un risque découle d'une forme d'incertitude, au sens où les acteurs perçoivent un risque lorsque, face à l'incertitude, l'un des scénarios possibles dans l'avenir est considéré comme négatif[158].

L'analyse des différentes dynamiques qui animent les synergies, menées dans les chapitres précédents, nous permet de valider cette hypothèse au premier ordre. Dans chacun des cas, nous constatons en effet que certains acteurs mettent en doute la pérennité des échanges. En d'autres termes, il apparaît que de leur point de vue la stabilité du système dans le temps est vulnérabilisée par un certain nombre d'incertitudes, au sens où sa capacité à assurer efficacement un approvisionnement énergétique est régulièrement remise en cause.

Ainsi, dans les deux cas de récupération, c'est l'équilibre métabolique du système qui est rendu instable par les incertitudes qui pèsent sur l'évolution des flux. À Dunkerque, les incertitudes se trouvent principalement du côté de la production de chaleur : la question de l'horizon temporel jusqu'auquel il soit possible de compter sur cette production, et en quelle quantité, est explicitement posée par les collectivités, d'autant plus que des variations importantes sont effectivement observées. Au Val d'Europe, c'est de l'autre côté du tuyau que se trouvent en majorité les incertitudes, puisque l'ensemble des acteurs s'inquiète de l'arrivée ou non de consommateurs et donc de la possibilité même de garantir l'écoulement du flux. À Lyon enfin, les interdépendances portant principalement sur l'infrastructure, les craintes des acteurs sont liées à ces dernières et plus précisément aux difficultés que pourrait entraîner leur gestion mutualisée[159]. On constate donc bien un lien direct entre la nature des interdépendances et celle des formes de risque que les acteurs perçoivent pour le futur du système.

La lecture du terrain nous permet en outre de distinguer deux formes d'incertitudes. D'un côté certaines sont partagées par les acteurs impliqués, au sens où aucun d'entre eux n'est capable

[157] Voir le glossaire de Géo Confluences sur le sujet :
http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/incertitudes-certitudes

[158] Notons bien que nous choisissons simplement ces définitions car elles font plus de sens dans le déroulé de notre démonstration qui ne s'appuie pas sur la possibilité qu'ont les acteurs de mettre en probabilité ou non les événements qui pourraient créer des dommages. Nous ne considérons en rien que l'une des deux distinctions soit plus pertinente que l'autre. En d'autres termes, nous n'entendons pas entrer dans les débats des études sur les risques, puisqu'il ne s'agit en rien du cœur de notre recherche.

[159] Nous avons vu dans l'Encadré 6.4, que ces incertitudes pouvaient justifier dans d'autres cas la non mise en œuvre d'une mutualisation.

de lever l'incertitude. C'est par exemple le cas de la pérennité du site d'ArcelorMittal à Dunkerque : bien sûr, l'industriel possède davantage d'information pour estimer la possibilité de départ mais il n'est pas plus capable que la collectivité ou l'opérateur de répondre avec exactitude à la question de sa présence sur le temps long. De même, au Val d'Europe, l'opérateur et les acteurs publics ne savent pas combien de tranches de *data center* seront construites, et dans quelle quantité de chaleur sera disponible, mais la banque n'en sait pas plus. Enfin, à Lyon, la bonne exploitation du système mutualisé dépend de dynamiques collectives qu'aucun des acteurs ne peut prévoir.

D'un autre côté, certaines incertitudes peuvent être plus précisément décrites par l'usage du terme d'inconnue. Elles découlent d'une asymétrie d'information entre les acteurs, si bien qu'une information relative à l'un des sous-systèmes sociomatériels, qui pourrait être obtenue, reste inconnue à certains d'entre eux. C'est par exemple le cas au Val d'Europe lorsque l'opérateur nous explique que l'impossibilité d'accès régulier aux systèmes techniques du *data center* ne leur permet pas de comprendre certaines variations dans la quantité ou la qualité du flux, qui impactent pourtant l'équilibre métabolique et financier du réseau de chaleur. De même, à Dunkerque, nous avons vu que l'opérateur n'est pas toujours tenu au courant des évolutions des conditions d'accès au site, ce qui contraint son travail d'exploitation.

Cette seconde forme d'incertitude prend sa source non pas dans les dynamiques qui sont propres à chaque acteur, mais dans l'organisation de la synergie en elle-même, au sens où elle dépend du degré d'interdépendance consenti par les acteurs. C'est en effet parce que la banque refuse les interactions avec l'exploitation du réseau que les informations ne circulent pas toutes et que le réseau se trouve vulnérabilisé. Cette analyse fait directement écho au paradoxe de l'autonomie proposé par Anne-Lorène Vernay, que nous avons déjà discuté au chapitre 3 (Vernay, 2013). Rappelons-nous en effet que cette dernière avance que, d'un côté, l'intégration de systèmes urbains usuellement déconnectés nécessite que les acteurs acceptent d'être partiellement dépendants les uns des autres alors que, d'un autre, ils sont d'autant plus disposés à accepter l'intégration qu'ils peuvent rester autonomes. Cette analyse est parfaitement exemplifiée par le cas du Val d'Europe où l'absence de connexion de nombreuses entreprises provient de leur refus de devoir adapter leurs systèmes techniques ou de dépendre d'un réseau dont elles ne maîtrisent pas le fonctionnement. De manière plus générale et sans nécessairement utiliser le mot de paradoxe, nous observons ici une variante de cette tension : autant les acteurs cherchent à limiter les interdépendances entre les

systèmes, autant ils risquent de compromettre le bon fonctionnement de la synergie en imposant trop de contraintes aux autres acteurs.

Ainsi, en définitive, cette analyse nous permet de valider l'hypothèse d'une forte instabilité de tels systèmes. D'un côté, lorsque les interdépendances sont fortes, les effets d'évolutions incertaines des sous-systèmes sociomatériels sur la synergie sont également forts et peuvent, comme nous le rappelons dans la partie suivante de ce chapitre, en compromettre la pérennité. D'un autre côté, lorsque ces interdépendances ne sont pas suffisamment fortes, les asymétries d'information entre systèmes sociomatériels peuvent compromettre leur efficacité et donc, à plus long terme leur pérennité également. Il en résulte que l'équilibre de ces formes de mise en réseau, pris entre deux logiques qui s'opposent, n'est pas stable.

De façon générale, l'ensemble de ces résultats nous permet de confirmer que les synergies doivent être analysées en termes dynamiques : le rapport des acteurs aux flux ou aux infrastructures évolue, de même que la nature matérielle de ces derniers. Ainsi, il n'est en rien suffisant d'analyser les relations entre les acteurs en présence à l'instant initial pour comprendre le cheminement d'un tel système. Ce résultat nous ramène en particulier au débat de l'écologie industrielle que nous avons évoqué dans la partie précédente de ce chapitre, qui porte sur le rôle de la planification dans l'émergence de synergies éco-industrielles (Roberts, 2004 ; Schiller *et al.*, 2014 ; Tudor, Adam et Bates, 2007 ; Van Leeuwen, Vermeulen et Glasbergen, 2003). Notre analyse nous montre que la focalisation sur le seul moment de l'initiation des synergies ne suffit pas à en comprendre l'évolution dans le temps, ni à en caractériser la pérennité, tout particulièrement parce que les incertitudes et inconnues jouent un rôle décisif sur les choix que font les acteurs concernant la synergie.

C. Une répartition hétérogène des risques de l'instabilité : un déplacement vers l'aval de la chaîne d'approvisionnement

Résumons à présent les résultats que nous avons construits au cours de cette partie :

- La mise en œuvre des synergies se traduit par des interdépendances qui peuvent être regroupées en quatre catégories : métaboliques, financières, organisationnelles et techniques. Différentes formes de synergies mènent à des importances relatives différentes de ces types d'interdépendances.
- De manière plus simple, on observe d'un côté des interdépendances qui proviennent de la circulation de flux et de l'autre des interdépendances liées au partage d'une

infrastructure. On constate schématiquement que, dans nos cas d'études, la récupération de chaleur mène à une plus grande importance des interdépendances de flux tandis que la mutualisation énergétique se traduit par une prédominance des interdépendances d'infrastructure. Ce résultat ne peut toutefois pas être d'ordre général puisque nous avons vu que la nature et la force de ces interdépendances sont en particulier liées au rapport que les acteurs entretiennent avec la synergie, et plus particulièrement à leur consentement réel ou projeté à perdre une partie de leur autonomie d'action ou de fonctionnement.

- Des incertitudes peuvent peser sur les différents sous-systèmes sociomatériels impliqués dans la synergie, au sens où l'évolution des flux qui en découlent ou des systèmes techniques qui y sont attachés n'est connue d'aucun des acteurs. En parallèle, la synergie peut être conçue de manière à ce que les informations qui concernent ces mêmes éléments circulent difficilement ou pas du tout entre les systèmes sociomatériels impliqués.
- Il en résulte que les synergies constituent des systèmes d'interactions instables en ce que leur pérennité ou leur mode de fonctionnement peuvent être remis en cause par les acteurs. En effet, plus le système est intégré, c'est-à-dire plus les interdépendances sont importantes, plus les incertitudes propres aux sous-systèmes sociomatériels pèsent fortement sur le système dans son ensemble. En retour, moins les informations circulent aisément entre ces sous-systèmes, et donc moins le système est intégré, plus il est complexe de le faire fonctionner efficacement. Les synergies énergétiques se trouvent donc prises entre deux logiques qui s'opposent.

L'existence de cette instabilité constitue en première lecture une opposition au modèle du grand réseau conventionnel, auquel les acteurs et travaux académiques associent généralement une stabilité dans le temps (Jaglin et Verdeil, 2013). Par exemple, Jean-Marc Offner explique que dans le modèle du réseau en cinq couches qu'il construit et que nous avons discuté plus haut, on peut observer des changements touchant à l'une de ces couches sans pour autant que les autres ne se trouvent modifiées, donnant une « impression de changement dans la continuité » (Offner, 1993). Gabriel Dupuy relève également cette stabilité, qui ne se traduit pas pour autant par un immobilisme : « la pérennité de certains invariants constitutifs des réseaux se marie avec « l'évolution permanente » par modifications successives d'éléments qui relèvent tant de la morphologie que de la fonctionnalité ou des représentations des réseaux » (Dupuy, 1988). La force de ces réseaux, qui expliquerait leur longévité, proviendrait donc de

leur capacité à évoluer pour s'adapter à des changements exogènes de divers ordres sans que leurs fondements ne soient remis en cause. Ainsi, les réseaux conventionnels n'atteignent pas nécessairement une forme qui resterait permanente mais, pour en comprendre les évolutions, il serait nécessaire de les étudier sur le temps long pour en saisir le processus « incrémental » (Offner, 1993).

Pour autant, divers travaux que nous avons introduits au chapitre 3 montrent que ces grands réseaux centralisés peuvent également être vulnérabilisés, ou tout au moins influencés de manière substantielle et sur des temps relativement courts par des évolutions non prévues au moment de leur établissement. Plus particulièrement, les travaux sur la gestion de la demande d'électricité montrent qu'une augmentation trop importante de la consommation peut mener les acteurs de la gestion des réseaux à développer des stratégies spécifiques pour éviter un renforcement des infrastructures (Guy et Marvin, 1996 ; Kelly et Marvin, 1995). D'un autre côté, l'analyse de l'influence d'une baisse importante des consommations, que l'on observe tout particulièrement dans des réseaux d'eau (Barraqué *et al.*, 2011) montre qu'elle peut mettre à l'épreuve l'entièreté du fonctionnement du réseau et appeler de multiples évolutions (Florentin, 2015), remettant ainsi précisément en cause la stabilité supposée du modèle proposé par Jean-Marc Offner (1993).

Toutefois, comme nous l'avions supposé au chapitre 3, la particularité des interdépendances créées par les synergies tient au fait qu'elles font naître des incertitudes multiples, tant du côté de la production que de la consommation et tant du côté des infrastructures que des flux. Ceci constitue une situation inédite par rapport au mode conventionnel de fourniture d'énergie à l'urbain, dans lequel un contrôle fort est exercé par l'opérateur sur la production et les incertitudes sont donc concentrées sur une variable : les besoins des usagers, vus en outre de manière agrégée.

Pour comprendre plus avant la façon dont les formes de mise en réseau que constituent les synergies changent la donne, il nous faut revenir à la dichotomie entre flux et infrastructure que nous avons introduite plus haut. Outre la mise au jour de deux catégories d'interdépendances, cette distinction est également encouragée par une différence fondamentale qui existe entre les flux et les infrastructures : alors que les premiers sont soumis à des dynamiques de court terme, les secondes, parce qu'elles constituent un investissement matériel et financier important, sont conçues pour durer (Palle, 2016). L'adaptation des uns aux autres au cours du temps, dans un sens ou dans l'autre, constitue

proprement l'équilibre du réseau : la quantité, la nature et l'organisation spatiale des circulations de flux sont contraintes par les infrastructures existantes.

Dans le cas des réseaux conventionnels, cet équilibre est réalisé à travers une « logique de satisfaction de la demande » (Coutard, 2010) dans laquelle les moyens de production et de distribution gérés de façon centralisée sont conçus pour pouvoir répondre à toute croissance de cette dernière. Cette forme d'équilibre du réseau a pour effet de concentrer les risques d'instabilité portés par les opérateurs de la production et de la distribution sur la baisse des consommations, comme on l'observe actuellement dans certains cas (Moss, 2008 ; Florentin, 2015), tandis que l'approvisionnement est garanti aux usagers[160].

Pour le cas des synergies, nous avons jusqu'à présent mentionné les risques de manière agrégée, comme portant sur l'existence de la synergie en elle-même. Pour autant, si nous distinguons leur importance pour les différents acteurs impliqués, c'est-à-dire l'enjeu qu'ils représentent pour chacun d'eux, nous pouvons observer de nouvelles formes d'asymétrie en comparaison du réseau conventionnel. En effet, les deux cas de récupération de chaleur fatale étudiés, dont nous avons pu observer une partie de l'exploitation, font très clairement apparaître un changement dans la nature et la répartition des risques. Tout d'abord, dans les deux cas, l'opérateur qui assure l'approvisionnement se trouve contraint par une source de chaleur dont il ne contrôle pas les évolutions, à court comme à long terme. La réalisation de l'équilibre du réseau par l'adaptation des infrastructures de production n'est donc plus uniquement de son ressort, ce qui met en péril, d'une part, la validité de ses investissements et, d'autre part, sa capacité à garantir un approvisionnement aux usagers en tout temps. Aussi, le territoire supporte un risque de disparition de cet approvisionnement, qui se traduit d'ailleurs explicitement par une inquiétude des acteurs publics dans nos cas d'étude.

En retour, les producteurs de la chaleur fatale voient, comme nous l'avons mentionné, une partie de leur revenu dépendre de la chaleur vendue. Pour autant, les enjeux sont faibles à leurs yeux, pour deux raisons : d'une part, parce qu'ils garantissent que leurs systèmes techniques puissent fonctionner sans la synergie et, d'autre part, parce que les sommes engagées sont faibles au regard de leur activité principale, comme cela est d'ailleurs explicitement illustré par l'un de nos interlocuteurs chez ArcelorMittal qui explique qu'« il n'y a pas d'enjeu, par rapport à tous les enjeux qu'on peut avoir autrement » (Entretien avec un responsable opérationnel – ArcelorMittal – 16/04/2015). Cette attitude fait en outre

[160] Précisons à nouveau que nous traitons ici des grands réseaux conventionnels dans les villes du Nord.

directement écho au « laisser-faire » que nous avons mis au jour dans la partie précédente de ce chapitre.

En somme, il apparaît dans ces deux cas que les risques liés à l'instabilité du système sont principalement supportés par l'opérateur et les usagers, ces derniers étant représentés par la collectivité. Le cas de Dunkerque les reporte d'autant plus sur ces derniers que les investissements sont publics, contrairement au cas du Val d'Europe. Le cas de Lyon est singulier en ce que les investissements dans les infrastructures liées à la synergie sont en partie assurés par une subvention qui dégage des marges de manœuvre financières pour les usagers mais, en dehors de cette particularité, nous nous retrouvons face à la même logique : si la mutualisation cesse de fonctionner, les usagers du système devront trouver des sources d'énergie alternatives et leur investissement pourrait ne pas être rentabilisé. Ainsi, on observe un déplacement des risques attenant à la mise en réseau des territoires par l'énergie de l'amont de la chaîne (les producteurs) vers l'aval (le distributeur et les usagers).

D. Des interdépendances matérielles plus diverses mais un faible effet solidarisant

L'ensemble de ces conclusions nous amène à discuter le rôle solidarisant de la mise en réseau par l'énergie, c'est-à-dire sa propension à contribuer à faire se tenir le territoire ensemble. Lors de la construction de notre seconde hypothèse, nous avons expliqué choisir le terme d'interdépendance plutôt que celui de solidarité pour caractériser les interactions créées par la mise en réseau que représente les synergies afin de ne pas présager de leur nature. Les résultats obtenus à travers nos cas d'étude tendent à confirmer la validité de ce choix.

En effet, si nous reprenons les quatre catégories d'effets de solidarisation ou d'intégration qui émergent des grands réseaux conventionnels, telles que mises au jour par Olivier Coutard et Jonathan Rutherford (2015) et introduites au chapitre 1 – socio-économique, fonctionnelle, politique et métabolique –, nous constatons que peu d'entre elles survivent aux formes de mise en réseau que nous avons étudiées. Au premier ordre, il existe bien une forme d'intégration, qui découle de la définition même des synergies et qui peut être rapprochée de ce qu'Olivier Coutard et Jonathan Rutherford appellent « intégration métabolique » (Coutard et Rutherford, 2015, p. 19) : si dans le cas des réseaux conventionnels elle consiste en l'appropriation de ressources pour l'ensemble d'un territoire, elle se traduit ici par la mise en commun des ressources déjà présentes au sein de celui-ci. Pour autant, cette intégration matérielle n'est pas accompagnée, dans les cas étudiés, d'autres formes de solidarisation.

Tout d'abord, ces nouvelles mises en réseau ne créent pas plus d'intégration socioéconomique sur le territoire. Dans les cas de récupération, on observe une dépendance financière des opérateurs et usagers aux entreprises productrices qui n'existe pas dans l'autre sens : elle ne contribue donc pas à une redistribution économique pérenne mais davantage à une dépendance à des acteurs dont les stratégies peuvent être largement déterritorialisées. Dans le cas de la mutualisation à Lyon, les transferts économiques entre acteurs bénéficiant de l'échange sont volontairement réduits au minimum et il n'existe donc aucune redistribution.

Ensuite, nous n'observons pas que ces mises en réseau soient liées à des intégrations fonctionnelles ou politiques, à quelques nuances près. De manière générale, les synergies ne s'accompagnent pas d'une transformation vers une harmonisation horizontale (entre différentes collectivités) ou verticale (entre différentes fonctions) de la manière de gérer le territoire : les frontières entre les organisations et institutions politiques impliquées sont conservées. Par exemple, le cas du Val d'Europe illustre bien la volonté de composer avec les frontières existantes, autant à travers le choix de la solution privée en raison de l'organisation territoriale héritée que par la séparation physique des systèmes techniques. De même, à Dunkerque, les règles de fonctionnement de l'industriel dans l'espace qui lui appartient ne sont pas changées par l'existence de la synergie. Le cas de Lyon offre une perspective différente avec la création de l'AFUL mais cette dernière constitue une structure collective qui vient s'ajouter et non transformer l'organisation conventionnelle. Aussi, on observe dans ce cas l'émergence d'un « mille-feuille » plutôt qu'une forme d'intégration.

En d'autres termes, la plus forte intégration matérielle du territoire qu'entraînent les synergies ne s'accompagne pas, tout au moins dans les cas étudiés, d'une solidarité accrue entre acteurs, qu'elle soit financière, fonctionnelle ou politique. Au contraire, on observe davantage un fonctionnement « de marché »[161] dans lequel chaque acteur paye ce qu'il consomme et est payé pour ce qu'il produit et conserve la possibilité de se retirer de l'échange, quels que soient sa fonction et son statut socio-économique. Ainsi, l'organisation formelle des logiques collectives n'apparaît pas remise en question par les circulations métaboliques et les partages de systèmes techniques.

En définitive, bien qu'elles s'opposent au modèle de la déconnexion qui entraînerait une mise en péril des mécanismes de solidarité associés aux grands réseaux conventionnels (Coutard et

[161] Ce qui entre par ailleurs en contradiction avec le fait que les projets bénéficient dans chaque cas de subventions publiques.

Rutherford, 2013 ; Lopez, 2014), les synergies ne s'accompagnent pas d'effets importants de solidarisation du territoire et leur mise en œuvre n'entraîne pas un effacement des frontières existantes entre les organisations en place.

Cependant, on remarque que comme dans le cas des réseaux conventionnels, on trouve dans nos trois cas d'étude un acteur intermédiaire qui organise collectivement les échanges et partages matériels : chaque fois, il existe un opérateur dédié à l'investissement et à la gestion du système énergétique[162], dont nous avons vu qu'il pouvait supporter une part importante des risques liés aux interdépendances. Ainsi, si ces dernières sont plus directes et plus diversifiées que dans le cas conventionnel, le modèle associé à leur prise en charge n'est pas entièrement transformé. Le chapitre suivant nous permettra d'analyser des formes récentes de remise en cause de la conservation de ce rôle, ainsi que leurs implications.

III. Un rapport resserré à l'espace mais pas d'interaction directe entre planification spatiale et évolution du réseau

Partant des instabilités des synergies et des risques qui en découlent pour les acteurs, nous nous sommes finalement intéressée à leur conséquence sur les projections du devenir des réseaux formés par les synergies. En guise de première réponse, nous avons supposé que les acteurs développent des stratégies d'évolution qui visent à contrer ces instabilités, faisant en outre l'hypothèse que ces stratégies interagissent avec la planification spatiale du territoire.

Cette dernière partie du chapitre revient sur cette proposition, commençant par montrer qu'il existe bien une recherche de stabilisation des réseaux mais qu'elle ne relève pas nécessairement de stratégies construites et, en outre, qu'elle porte toujours un regard sur des éléments exogènes aux synergies (A). Nous y montrons ensuite que cette recherche semble mener à une continuité de la logique d'extension spatiale des réseaux qui prévaut dans le modèle conventionnel, sans pour autant que la croissance des consommations ne soit recherchée (B). De là, nous soutenons que, contrairement à ce que nous avions supposé et malgré un rapport à l'espace renouvelé, la conception des synergies n'est pas plus intégrée à la planification spatiale du territoire que ne l'est celle des réseaux conventionnels (C). Enfin, nous concluons qu'une des caractéristiques principales que l'émergence des synergies apporte dans la conception des systèmes énergétiques urbains est l'instauration d'une prédominance des flux sur les infrastructures qui rompt avec le modèle conventionnel (D).

[162] Bien qu'il ne soit pas encore désigné au moment de notre enquête à Lyon.

A. Une recherche de stabilisation du réseau toujours exogène

Les développements de la partie précédente de cette thèse nous ont permis de montrer l'existence d'instabilités dans les réseaux créés par les synergies. L'analyse empirique de nos trois cas d'étude montre en outre que ces dernières sont clairement identifiées par les acteurs et plus particulièrement par ceux qui sont associés à la fourniture du service de l'énergie, qu'ils soient publics ou privés. À Dunkerque, les collectivités s'inquiètent explicitement de la pérennité des flux produits. Au Val d'Europe c'est l'absence de flux qui pose problème tandis qu'à Lyon, on craint pour le fonctionnement technique et organisationnel du système. Dans les cas de Dunkerque et du Val d'Europe, à l'histoire plus longue au moment de notre enquête, ces inquiétudes se traduisent concrètement par des doutes quant à la pérennité de l'adaptation entre l'infrastructure et les flux, dont nous avons vu qu'elle constitue l'équilibre du réseau. Les acteurs utilisent ainsi les termes de « réseau surdimensionné » (Entretien avec le responsable de la mission innovation et développement industriel de la CUD – 04/06/2014) ou de « réseau qui ne sert à rien » (Entretien avec le directeur des services techniques du SAN du Val d'Europe – 24/09/2014).

La situation est quelque peu différente à Lyon puisque les critiques proviennent en partie d'acteurs qui jouent un rôle dans l'organisation de l'approvisionnement énergétique à des échelles supérieures. En effet, c'est davantage le caractère peu optimisé du système qui est mis en cause, parce qu'il ne permettrait pas, à plus ou moins long terme, d'organiser d'autres formes de circulations locales de flux qui dépasseraient l'échelle de l'îlot. L'acteur moteur de l'émergence de la synergie porte toutefois le même regard sur la question, arguant de contraintes réglementaires et d'un processus d'expérimentation pour justifier ce choix de système. Ainsi, bien qu'il le soit de manière différente, on constate que le problème posé par les acteurs porte à nouveau sur la question de l'adéquation, dans le temps et dans l'espace, entre la circulation des flux prévue ou envisagée et l'infrastructure existante. Chaque fois, les acteurs nourrissent l'objectif d'améliorer cet adéquation et déploient des stratégies, plus ou moins construites, pour y parvenir.

L'analyse des éléments empiriques montre alors que les réponses apportées à ce problème (tel que construit par les acteurs) ne portent pas sur la synergie en elle-même, en ce sens que, dans chaque cas, des éléments qui lui sont extérieurs sont convoqués. En outre, les stratégies ne sont pas toujours partagées par l'ensemble des acteurs qui portent les inquiétudes. Aussi, de manière générale, nous pouvons plus précisément les regrouper sous le terme de proposition.

Pour aborder ce sujet, le cas de Dunkerque est probablement le plus parlant puisque l'évolution de la synergie s'inscrit dans deux stratégies construites et publicisées par la collectivité : d'une part, il existe une stratégie d'approvisionnement en chaleur qui poursuit des objectifs précis (le 3x20) et qui vise à assurer la pérennité et le développement du réseau de chaleur et, d'autre part, se construit une stratégie de spécialisation du territoire dans la récupération de chaleur fatale. La stratégie qui touche au réseau de chaleur s'appuie sur une recherche conjointe de nouveaux flux de chaleur fatale produits et de nouveaux gisements de consommation. Nous avons vu que son objectif est double : il s'agit à la fois d'augmenter la part de l'approvisionnement en chaleur du territoire effectuée au travers du réseau et de diminuer la dépendance à l'industriel produisant la majeure partie de la chaleur distribuée. La stratégie s'appuie sur l'analyse du territoire tel qu'il est constitué à un instant donné et cherche à mettre au jour des formes de mise en réseau par les flux de chaleur qui permettent de répondre à ces enjeux.

Au Val d'Europe, les acteurs publics envisagent une extension du réseau en dehors de la zone qui lui est originellement attribuée, mais pour des raisons tout à fait différentes puisqu'il s'agit uniquement de trouver de nouveaux gisements de consommation, non pas dans une logique de croissance mais de sécurisation d'une quantité de demande. La question de la production passe au second plan, d'autant plus que des stratégies d'approvisionnement concurrentes se développent sur le territoire. Aussi, l'interconnexion avec d'autres réseaux en cours de construction ou en projet sur le territoire est envisagée, afin que la chaleur fatale issue du *data center* puisse trouver des usages et venir complémenter d'autres sources. Pour autant, l'opérateur se refuse, à court terme, à mettre en œuvre ces différentes formes de stabilisation et préfère se concentrer sur le parc d'entreprises pour éviter de nouveaux investissements, malgré son développement ralenti et les demandes spécifiques des activités qui s'y installent.

Enfin, à Lyon, l'aménageur et la collectivité appellent de leur souhait une interconnexion du réseau avec d'autres systèmes locaux pour favoriser une optimisation des flux à une échelle qui dépasse celle de l'îlot, celle du quartier à moyen terme et celle de la ville à plus long terme, sans pour autant qu'une stratégie précise ne soit développée dans ce second cas. L'idée promue est celle d'améliorer l'efficacité du système en augmentant la diversité des productions et des consommations qu'il permet de mettre en commun. À l'échelle du quartier, elle passe en premier lieu par la création d'une infrastructure numérique qui doit récolter les données de consommation et de production pour, à terme, en gérer l'équilibre de façon centralisée, sans pour autant que les modalités pratiques d'une telle gestion ne soient définies.

En outre, nous l'avons vu plus haut, le promoteur initiateur de la synergie à l'échelle de l'îlot partage cette vision mais n'a pas pour objectif de la mettre en application sur cette opération précise : son travail s'arrête aux frontières des bâtiments qu'il construit.

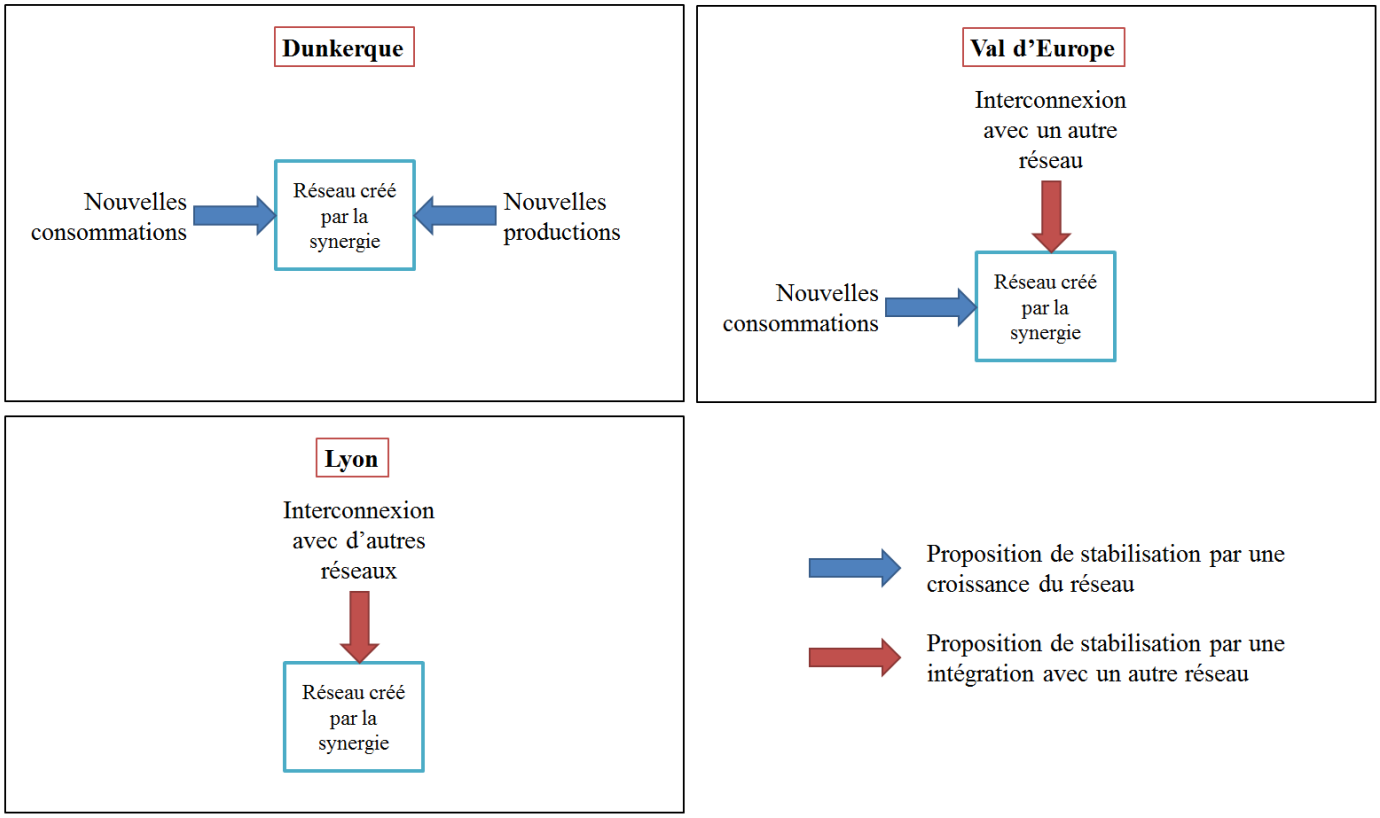


Figure 7.5 : Formes de stabilisation du réseau formé par la synergie promues dans chacun des cas – Réalisation personnelle

En somme, nous constatons que, bien qu'elles ne soient pas toujours suivies d'effets et parfois contestées, des propositions d'ordres divers sont faites par différents acteurs pour améliorer l'équilibre du réseau formé par la synergie et y apporter davantage de stabilité. Nous pouvons ici reprendre la dichotomie entre réseau technique et réseau de projets transactionnels construite par Gabriel Dupuy (1987a, 1987b), le second consistant en l'ensemble des propositions et demandes de mise en relation, c'est-à-dire de « projets transactionnels », qui sont faites à l'opérateur. Selon cette définition, nous observons que le réseau de projets transactionnels qui accompagne la synergie vise chaque fois à en accroître la stabilité. Une lecture plus fine nous permet en outre de constater que ces projets peuvent être regroupés en deux catégories : une partie d'entre eux s'appuie sur une croissance du réseau en lui-même, c'est-à-dire sur une augmentation du nombre de points qui lui sont connectés, tandis qu'une

autre partie envisage une connexion à un ou plusieurs autres réseaux. La Figure 7.5, ci-dessus, représente les différentes formes de proposition formulées pour chacun de nos cas d'étude.

B. La continuité d'une logique d'extension du réseau mais sans logique de croissance des consommations : un processus de sélection spatiale

De manière générale, l'ensemble de ces propositions sont orientées vers une croissance de la mise en réseau, c'est-à-dire vers davantage de connexions énergétiques entre différentes activités urbaines. Dans aucun des cas on observe de suggestions qui viendraient travailler sur la synergie en elle-même, du point de vue des flux ou du système technique. Par exemple, dans le cas du Val d'Europe, il n'est pas envisagé de redimensionner les systèmes pour les adapter aux flux effectivement consommés. À Dunkerque, on ne propose pas de réfléchir à une manière de garantir une pérennité des flux circulant déjà dans le réseau. On choisit au contraire à l'extérieur une source équivalente en quantité à la première dont l'évolution est jugée moins incertaine et c'est selon ce critère que l'on décide de connecter le CVE. À Lyon, les réflexions sur les équilibres ne portent pas sur les activités génératrices de consommation ou de production d'énergie au sein de l'îlot et sur les influences qui pourraient être exercées sur l'une ou l'autre. Ainsi, l'avenir du réseau formé par la synergie est toujours orienté par un regard vers l'extérieur de cette dernière.

Si nous reprenons les éléments empiriques discutés dans la section précédente, nous constatons alors que dans chacun des cas, les évolutions proposées s'appuient sur une croissance spatiale de l'étendue de la mise en réseau. Le cas de Dunkerque en offre une illustration particulièrement parlante lorsque, au-delà de la recherche d'une stabilisation du réseau, on envisage de distribuer des flux de chaleur fatale vers d'autres territoires. Ainsi, non seulement on propose d'augmenter le nombre de connexions sur le territoire mais on augmente également la portion de l'espace irriguée par le réseau : nous retrouvons ici une forme de croissance par extension qui mène à une augmentation de la taille de l'enveloppe du réseau, c'est-à-dire de la surface qui en englobe tous les points, qui se distingue d'une croissance par densification, qui vise à raccorder de nouveaux points sur des lignes déjà existantes du réseau ou à faire croître les flux entre les points existants (CEREMA, 2012). L'orientation vers la première forme de croissance du réseau, bien que nous ayons vu qu'elle ne soit pas toujours suivie d'effets, n'est donc pas neutre, en ce que d'autres formes de recherche de stabilisation, orientées vers la croissance de ce dernier ou non, pourraient être proposées.

Pour autant, il apparaît que cette orientation n'est pas un choix en elle-même : la justification des propositions qui sont faites ne passe jamais par la poursuite d'un objectif de croissance. En d'autres termes, il n'existe pas dans le discours des acteurs une équivalence entre croissance du réseau et stabilisation de son équilibre. Chaque fois, des arguments intermédiaires sont convoqués pour justifier l'extension. À Dunkerque, on s'appuie sur la préexistence de gisements de production ou de consommation finement évalués. Au Val d'Europe, on la justifie par les projets d'implantation de certains types de fonctions urbaines tels que, par exemple, les logements sociaux, tandis qu'à Lyon, on souhaite produire un plus grand panachage de productions et consommations et on convoque la recherche d'une plus grande mixité fonctionnelle.

Nous remarquons donc que les arguments sont d'ordres différents selon que la synergie se trouve sur un territoire déjà développé, au sens où les activités prises en compte sont déjà présentes, ou sur un territoire en développement, comme au Val d'Europe ou à Lyon. En effet, d'un côté, la matérialité des flux est convoquée en elle-même tandis que, de l'autre, les flux sont pensés au travers des fonctions qui pourraient les générer. Pour autant, de façon générale, on constate que les modalités de mise en œuvre de l'extension effective ou projetée sont fortement liées à l'organisation spatiale du territoire.

Apparaissent ainsi des formes d'influences spatiales nouvelles sur la conception du système énergétique, au sens où on ne les retrouve pas dans la planification des réseaux conventionnels. D'une part, la prise en compte de sources potentielles d'énergie, dont la localisation ne peut être choisie, crée des contraintes supplémentaires qui rendent l'espace omniprésent dans le travail de planification du système énergétique : alors que, dans les réseaux centralisés, la localisation des sources de production est choisie en particulier dans un but d'efficacité du réseau, cette logique ne peut fonctionner lorsqu'il s'agit de faire circuler des flux dont l'origine est préexistante. D'autre part, l'organisation des fonctions dans l'espace est considérée à des échelles beaucoup plus fines que celles qui intéressent les opérateurs lorsqu'ils gèrent les grands réseaux centralisés : ici, ce sont par exemple l'agrégation des consommations à l'échelle de l'îlot ou bien la distance entre quartiers adjacents qui comptent, bien loin de l'échelle de distribution liée aux postes de transformation qui font habituellement l'objet de réflexions par les opérateurs énergétiques.

En définitive, et si nous revenons vers notre hypothèse, nous constatons bien que les stratégies ou propositions d'évolution des synergies ont une empreinte spatiale forte mais qui ne

s'oppose pas à celle des grands réseaux centralisés : dans les deux cas, le résultat en est l'extension spatiale du réseau. Nous constatons en outre que cette orientation vers l'extension est d'autant plus forte dans les synergies qu'elle n'est pas panachée avec un travail d'intensification, comme cela peut au contraire être le cas dans les réseaux conventionnels[163].

Toutefois, les modalités de croissance spatiale sont très différentes puisque dans le cas des synergies, il ne s'agit pas de faire de l'extension un moyen de croissance économique au travers d'une augmentation de la consommation totale dans le réseau. En définitive, l'extension spatiale est justifiée par la possibilité de faire croître la quantité de flux circulant dans le réseau plus que la quantité de flux consommés. Aussi, elle ne s'accompagne pas d'une stratégie d'extension des installations de production : il s'agit d'intégrer des flux existants en dehors du réseau afin qu'ils viennent complémenter ceux qui y circulent déjà. Les conséquences matérielles sur le territoire sont donc très différentes puisque la forme d'extension conventionnelle s'accompagne d'un développement des infrastructures de production, localisées en particulier en fonction des lieux de consommation que l'on souhaite irriguer, tandis que la seconde est avant tout associée à un développement des objets de connexion et de distribution.

Cette nuance se traduit très concrètement dans le processus de conception de l'extension, comme l'illustre tout particulièrement le cas de Dunkerque puisqu'il est le seul dans lequel il ait été effectivement amorcé. Nous avons en effet constaté que l'étude commanditée par la collectivité porte une attention toute particulière à l'espace : les distances entre gisements de production de chaleur fatale et lieux de consommation sont l'un des facteurs principaux influençant la catégorisation des différentes formes de connexion comme réalisables ou non. On s'aperçoit ainsi que l'extension prévue du réseau s'appuie sur une importante sélection, suivant des critères métaboliques : le territoire n'est pas tant lu comme un regroupement d'activités que comme un agrégat de flux de production et de consommation qu'il s'agit de rediriger ou non pour poursuivre un objectif d'efficacité dans l'usage des ressources.

En définitive, le développement des synergies et la recherche de leur stabilisation confèrent au processus de conception de l'approvisionnement énergétique une dimension de sélection spatiale qui n'existe pas dans le processus d'universalisation des réseaux centralisés. Parmi une diversité de flux répartis dans l'espace, il s'agit de sélectionner ceux dont l'intégration au

[163] Notamment, historiquement, par la promotion de nouveaux usages de l'électricité ou de l'eau pour en augmenter les consommations sans que les infrastructures n'aient besoin d'être étendues.

réseau peut et doit être mise en œuvre, selon des critères d'adéquation spatiale. On passe donc d'une croissance du réseau qui se veut universelle, au sens où elle doit s'appliquer à l'ensemble du territoire habité et qu'elle en suit le développement, à une croissance sélective, guidée par l'organisation spatiale du métabolisme urbain.

C. Malgré un rapport à l'espace renouvelé, une conception du système énergétique toujours soumise à la planification spatiale

Lors de la construction de notre hypothèse, nous avons supposé que les formes de stabilisation proposées interagissent avec la planification du territoire, entendue ici comme la planification de la localisation des activités dans l'espace. On observerait donc des liens resserrés entre le processus d'élaboration de l'approvisionnement énergétique d'un territoire et sa planification spatiale. Cette sous-hypothèse est en particulier nourrie par les travaux d'écologie industrielle qui placent la construction d'une proximité géographique entre des activités différentes au cœur de l'émergence de synergies éco-industrielles (Erkman, 2001, p. 111). De même, suivant une approche plus urbaine, Rémi Curien part du constat que dans le modèle conventionnel, « la conception des réseaux de services essentiels intervient généralement à la première étape de l'aménagement opérationnel, mais à la dernière étape dans la conception stratégique de la planification urbaine » (Curien, 2014, p. 141) et fait l'hypothèse que l'émergence de symbioses s'accompagne d'une intégration plus forte entre conception des réseaux et planification urbaine.

Pourtant, dans aucun des cas étudiés nous n'avons observé d'interaction directe entre stratégie énergétique et planification spatiale du territoire, et ce de l'origine des synergies aux réflexions sur son devenir. En d'autres termes, la proximité entre les activités liées par le réseau ne résulte jamais d'une démarche volontaire de contrainte des localisations. À Dunkerque, les différentes proximités considérées, à l'origine du réseau ou pour son développement futur, sont un état de fait. Il n'est en effet jamais question d'influencer le processus de planification et de programmation spatiales du territoire pour favoriser les échanges de chaleur. La localisation des activités dans l'espace est considérée comme une donnée exogène au problème[164]. Cette démarche n'est pas contradictoire avec le fonctionnement de la CUD, puisque la direction énergie ne considère pas avoir une quelconque légitimité pour donner un avis sur la planification spatiale du territoire : elle est

[164] Nous avons fait le même constat dans les études ou plans similaires observés à Lyon et à Rotterdam présentés dans l'Encadré 4.3.

une donnée sur laquelle elle se fonde pour déterminer une stratégie de planification du système énergétique.

On observe cependant l'émergence d'un discours allant précisément en un sens opposé dans le cadre du projet de réseau de froid qui valoriserait un flux autrement perdu : il s'agirait de réserver certains espaces à des activités qui pourraient en bénéficier. Toutefois, ce discours est fortement remis en question, autant pour des questions fonctionnelles que de topologie du territoire, et n'est pas suivi d'effets à ce jour.

Au Val d'Europe, le développement du réseau suit explicitement celui du territoire : il s'adapte, avec difficulté, à une programmation qui ne tient pas compte de sa présence, à l'échelle de la zone d'activités autant qu'à l'échelle du territoire. En effet, si les différentes opérations d'aménagement adjacentes au parc d'entreprises sont considérées pour leur potentielle intégration au réseau, il n'est en aucun cas envisagé de travailler leur programmation en conséquence.

Enfin, le cas de Lyon offre une perspective différente en ce que l'interaction entre la programmation spatiale et l'émergence de la synergie à l'origine est revendiquée par l'un des acteurs (le promoteur) qui lie directement dans son discours la mutualisation énergétique à la mixité fonctionnelle de l'îlot. Toutefois, dans la phase précédant cette présentation commerciale, il apparaît que la mixité d'activités n'est pas programmée conjointement au système énergétique par le promoteur : elle fait partie du cahier des charges communiqué par la SPL lors de la consultation menant à l'attribution du lot. Inversement, cette exigence de mixité par l'aménageur n'apparaît pas liée aux possibilités de mutualisation énergétique. La mixité d'activités à l'échelle de l'îlot et la mutualisation énergétique sont donc considérées l'une après l'autre et non de manière conjointe. De même, à l'échelle du quartier, s'il est admis que l'efficacité de la mise en réseau des productions et consommations locales est fortement liée à la diversité des fonctions qui s'y trouvent, la mixité fonctionnelle n'est pas considérée pour ces raisons.

Ainsi, planification spatiale et stratégie d'approvisionnement énergétique n'apparaissent pas interagir d'avantage dans le cas des synergies que dans celui des réseaux conventionnels. Le débat sur l'efficacité de la planification de proximités géographiques pour faire émerger des synergies, tenu dans le champ de l'écologie industrielle (Van Leeuwen, Vermeulen et Glasbergen, 2003 ; Roberts, 2004 ; Tudor, Adam et Bates, 2007 ; Schiller *et al.*, 2014), ne

peut donc pas être nourri par nos études de cas puisque nulle part elle n'est mise en œuvre et qu'elle est même fortement critiquée lorsqu'elle est envisagée.

D. La primauté du flux sur l'infrastructure : vers une logique de sélection spatiale et de mise en circulation de flux préexistants

Comme nous l'avons fait pour les deux autres questions de recherche, résumons les résultats obtenus quant à la relation à l'espace des stratégies ou propositions d'évolution du réseau formé par la synergie :

- Tout d'abord, nous avons constaté que des formes d'instabilité ou de sous-optimisation des réseaux considérés émergent du discours des différents acteurs et qu'ils en construisent un problème auquel ils tentent de trouver des solutions. Contrairement à ce que suggérait le terme employé dans la formulation de notre hypothèse, ces solutions ne prennent toutefois pas nécessairement la forme de stratégies, au sens où l'objectif et les moyens pour y parvenir ne sont pas toujours clairement définis. Aussi, nous les avons qualifiées de propositions.
- Ces propositions ont pour point commun de toutes porter un regard sur des éléments extérieurs à la synergie. Plus précisément, c'est chaque fois l'extension spatiale du réseau qui est proposée.
- Toutefois, cette logique d'extension spatiale a pour objectif de faire croître la quantité de flux qui circulent dans le réseau plutôt que la quantité de flux consommés, contrairement donc au cas du modèle du réseau conventionnel. Les implications matérielles de cette forme de croissance diffèrent également du cas conventionnel, en ce qu'elles placent les infrastructures de connexion et de distribution plutôt que celles de production à l'amont du processus de conception de l'extension du réseau.
- Malgré l'importance du rôle de l'espace dans ce processus et, plus précisément, de la proximité géographique entre des activités spécifiques, dans aucun des cas nous n'avons observé une intégration plus forte de la planification spatiale du territoire et de la conception des systèmes d'approvisionnement énergétique.
- Cependant, nous avons mis au jour des formes renouvelées du rapport de cette dernière à l'espace, d'une part parce que des échelles plus fines sont prises en compte, et d'autre part parce que d'une universalité de l'extension du réseau, on passe à une forte sélection spatiale.

Ce dernier résultat nous permet donc de nuancer l'existence d'une opposition entre les formes d'évolution morphologique des réseaux conventionnels et de ces formes alternatives. En effet, on n'observe pas de contraintes particulières qui s'exerceraient sur les secondes pour qu'elles gardent une étendue locale ou micro-locale. Il n'existerait donc pas de « localisme » particulier associé à ces formes, au sens où elles ne sont pas caractérisées par une limitation spatiale. En outre, la logique de croissance des flux se rapproche de celle de l'interconnexion, dont nous avons déjà évoqué l'existence dans le cas des réseaux d'électricité (Chevalier *et al.*, 2008) et qui est à l'œuvre dans toutes les formes de réseaux conventionnels, pour exploiter une diversité de sources et de courbes de consommation, dans un objectif d'efficacité et de sécurisation (Barles, Coutard et Guillerme, 2015, p. 58) : *"interconnection is a means of taking maximum advantage of the scale, size and network effects of large networked technical systems"*.

Pour autant, nous avons établi que les modalités de la croissance sont différentes du cas des réseaux conventionnels et il nous semble que nous puissions de nouveau caractériser ce changement à travers la dichotomie entre flux et infrastructures introduites plus haut. En effet, bien que la matérialité des flux soit prise en compte dans l'évolution des réseaux conventionnels, *via* les stratégies d'interconnexion en particulier, elle n'est pas au cœur de la logique fondamentale de croissance du réseau qui est celle de l'universalisation de la desserte. Aussi, l'infrastructure suit ou rattrape toujours le développement du territoire et son existence n'est pas mise en question, quels que soient les flux dont l'extension est amenée à permettre la circulation : on étend l'infrastructure en réseau et on construit les installations de production en fonction des caractéristiques des territoires approvisionnés. On peut ainsi parler d'une « primauté historique des tuyaux sur les flux » (Barles, Coutard et Guillerme, 2015, p. 62)[165].

Une bonne illustration de cette primauté se trouve dans la réaction des opérateurs de gestion de ces systèmes à des évolutions des flux non prévues lors de l'installation de l'infrastructure. Par exemple, lorsque les pics de consommation mènent à un surdimensionnement des infrastructures jugé trop important, des stratégies de gestion de la demande sont mises en œuvre, précisément pour empêcher qu'une modification des systèmes techniques ne soit nécessaire (Guy et Marvin, 1996 ; Kelly et Marvin, 1995). De même, lorsque la demande d'eau diminue et que les tuyaux deviennent surdimensionnés, on peut observer, que les opérateurs incitent à une hausse des consommations (Moss, 2008) : *"in Eastern Germany*

[165] Traduction personnelle de l'expression *"historical primacy of pipes over flows"* (Barles, Coutard et Guillerme, 2015, p. 62).

today many utilities, faced with problems related to overcapacity, are pursuing demand management in the opposite direction. They are interested in encouraging consumers to use more water, and are pursuing this objective primarily by modifying their tariff systems to reduce the dependency of costs on water consumption"[166]. On observe donc dans les deux cas une forme de subordination des flux à l'infrastructure.

Au contraire, dans les cas que nous avons étudiés, les flux sont toujours considérés en premier lieu et les moyens infrastructurels sont conçus en conséquence, dans un second temps : on construit et on développe l'infrastructure en fonction des flux et de leur évolution projetée. Bien sûr, ces moyens infrastructurels peuvent constituer un facteur bloquant de la mise en circulation des flux, lorsqu'ils sont considérés trop coûteux ou que leur construction physique est jugée trop complexe. Toutefois, on observe bien une inversion du raisonnement qui instaure une « primauté » des flux sur les tuyaux. Nous pouvons ainsi nous associer au constat de Laurence Rocher selon lequel il n'existe pas de relation déterministe entre le choix de la forme du réseau pour l'approvisionnement énergétique et l'attention donnée aux flux (Rocher, 2013).

Ces conclusions rejoignent directement l'une des propositions de l'hypothèse du post-réseau, qui avance que « ce qui importe maintenant (du point de vue économique, social et environnemental), c'est le flux plus que l'infrastructure, et la ressource plus que le flux » (Coutard et Rutherford, 2013, p. 20). C'est en particulier ce que l'on observe dans le domaine de l'eau, dans le projet Elephant & Castle à Londres où deux infrastructures de conduction d'eau sont prévues pour séparer l'eau potable de l'eau non potable, quand bien même le coût infrastructurel s'en voit largement augmenté (Coutard et Rutherford, 2010a). De même, à Paris, on assiste à la renaissance du réseau d'eau non potable qui vise une utilisation plus optimisée des ressources (Barles, Coutard et Guillerme, 2015). Toujours dans le domaine de l'eau, mais cette fois-ci dans des contextes de diminution de la demande évoqués plus haut, on observe dans certains cas que l'infrastructure est réadaptée, au sens où elle est tronquée, étendue ou interconnectée pour apporter de nouveaux flux dans l'infrastructure existante (Florentin, 2015). Selon Daniel Florentin, on passerait ainsi d'une logique d'extension et d'approvisionnement (*"extend and supply"*) à une logique de redimensionnement (*"resizing"*), soit « d'une logique d'extension à une logique de gestion de l'existant » (Florentin, 2015, p. 340). Les résultats de nos études de cas semblent s'accorder avec cette

[166] Cette observation est toutefois plus nuancée dans d'autres cas où l'incitation à l'augmentation des consommations est limitée au discours et ne se traduit pas par des outils tarifaires (Florentin, 2015, p. 340).

conception puisque l'extension y est également pensée pour améliorer l'existant, ce qui suggérerait que le changement de logique proviendrait avant tout d'une rupture plus générale avec la logique de croissance des consommations de ressources qui ne serait pas propre à la mise en œuvre de synergies énergétiques.

Cependant, l'analyse que nous avons menée dans cette partie nous permet de préciser plus avant la particularité des synergies énergétiques. En effet, nous avons vu que dans nos cas d'étude, la primauté du flux sur l'infrastructure s'accompagne d'un changement de la spatialité du processus de mise en réseau de l'urbain : il s'agit de lire le territoire en termes de circulations d'énergie et plus seulement en termes de typologies de consommation. En d'autres termes, le processus de construction du système énergétique se trouve confronté à une multiplicité de flux, consommés autant que produits, répartis dans l'espace, et son objectif devient celui de choisir ceux dont la connexion doit être mise en œuvre, condamnant ceux qui ne peuvent en faire l'objet avant tout pour des questions d'inadéquation spatiale. Aussi, en regard de la logique *extend and supply* des réseaux historiques, nous pouvons désigner celle que nous avons mise au jour de logique de sélection spatiale et de mise en circulation de flux préexistants, au sens où il n'est pas question de construire une production ou d'engendrer une consommation pour accompagner la croissance du réseau. Le changement se trouve donc autant dans la gestion de l'usage des ressources, qui vise bien à en limiter ou contrer la croissance, que dans la conceptualisation de la matérialité urbaine qui se voit perçue comme un agrégat de flux énergétiques. Le réseau en devient un instrument de réorganisation de ces flux plutôt que de distribution.

Conclusion

La mise en perspective synthétique des études de cas menée au cours de ce chapitre nous a permis de confronter nos hypothèses aux (ir)régularités qui apparaissent à travers leur analyse conjointe. Dans l'ensemble, nous constatons que nos hypothèses sont vérifiées mais que nous pouvons les préciser et les nuancer. Nous faisons ici la synthèse de ces analyses.

Dans un premier temps, nous avons bien constaté que les synergies ne sont pas mises en œuvre pour une seule question d'efficacité technico-économique du système d'approvisionnement énergétique. L'analyse du discours des acteurs nous a permis de relever une série d'argumentaires, qui sous-tendent l'intérêt des acteurs pour le système : autonomie énergétique, spécialisation territoriale, stratégie d'entreprise, commerciale, RSE,

d'innovation, partenariale, d'aménagement ou encore d'ancrage territorial. Ces intérêts sont parfois stratégiques, parfois opportunistes, au sens où ils ne font pas partie d'une stratégie construite dans laquelle la synergie aurait été délibérément intégrée *a priori*. L'expression de ces intérêts est liée à la matérialité et à l'organisation du territoire, et notamment aux proximités : la perception de proximités géographiques déclenche le processus et le recrutement des acteurs dans le projet peut être conditionné par la préexistence de proximités organisées sur le territoire. Nous avons alors constaté que l'émergence de la synergie se traduit davantage par une accumulation d'intérêts que par une convergence, au sens où ces intérêts ne sont pas tous du même ordre. En d'autres termes, dans beaucoup de cas, les acteurs ne s'intéressent pas à la synergie pour sa matérialité propre. En outre, la diversité des intérêts n'est pas liée à une conflictualité qui peut au contraire provenir de frictions entre des intérêts proches.

En définitive, cette diversité d'intérêts trouve un point commun (plutôt qu'une convergence) dans un objectif d'optimisation de l'usage des flux existants sur le territoire, qui contribue autant à l'autonomie locale qu'aux divers avatars de l'efficacité environnementale mentionnés dans les discours des acteurs. Cette logique d'optimisation apparaît alors dans certains cas plus forte que la logique de service public usuellement associée aux systèmes énergétiques urbains, ce qui laisse une nouvelle place pour les acteurs privés dans l'organisation de la circulation des flux.

Dans un second temps, nous avons constaté que la mise en réseau du territoire au travers des synergies est bien à l'origine d'interdépendances que nous avons pu regrouper en quatre catégories : métaboliques, financières, organisationnelles et techniques. L'analyse de leur importance respective dans chacune de nos études de cas nous a ensuite permis de réduire cette classification à deux groupes : interdépendances de flux et interdépendances d'infrastructures. En d'autres termes, la mise en réseau que constitue la synergie se traduit par des interactions entre, d'une part, un ensemble de systèmes techniques et leur gestion et, d'autre part, des productions et des consommations de flux d'énergie accompagnées de transactions financières. Ces interactions, qui n'ont pas toutes le même poids selon la synergie considérée, existent dans toute forme de mise en réseau, mais elles sont pour autant réduites par la centralisation dans le cas des réseaux conventionnels.

Nous avons alors constaté que ces interdépendances sont associées à une instabilité du réseau formé par la synergie, qui se trouve pris entre deux logiques qui fragilisent la pérennité de sa

fonction d'approvisionnement énergétique. D'un côté, plus l'intégration entre les systèmes sociotechniques est importante, plus les interdépendances peuvent entraîner des risques pour les acteurs. De l'autre, moins l'intégration est importante, moins l'information circule aisément entre les acteurs et donc plus le fonctionnement du système est rendu complexe. En outre, ces interdépendances plus fortes que dans le cas conventionnel ne s'accompagnent pas de nouvelles formes de solidarité. Pour autant, malgré ces distinctions, on s'aperçoit que, dans chacun des cas, un opérateur joue le rôle d'intermédiaire entre les acteurs qui produisent les flux ou en bénéficient. En cela, le modèle de gestion des interdépendances associées à la mise en réseau n'est pas opposé à celui des réseaux conventionnels.

Enfin, dans un dernier temps, nous avons mises au jour des stratégies plus ou moins consolidées d'évolution du réseau face aux instabilités qui prennent le plus souvent la forme de simples propositions émanant d'un ou de plusieurs acteurs. Si elles sont propres à chaque situation, nous avons toutefois pu observer une logique similaire au sein de chacune d'entre elles : il s'agit dans chacun des cas de faire croître spatialement le réseau. Que l'objectif soit d'intégrer de nouvelles sources de production, de nouveaux gisements de consommation, d'interconnecter des réseaux ou bien une combinaison de ces forme d'extension, ces propositions s'appuient dans tous les cas sur la confrontation du réseau existant au fonctionnement énergétique des activités qui l'entourent mais qui n'y sont pas connectées. On retrouve donc le principe de croissance du réseau que les travaux analysant les relations entre réseaux et territoires mettent en avant. Toutefois, elle est déclinée dans une logique tout à fait différente, qui vise à faire croître les circulations de flux dont le réseau est le support plutôt que les consommations.

L'organisation des activités dans l'espace urbain, en ce qu'elle conditionne ces possibles circulations, prend alors une importance décisive dans ce processus de construction et d'évolution. En cela, le processus de construction du réseau comprend une étape de sélection spatiale qui sous-tend un objectif de mise en circulation des flux venant remplacer la logique d'offre qui a guidé l'évolution des réseaux conventionnels. Toutefois, nous n'avons pas observé d'intégration des planifications spatiales du territoire et des stratégies d'évolution du réseau, tout au moins pas plus que dans le discours : en aucun cas la localisation d'activités n'est contrainte explicitement et spécifiquement pour permettre la mise en œuvre d'une forme de synergie. Le changement ne se trouve donc pas tant dans une inversion de cette relation que dans la conceptualisation du rôle du réseau qui d'objet de distribution devient objet de réorganisation des flux.

En définitive, partant de cette série d'analyses, nous pouvons reprendre le tableau que nous avions construit en fin de chapitre 3, qui comparait les grands résultats obtenus quant à l'origine et au fonctionnement des grands réseaux conventionnels aux hypothèses que nous avons formulées quant aux synergies énergétiques urbaines. Nous pouvons à présent remplacer ces hypothèses par des résultats, comme nous le faisons dans le Tableau 7. 2, qui constitue en cela une réponse à notre problématique.

Tableau 7. 2 : Comparaison entre les caractéristiques de la co-construction sociomatérielle des territoires urbains et des réseaux dans le cas conventionnel et dans celui des synergies énergétiques urbaines, à partir de la mise en perspective des études de cas

	Grand réseau conventionnel	**Synergies énergétiques urbaines**
Logique sous-tendant la mise en réseau	Efficacité technico-économique pour fournir un service d'approvisionnement énergétique homogène sur le territoire	Intérêts stratégiques ou opportunistes englobant un objectif d'efficacité de l'usage des flux énergétiques locaux
Effets de la mise en réseau	Solidarisation du territoire gérée par un opérateur	Interdépendances de flux et d'infrastructures à l'échelle locale gérées par un opérateur
Principe d'évolution du réseau	Extension spatiale de l'infrastructure pour accompagner une croissance des consommations	Sélection spatiale et mise en circulation de flux préexistants

Nous obtenons ainsi une image des changements dans les processus de mise en réseau de l'urbain qui accompagnent une volonté croissante d'optimiser l'usage des ressources locales d'énergie. Pour autant, nous n'avons jusqu'ici pas analysé la façon dont ces changements se répercutent – ou non – dans la manière d'organiser les relations formelles, financières et juridiques, entre acteurs de l'approvisionnement énergétique. Cette discussion fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 8 – Des modèles de systématisation des synergies en construction et en questions

L'analyse consécutive de trois cas contrastés et leur mise en perspective nous a permis de confronter les processus de mise en réseau de la ville par les synergies énergétiques à ceux qui ont accompagné et accompagnent la forme dominante de fourniture d'énergie dans les villes du Nord. Pour autant, nous avons constaté – en particulier en conclusion de la deuxième partie du chapitre précédent – que le modèle formel associé à cette mise en réseau, c'est-à-dire la répartition des rôles et des pouvoirs de décision sur le réseau, reste intact : il existe toujours un acteur qui gère de manière centralisée la production et la distribution[167]. En d'autres termes, si la nature des producteurs change et qu'ils peuvent se confondre avec les consommateurs (comme dans le cas de Lyon), on trouve toujours entre les deux un ou des intermédiaires qui construisent, investissent, gèrent et contrôlent les réseaux de circulation d'énergie de façon centralisée, quand bien même ils ne sont pas à l'origine des productions[168]. Le modèle classique d'organisation de la fourniture d'énergie, représenté Figure 8.1, reste donc globalement inchangé. Nous retrouvons ainsi le constat posé ailleurs d'une absence de corrélation entre la décentralisation du système de production et celle de la gestion (Bridge *et al.*, 2013).

Se pose alors la question suivante : au-delà des études de cas, observe-t-on par ailleurs des évolutions formelles, proposées ou effectives, dans l'organisation de la fourniture énergétique pour accompagner les évolutions métaboliques que sont les synergies énergétiques ? En somme, nous nous demandons si la relation asymétrique (Rumpala, 2013, p. 51‑52) entre les opérateurs (producteur, transporteur, distributeur, fournisseur[169]) sectorisés d'un côté et le consommateur de l'autre, qui existe dans le modèle conventionnel, n'est pas changée ou remise en cause par l'organisation de circulations directes d'énergie entre activités urbaines.

[167] Rappelons que la « centralisation » associé au modèle conventionnel fait référence à une double caractéristique : matérielle et spatiale d'un côté (le faible nombre de points de production en comparaison du nombre de points de consommation) et organisationnelle de l'autre (la centralisation de la décision quant à la gestion, la régulation et la planification à une échelle locale ou plus large du réseau) (Coutard, 2010 ; Coutard et Rutherford, 2010a).

[168] Le cas de Lyon peut sembler faire exception avec l'existence de l'AFUL, mais le système énergétique est toujours exploité par une entreprise spécialisée et nous avons en outre constaté la volonté des acteurs publics comme privés de développer un pilotage des flux centralisé à l'échelle du quartier.

[169] Qui peuvent être plusieurs, fragmentés selon des activités que le modèle de Nicolas Curien permet de catégoriser (Curien, 2000 ; Penard et Rallet, 2014) ou bien regroupés en un seul acteur, comme dans le cas de nombreux réseaux de chaleur où la construction, la production, le transport et la fourniture et l'exploitation sont gérés par une seule entité.

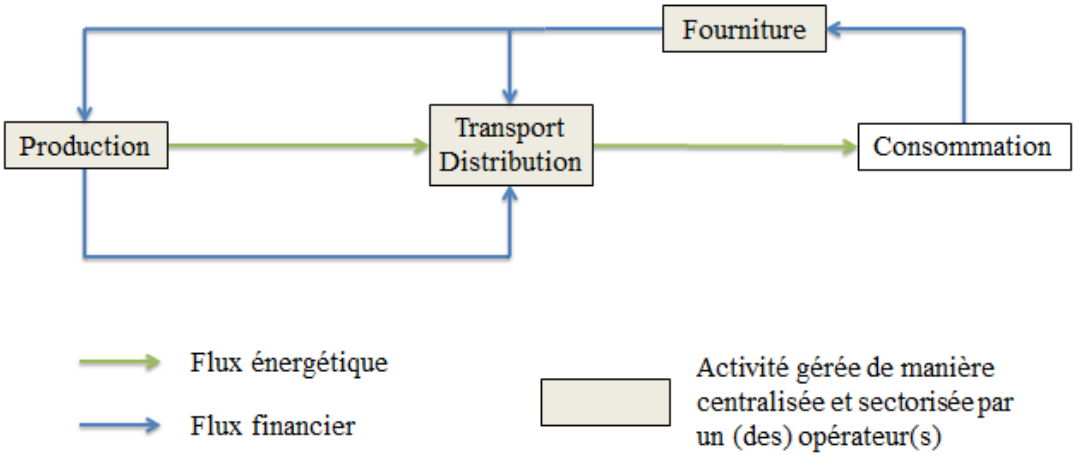


Figure 8.1 : Le modèle conventionnel d'organisation de la fourniture d'énergie – Réalisation personnelle

Comme expliqué au chapitre 3, parallèlement à nos études de cas, nous avons mené une veille des évolutions réglementaires, des nouvelles offres commerciales ou des projets innovants relatifs aux synergies énergétiques que nous avons approfondie par des entretiens. Au travers de ce travail, qui ne s'est cette fois-ci pas limité au cadre national français[170], nous avons pu constater l'émergence de trois modèles d'organisation de la fourniture d'énergie s'appuyant en partie sur des mutualisations ou récupérations locales, qui viennent *a priori* remettre en cause celui qui prévaut depuis plus d'un siècle et qui se traduisent par des formes de concrétisations plus ou moins avancées[171]. La jeunesse de ces modèles en fait bien entendu des formes bien moins stabilisées d'organisation de la fourniture d'énergie à la ville que la forme conventionnelle, mais ils constituent un changement qui tend précisément à se stabiliser : ils sont liés à des offres commerciales et donc à des modèles économiques, il s'inscrivent dans des stratégies d'entreprises et ils sont soutenus par des acteurs institutionnels de l'aménagement urbain. En somme, si l'on reprend la terminologie de la MLP succinctement discutée au chapitre 3, ils constituent encore des niches mais dont l' *"internal momentum"*[172] a suffisamment cru pour venir perturber les modèles dominants de fonctionnement des acteurs

[170] Mais qui s'est cependant bien limité à des pays dans lesquels le grand réseau centralisé est la forme dominante de fourniture d'énergie.
[171] Nous entendons par-là qu'il ne s'agit pas de modèles purement idéels mais d'alternatives concrètement mises en œuvre. Ainsi, par exemple, il existe depuis les débuts mêmes de l'émergence des réseaux d'énergie des formes de propositions basées sur la décentralisation complète de la production et de la distribution d'énergie (qui en outre ne sont pas nécessairement liées à une volonté de mutualiser ou récupérer des flux d'énergie), mais qui n'ont jamais été suivies d'effets (Lopez, 2014) : nous ne les prenons pas en compte.
[172] Que l'on pourrait traduire par « élan interne ».

(Geels et Schot, 2007, p. 400) : *"niche-innovations build up internal momentum, through learning processes, price/performance improvements, and support from powerful groups".*

Rappelons bien toutefois que, dans cette thèse, notre objectif n'est pas de décrire des processus de transition ou comment des niches émergent et se diffusent, mais d'analyser la traduction de formes alternatives sur la co-construction de la ville et des systèmes énergétiques. Dans ce chapitre, nous ne nous intéressons plus à des processus, qui ne peuvent être mis au jour que par l'analyse sociomatérielle fine de cas spécifiques, mais à des modèles formels, c'est-à-dire à des formes d'organisation prévues et planifiées par divers acteurs de la fourniture d'énergie. En d'autres termes, nous posons la question suivante, variante de notre problématique : comment ces modèles émergents se confrontent-ils au mode dominant de répartition des pouvoirs de décision et des transferts financiers dans la fourniture d'énergie à l'urbain ?

Dans ce qui suit, nous proposons d'analyser successivement les trois modèles mis au jour, partant de celui qui diverge le moins du modèle d'organisation conventionnel pour aller vers celui qui en diverge le plus selon notre analyse. Chacun de ces modèles est spécifique à un flux particulier (la chaleur ou l'électricité), les évolutions proposées se positionnant en effet par rapport aux organisations héritées de la distribution de ces types d'énergie, qui sont différentes, comme le rappellent les développements de ce chapitre. Chaque fois, nous nous interrogeons sur ce qui change en comparaison du modèle de gestion centralisée et linéaire décrit sur la Figure 8.1. En premier lieu, nous analysons une forme de réseau de chaleur « ouvert » qui fonde en partie son modèle de fonctionnement sur la récupération systématique des flux de chaleur fatale (I). En second lieu, nous nous intéressons à diverses initiatives qui visent à mutualiser localement les productions décentralisées au travers d'échanges *peer-to-peer* et qui vont jusqu'à remettre en cause le rôle du fournisseur d'énergie (II). Enfin, nous explorons ce qu'un nombre croissant d'acteurs présente sous le nom de « chauffage numérique », qui se fonde sur une manière alternative de récupérer la chaleur des serveurs informatiques en s'appuyant sur une déconcentration spatiale de ces derniers (III).

I. Le modèle du réseau de chaleur « ouvert » : hybridation entre centralisation et échanges multidirectionnels

S'ils s'inscrivent dans un cadre de régulation spécifique et ont une extension spatiale souvent bien plus limitée que celle des réseaux d'électricité ou de gaz, les réseaux de chaleur

conventionnels en partagent pourtant le mode de fonctionnement (Rocher, 2013 ; Menanteau et Blanchard, 2014) : ils sont centralisés dans la répartition de leurs points de productions et dans leur gestion et fonctionnent de manière linéaire (production, usage, rejet). Pourtant, on assiste depuis quelques années à l'émergence de réseaux qui proposent une alternative à ce modèle en s'appuyant précisément sur les possibilités de synergies que permet l'infrastructure du réseau de chaleur : diverses offres d'ouverture des réseaux de chaleur aux échanges se construisent, qu'elles soient intégrées au moment de la création du réseau ou appliquées à un réseau existant. Nous les présentons dans une première section (A). Pour autant, bien qu'ils s'appuient sur un modèle différent de rapport aux sources d'énergie réparties sur le territoire, la forme de construction et d'exploitation de ces derniers reste très similaire au modèle conventionnel, ce que nous montrons dans une deuxième section (B).

A. Un réseau ouvert aux circulations de chaleur fatale : boucle d'eau tempérée et *open district heating*

L'ouverture des réseaux de chaleur à la circulation de flux de chaleur fatale existe sous des formes qui se présentent comme moins centralisées que celles que nous avons observées dans nos cas d'étude, cependant de deux façons différentes. D'un côté, de nouveaux réseaux aux caractéristiques techniques bien spécifiques sont créés en ce sens (1). De l'autre, on propose d'« ouvrir » un réseau existant à la récupération de chaleur (2).

1. Boucles d'eau tempérée et récupération de chaleur

Alors que le développement des réseaux de chaleur est fortement encouragé par la législation française, on assiste depuis quelques années au développement de formes bien spécifiques de réseaux dont le mode de fonctionnement se fait en particulier l'écho d'une prise en compte plus importante des possibilités de synergies par les opérateurs. Le modèle qui les sous-tend nous a régulièrement été cité en entretien comme une forme d'ouverture des réseaux à l'injection décentralisée de différents flux d'énergie, et tout particulièrement de flux de chaleur fatale : « avec ce système, chaque bâtiment pourrait être à la fois fournisseur et consommateur de chaleur » (Entretien avec un chef de projet (1), Franck Boutté Consultants, 10/10/2014).

Un exemple récemment médiatisé[173], conçu à Marseille au sein de l'Opération d'Intérêt Nationale Euromed (Ronai, 2010), nous permet d'introduire les fondements de ces formes de

[173] Voir, entre autres :
« Smartseille : l'écoquartier 3.0 », Le Point, 03/12/2015

réseaux, tout au moins lorsqu'ils sont développés dans le cadre d'opérations d'aménagement[174]. Le lien de cette opération avec la problématique traitée dans cette thèse apparaît d'autant plus fort qu'elle s'appuie sur la notion de « solidarité énergétique » que nous avons discutée dans l'Encadré 6.2 et qui consiste à concevoir les systèmes énergétiques des bâtiments en relation avec leur environnement bâti. La mise en œuvre concrète de ce concept par Eiffage se traduit à ce jour par le développement d'un réseau de chaleur[175] reliant les bâtiments de l'« îlot Allar » (Euroméditerranée et Eiffage, 2015). Tout comme pour le cas de l'îlot Hikari, la diversité des activités au sein des bâtiments (bureaux, logements et commerces) est présentée comme un vecteur d'efficacité du système.

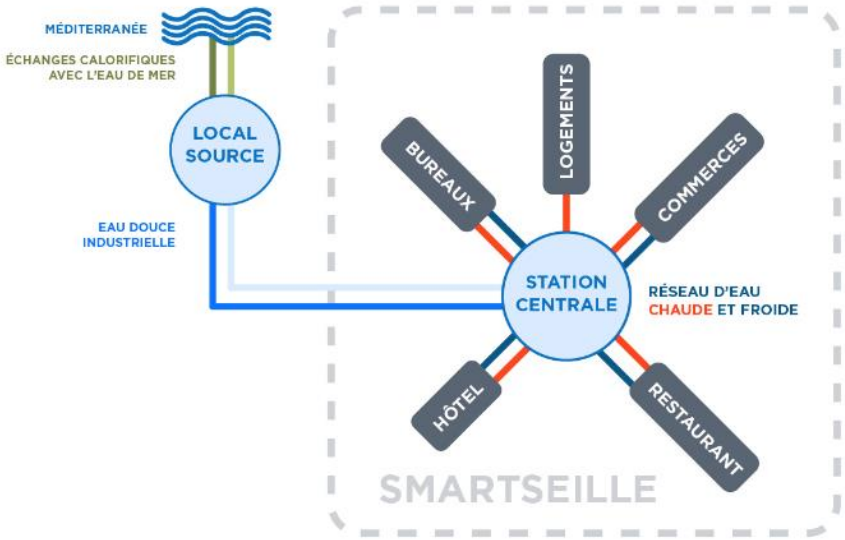


Figure 8.2 : Principe de la boucle d'eau tempérée développée sur l'îlot Allar à Marseille - Source : Smartseille

On retrouve donc à la fois un discours et des principes proches de ceux qui sous-tendent le développement de l'îlot Hikari par Bouygues Immobilier. Toutefois, le système technique mis en œuvre à Marseille pour la mutualisation de la chaleur n'est pas le même que celui que nous avons analysé à Lyon : il s'agit d'une « boucle d'eau tempérée » que l'on peut assimiler à un

« Euroméditerranée, une (re)conquête de l'espace », La Tribune, 15/10/2015
« Bienvenue dans le quartier laboratoire », La Provence, 24/09/2015
« Smartseille, le village urbain connecté », Les Echos, 25/06/2015
« À Marseille, Eiffage lance son écoquartier du futur », Le Moniteur.fr, 10/04/2015

[174] Des boucles d'eau tempérée plus anciennes existent dans des centres commerciaux (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016).

[175] Le réseau est conçu et construit par EDF Optimal Solutions et exploité par Dalkia.

réseau de chaleur basse température « ouvert » (voir la représentation de son principe de fonctionnement Figure 8.2).

Le principe général de fonctionnement d'un tel réseau en est en effet le suivant : une source de chaleur (géothermique ou autre, telle que l'eau de mer à Marseille) est utilisée pour maintenir la température d'une boucle d'eau à une température moyenne – d'où l'usage du qualificatif « tempéré » – de l'ordre d'une quinzaine de degrés Celsius. Des pompes à chaleur installées dans chaque bâtiment connecté à la boucle rehaussent ou abaissent alors cette température pour répondre aux besoins de chaud ou de froid des occupants.

Au-delà de ce fonctionnement pensé en particulier pour être adapté à la faiblesse et à la diversité des besoins en chaleur des bâtiments récents (Späth, 2005), les boucles d'eau tempérée s'appuient également sur des récupérations de chaleur décentralisées : la boucle est ouverte, au sens où les différents bâtiments peuvent autant y prélever qu'y injecter des flux de chaleur ou de froid, si bien qu'on leur donne parfois le nom de boucle d'échange thermique[176]. Ainsi, au sein de l'îlot Allar, les bureaux qui produisent de la chaleur au travers de leur rafraîchissement peuvent l'injecter sur la boucle pour en faire profiter les logements. Il s'agit ainsi de tirer parti d'une concomitance entre des besoins de chaud et de froid, qui varie bien entendu en fonction de la saison[177]. Dans le cas de l'îlot Allar, le concepteur du réseau annonce que ces échanges d'énergie permettent une économie de 30% sur la facture d'énergie des logements (Euroméditerranée et Eiffage, 2015).

Ce même principe est appliqué à la boucle d'eau tempérée de l'éco-quartier Ginko à Bordeaux qui met en réseau des pompes à chaleur réversibles et une source centralisée (voir Figure 8.3) ou encore de celui développé par l'Etablissement Public d'Aménagement de Paris-Saclay amené à approvisionner logements, activités économiques et établissements d'enseignement supérieur (voir Figure 8.4) (Etablissement Public Paris-Saclay, 2014). Chaque fois, on associe une mixité d'activités à des possibilités de récupération décentralisées, selon donc des principes similaires à ceux que nous avons observés dans nos

[176] Voir par exemple la communication autour du projet d'éco-quartier Européa à Bruxelles qui parle de « mise en place de synergies énergétiques » au travers d'une « boucle d'échange thermique entre les fonctions résidentielles et commerciales » (Unibail Rodamco, 2015), ou encore autour du projet « La Ruche » qui fait partie des lauréats du concours « Réinventer Paris », qui prévoit également une « boucle d'échange thermique bureaux/logements » (voir le site internet de l'exposition du concours, consulté la dernière fois le 27/09/2016 : http://reinventerparis.pavillon-arsenal.com/projets/2692-la-ruche-poterne-peupliers.html).

[177] Ainsi, une boucle d'eau tempérée est considérée comme la plus efficace aux périodes de mi-saison, lorsque les bâtiments tertiaires ont des besoins de froid tandis que les bâtiments résidentiels ont encore des besoins de chaleur.

différentes études de cas. L'idée est ainsi de faire du réseau un hybride entre une plateforme d'échange généralisé d'énergie et une infrastructure de distribution de flux thermiques.

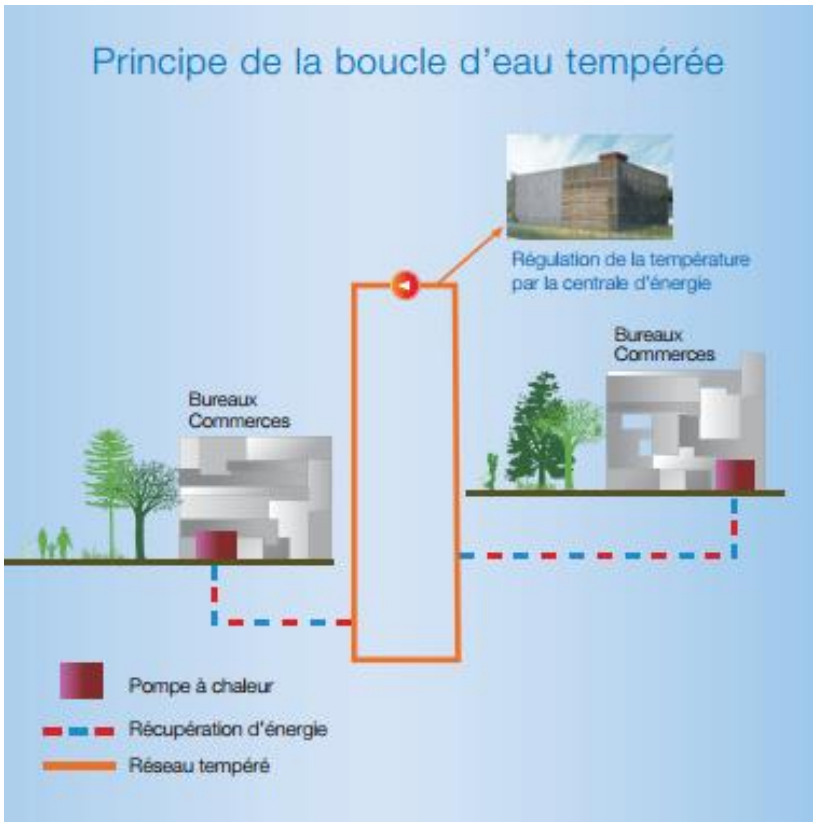


Figure 8.3 : Principe de fonctionnement de la boucle d'eau tempérée du quartier Ginko à Bordeaux – Source : Présentation publique Cofely Services

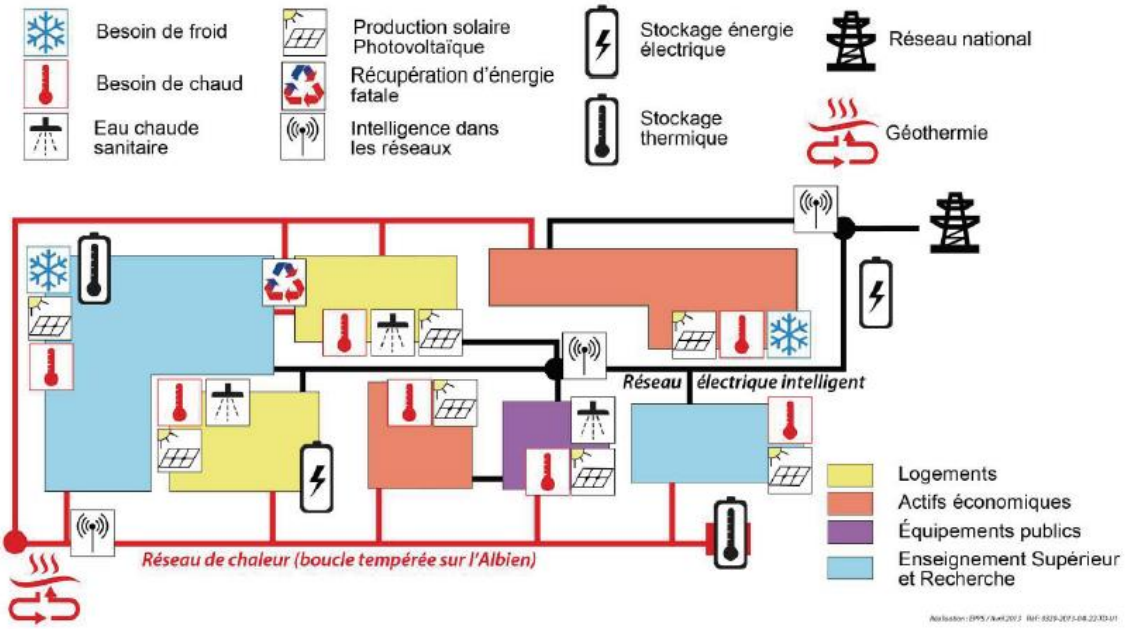


Figure 8.4 : Principe de fonctionnement de la boucle d'eau tempérée à Paris Saclay – Source : Présentation publique EPPS

2. Ouvrir un réseau existant aux échanges de chaleur : l'*Open District Heating* à Stockholm

Si les trois réseaux évoqués dans la section précédente sont conçus dès l'origine pour mettre en œuvre cette hybridation entre distribution et échange, l'application explicite de ce principe d'ouverture à un réseau existant peut être observée dans le contexte bien différent de la ville de Stockholm, approvisionnée en grande majorité (à 75%) en chaleur par un réseau au mix dominé par la biomasse. L'entreprise Fortum Värme[178] qui en assure l'exploitation (Rutherford, 2008) développe depuis 2015 une offre commerciale qui s'accompagne de la création de la marque « *Open District Heating* », soit en traduction littérale, « réseau de chaleur ouvert ». La marque est utilisée pour communiquer auprès des producteurs de chaleur fatale les plus importants de la ville, tels que les *data centers* ou les centres commerciaux (voir Figure 8.5) pour les inciter à revendre ces flux à l'opérateur afin qu'il les injecte dans le réseau.

Dans la définition du concept, on retrouve à nouveau l'idée de passage à un système d'échange, au travers de la notion de *trading* : *"in short, Open District Heating is a new business model for Fortum Värme in three ways. First, it is a business offer that allows for large scale heat recovery from data centers and ICT companies. Second, it transforms the district heating network from a distribution system to a trading platform making Fortum Värme dependent on deliveries from multiple independent suppliers. Third, it will introduce small-scale, decentralized heat pumps as a complement to Fortum Värme's large-scale, concentrated combined heat and power plants"*[179]. Ainsi, la communication de l'exploitant sur cette offre s'appuie autant sur des arguments d'efficacité économique que d'efficacité technique, au travers des redondances que permettrait l'injection de sources décentralisées. Si les résultats commerciaux de l'offre ne sont à ce jour pas publicisés, l'opérateur met en avant plusieurs opérations d'interaction entre le réseau de chaleur et les systèmes de refroidissement de *data centers*[180], de façon similaire à ce que nous avons pu observer au Val d'Europe. La singularité de l'offre se trouve donc avant tout dans le caractère systématique qu'elle confère aux possibilités de récupération.

[178] L'entreprise est codétenue par Fortum, énergéticien norvégien et la ville de Stockholm.
[179] *"Open District Heating as a new business model"*, sur le site web de la marque, consulté la dernière fois le 13/07/2016
http://www.opendistrictheating.com/join-the-discussion/open-district-heating-new-b/usiness-model/
[180] Voir la page *References* du site internet de la marque, consulté la dernière fois le 01/08/2016
http://www.opendistrictheating.com/pilots/

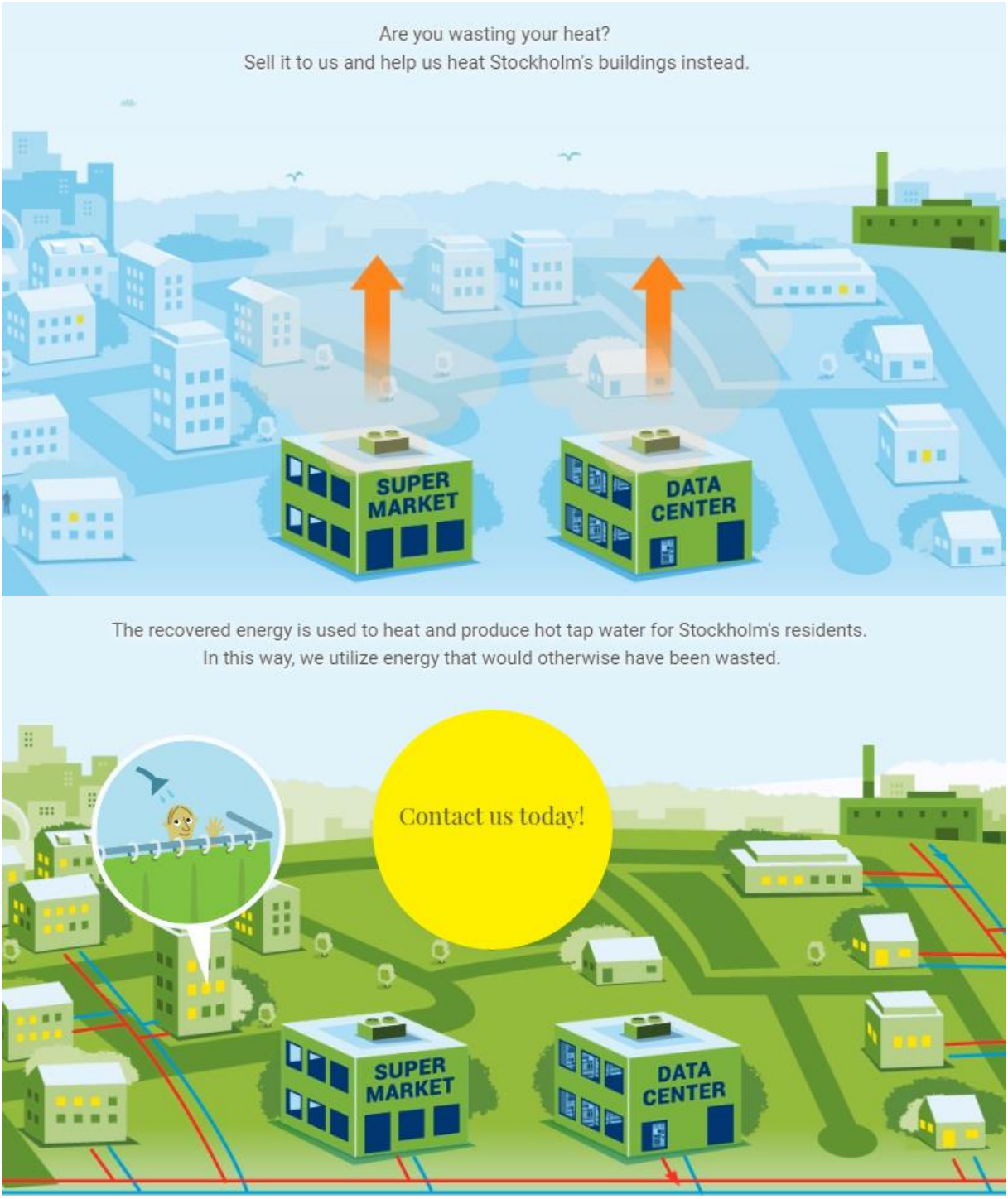


Figure 8.5 : Support de communication pour l'offre Open District Heating de Fortum Värme

B. Des modèles économiques en construction pour une décentralisation toute limitée

L'image générale d'ouverture qui émerge du discours et de la communication des acteurs semble *a priori* être liée à une transformation forte du métabolisme et de l'organisation du réseau. Pourtant, cette transformation ne se produit dans les faits qu'à la marge, en particulier

parce que le financement de l'infrastructure reste centralisé (1). Cela n'entraîne toutefois pas qu'elle soit sans effet sur l'organisation de la fourniture d'énergie, notamment parce qu'elle dessine les contours d'une potentielle nouvelle activité pour les opérateurs (2).

1. Une ouverture qui pèse marginalement sur le bilan métabolique et le partage du contrôle sur le réseau

En définitive, qu'il s'agisse de la construction d'une nouvelle infrastructure ou de la transformation du rôle d'une infrastructure existante, le point commun de ces modèles est celui d'une vision du réseau comme d'un outil de circulation qui ne suit plus une direction unique (d'un producteur vers des consommateurs) mais devient au contraire le support de flux multidirectionnels. On s'éloigne donc du modèle du réseau conventionnel, avec l'objectif affiché, comme l'explique le directeur du projet de Paris-Saclay, de passer d'un « système distributif à un système d'échange » (Entretien avec le Directeur du projet réseau de chaleur, Etablissement Public Paris-Saclay (EPPS), 23/07/2015), ce qui apparaît comme une forme de rupture.

Cependant, un second point commun à l'ensemble de ces projets est la persistance de l'existence, d'une part, d'une source de chaleur centralisée et, d'autre part, d'un opérateur qui gère le fonctionnement du réseau dans son ensemble. Dans chaque cas, le réseau est dimensionné de telle manière qu'il puisse fonctionner sans les circulations de chaleur fatale, notamment parce que ces dernières sont le plus souvent liées aux besoins thermiques des différents bâtiments qui varient fortement de façon saisonnière. Par exemple, les 37 MW de puissance de chaleur souscrite prévus pour le réseau de Paris-Saclay peuvent être entièrement approvisionnés par la géothermie et les chaufferies gérées de manière centralisée par l'opérateur[181]. La récupération de chaleur sur divers processus est envisagée comme une forme potentielle d'optimisation supplémentaire dont le système en réseau n'est toutefois pas dépendant (Entretien avec le Directeur du projet réseau de chaleur, Etablissement Public Paris-Saclay (EPPS), 23/07/2015). Le cas de l'offre commerciale *Open District Heating* est une illustration d'autant plus parlante de ce principe que le réseau de chaleur de Stockholm fonctionne depuis sa création sans l'apport des flux de chaleur fatale en provenance des *data centers*. Malgré l'objectif poursuivi, le réseau reste donc en premier lieu un outil de distribution. Emerge en cela un modèle de réseau plus distribué du point de vue de la

[181] C'est dans ce cas l'entreprise Idex qui assure ce rôle pour 7 ans, dans le cadre d'un contrat de CREM (Contrat de Conception, Réalisation, Exploitation et Maintenance).

circulation des flux mais dont l'équilibre technico-économique s'appuie principalement sur une activité classique de distribution.

En outre, si les bâtiments connectés sont vus comme de potentiels producteurs, on s'aperçoit que le statut qui leur est donné n'est en rien comparable à celui de l'opérateur de la source centralisée d'énergie. En effet, si dans le cas de l'opération commerciale de Fortum Värme les producteurs de chaleur fatale sont rémunérés selon des contrats similaires à ceux qui existent dans nos cas d'étude, tel n'est pas encore le cas dans les boucles d'eau tempérées : « il y a un vide juridique. Parce que pour l'instant, la chaleur est récupérée gratuitement mais un jour les bureaux pourraient vouloir revendre cette chaleur » (Entretien avec un chef de projet (1), Franck Boutté Consultants, 10/10/2014).

Ainsi, la recherche de systématisation des transferts d'énergie que permettent ces infrastructures ne vient pas avec une formalisation des manières de rémunérer ces échanges. Par exemple, dans le cas du réseau de l'opération Paris-Saclay, des modes de rémunération différents sont prévus en fonction du type de flux thermique reversé sur la boucle mais ceci relève d'une décision propre à l'autorité d'exploitation du réseau qu'est l'aménageur, c'est-à-dire d'une décision centralisée : « pour ceux qui produiront du froid l'hiver et qui du coup produiront du chaud, il y aura une tarification préférentielle sur la chaleur. Mais la chaleur reversée sur la boucle ne sera pas rémunérée. Par contre lorsqu'il y aura de la récupération plus substantielle comme sur les *data centers* et les salles blanches, là ce sera rémunéré » (Entretien avec le Directeur du projet réseau de chaleur, Etablissement Public Paris-Saclay (EPPS), 23/07/2015). Ainsi, de manière générale, la rémunération des producteurs décentralisés est fixée par un ou des acteurs centralisés – qu'il s'agisse d'une collectivité ou d'un opérateur –, ce qui reproduit l'asymétrie entre producteurs et consommateurs du modèle conventionnel et ne mène donc pas à une fusion ou transformation des rôles.

Dans le cas des réseaux de chaleur, où distributeur et fournisseur de chaleur se confondent, la permanence de cette asymétrie de contrôle sur les flux peut être rapprochée du mode d'investissement dans les infrastructures qui reste également inchangé en comparaison du modèle conventionnel : dans chacun des cas évoqués ici, le modèle est toujours celui d'un investissement réalisé par un acteur central qui le rentabilise par la vente de services à une diversité d'usagers. Les producteurs décentralisés ne prennent ainsi pas part à cet investissement initial et n'ont donc pas le même statut que l'opérateur. La persistance de ce modèle, malgré l'éclatement des sources de production qui est perçu comme un mouvement

général par les opérateurs de réseaux de chaleur[182], est justifiée par ces derniers au travers de l'argument de leur expérience et de leur capacité à supporter les risques liés aux investissements dans les infrastructures.

> « Je sais bien que se placer en intermédiaire … les gens se disent tout le temps : « je n'ai pas besoin d'un intermédiaire, je ne vois pas pourquoi je ne monterais pas directement mon projet ». Sauf qu'en fait des gens capables de prendre ce risque-là, ben … voilà. C'est chacun son métier. Et ça en l'occurrence, c'est un risque que Dalkia, Cofely, quelques gros savent prendre. Et c'est là que c'est vrai que c'est plus facile d'être gros, hein, soyons clair, mais c'est aussi parce qu'on a une expérience très longue des réseaux. Ça fait cinquante ans, quarante ans, cinquante, je ne sais plus, qu'on exploite des réseaux de chaleur, donc on connaît … »
>
> Entretien avec la Directrice marketing de Dalkia Ile de France, 05/06/2015

En outre, la question de la répartition des responsabilités est également relevée comme un argument en faveur de l'existence d'un acteur gestionnaire centralisé : « le problème c'est ce petit bout de tuyau qui part de chez l'un et qui va chez l'autre. Il y a la question de la responsabilité. Qui va faire la maintenance, les réparations, si le problème est chez les bureaux alors que la consommation est chez les logements ? » (Entretien avec un chef de projet (2), Franck Boutté Consultants, 10/10/2014). On retrouve ici les inquiétudes plus générales autour de la mutualisation des systèmes énergétiques relevées au chapitre 6.

En somme, si les modèles de réseaux analysés ici se veulent plus ouverts, rompant donc *a priori* avec « l'enfermement physique, technique, économique et politique » (Souami, 2012) qui caractérise le modèle des réseaux conventionnels, cette ouverture se limite à la dimension métabolique du réseau et reste en outre marginale dans le bilan de ce dernier.

2. Vers un modèle économique dual de l'opérateur énergétique ?

Ainsi, nous retrouvons ce que d'autres ont observé et analysé dans le cadre de la diffusion des techniques décentralisées de production d'énergie, sans lien ici avec la question des synergies : s'il existe bien des individus ou des collectifs de citoyens investissant dans des systèmes de production (Cointe, 2014 ; Dobigny, 2009, 2012 ; Julian, 2014 ; Nadaï *et al.*, 2015), les opérateurs et décideurs centralisés sont toujours là pour investir dans les infrastructures de distribution et organiser techniquement et financièrement les circulations

[182] « Aujourd'hui on fonctionne avec des unités centralisées, c'est-à-dire qu'on a une grosse unité de production qui innerve la ville et des petites unités de secours plus décentralisées, mais qui ne restent que des petites unités de secours. Et demain on ira vers des choses beaucoup plus décentralisées. On va de plus en plus vers des mixs » (Entretien avec le directeur commercial adjoint, Cofely Réseaux, 24/08/2015).

(Zelem, 2012)[183]. Le modèle analysé ici apparaît rompre d'autant moins avec l'organisation conventionnelle qu'il conserve *a priori* l'existence d'une décision centralisée sur les tarifs d'achat, alors même que celle-ci tend à disparaître dans le cas des productions décentralisées d'électricité dont les tarifs d'achat se voient de manière croissante formés par des mécanismes de marché, sous l'impulsion de réformes européennes[184].

Pour autant, si l'on s'intéresse au discours des acteurs qui investissent le modèle plus ouvert analysé ici, on observe que cet état de fait n'est pas considéré comme une finalité. Au contraire, Fortüm Varne présente son opération commerciale comme la transformation du réseau en une plateforme de *trading* tandis que l'EPA de Paris-Saclay souhaite, à terme, associer au réseau de chaleur un modèle dynamique d'évolution des tarifs en fonction de la production et de la demande instantanées : « au final, en 2022, ce sera une sorte de bourse d'échange. Mais le modèle économique n'est pas du tout fait » (Entretien avec le Directeur Général Adjoint à la Stratégie, à la Performance et aux Nouveaux Services de l'EPPS, 23/07/2015).

Aussi, s'il apparaît que la centralisation n'est pas remise en cause par ces modèles, un nouveau rôle pour l'opérateur distributeur-fournisseur semble se dessiner, qui corrobore ce que nous avons observé dans le cas de Lyon : celui d'intermédiaire d'échanges, c'est-à-dire de *trader*. Nous retrouvons ainsi l'ambition d'Embix, évoquée au chapitre 6. Si ce rôle existe déjà chez des opérateurs historiques tels qu'EDF et GDF (Angelier, 2005 ; Huet et Nahon, 2011), il se verrait ici transformé dans son échelle et dans le type d'acteurs qu'il met en relation, passant de producteurs spécialisés et centralisés à des producteurs décentralisés dont la production d'énergie n'est pas le cœur d'activité.

Ce nouveau rôle pourrait en outre amener de nouvelles stratégies chez ces opérateurs qui trouveraient un intérêt à susciter des échanges de flux, sur lesquels ils se rémunèreraient, au-delà des seules consommations. Nous retrouvons donc un résultat amené dans le chapitre précédent, selon lequel l'émergence des synergies transforme une logique de croissance des consommations en une logique de croissance des circulations de flux. En somme, le modèle du réseau de chaleur ouvert n'apparaît pas tant comme une redistribution des responsabilités dans la fourniture d'énergie que comme l'émergence d'un nouveau modèle économique pour

[183] Notons toutefois que des collectifs « militent en France et à l'étranger, en faveur d'une ouverture des concessions de gestion du réseau électrique à des collectivités ou des collectifs locaux (par exemple, voir l'expérience du Mené en France ; la coopérative de production, distribution et fourniture d'électricité EWS à Schönau en Allemagne, etc.) » (Labussière et Nadai, 2015, p. 102).
[184] « Energies vertes : ce que va changer la fin des tarifs d'achat », Les Echos, 20/09/2015

les opérateurs en place, ou bien d'un nouveau type d'opérateur spécialisé sur cette activité de transaction. Pour autant, les modalités concrètes de mise en œuvre de cette activité n'apparaissent pas construites dans le cas des réseaux de chaleur et l'on reste donc sur un modèle qui ne fait évoluer qu'à la marge le fonctionnement conventionnel des réseaux. Il faut alors nous tourner vers un autre vecteur énergétique pour voir se dessiner des évolutions plus concrètes : celui de l'électricité et de sa circulation de « pair à pair », que nous analysons dans la partie suivante.

II. Le modèle du *peer-to-peer* de l'électricité : le réseau comme infrastructure de mutualisation décentralisée

Face au modèle d'injection des productions décentralisées d'électricité dans le réseau national (Cointe, 2014), diverses alternatives sont proposées pour construire de nouvelles formes de mutualisation des productions d'électricité. Leur principe général est celui d'une décentralisation de la décision dans l'organisation des échanges d'électricité, comme nous le donnons à voir dans une première section (A). Toutefois, alors qu'elles visent à permettre l'échange direct entre des producteurs et consommateurs de proximité, nous montrons dans une seconde section qu'elles se heurtent à la réglementation historique appliquée aux réseaux d'électricité (B). Enfin, dans une dernière section, nous montrons que cette réorganisation est parfois accompagnée d'une proposition de disparition de l'opérateur de fourniture d'énergie qui ne se positionne toutefois pas sur le rôle des opérateurs du numérique auxquels elle donne pourtant de fait une place nouvelle dans le service énergétique (C).

A. *Peer-to-peer* de l'électricité : l'émergence d'échanges décentralisés

Si la notion de *peer-to-peer* est associée de manière très dominante à des formes d'organisation des réseaux numériques, elle trouve un autre usage dans le domaine de l'énergie, notamment depuis que Jeremy Rifkin (2012) a inclus la construction d'un « internet de l'énergie » dans sa conceptualisation d'une économie de l'hydrogène (Rifkin, 2003 ; Verbong et Geels, 2010) puis dans celle d'une « troisième révolution industrielle » (Rumpala, 2013, p. 54) : « en développant un type de réseau « intelligent », inspiré des capacités distribuées permises par Internet, l'énergie produite par chaque bâtiment, lorsqu'elle est en surplus, pourrait ainsi être récupérée pour répondre aux besoins d'autres utilisateurs éventuels ». En d'autres termes, il s'agirait de remplacer l'opérateur de fourniture par un outil numérique qui permette d'échanger l'énergie de « pair-à-pair ».

L'idée trouve aujourd'hui des traductions concrètes dans la création de plateformes qui s'appuient sur un modèle d'échange direct d'énergie entre usagers-producteurs grâce aux technologies de l'information et de la communication. Un foisonnement de *start-ups* s'approprie ainsi le concept pour proposer des outils numériques d'échange d'énergie[185]. Par exemple, au Royaume-Uni, *Open Utility*[186] promet de « démocratiser l'énergie » au travers d'une plateforme de *trading* qui permettrait aux producteurs d'énergie renouvelable et aux usagers d'échanger directement des flux d'électricité (Open Utility, 2016). En Allemagne, l'offre *sonnenCommunity* lancée par l'entreprise sonnen GmbH fondée en 2010, propose aux usagers d'améliorer la concordance entre leurs besoins et productions énergétiques et de revendre leur surplus aux membres d'une communauté liée de façon numérique : *"with a sonnenBatterie and a photovoltaic system you'll completely cover your own energy needs on sunny days – often even generating a surplus. This surplus is not fed into the conventional power grid, but into a virtual energy pool that serves other members in times when they cannot produce enough energy due to bad weather. A central software links up and monitors all sonnenCommunity members – while balancing energy supply and demand"*[187]. L'appartenance à la communauté virtuelle permettrait alors de se passer du système conventionnel : *"as a sonnenCommunity member you don't need your conventional energy provider anymore - you are independent. From now on you supply yourself with renewable energy that is generated decentralized: you are part of the energy future!"*[188].

De la même façon, le projet européen Cossmic lancé en octobre 2013, déployé à Konstanz en Allemagne et dans la province de Caserte en Italie, propose une plateforme d'échange des surplus d'énergie, sans passer par les tarifs d'injection, afin d'optimiser l'usage du stockage électrique[189]. Ce type d'expérience peut toutefois tourner court, comme en témoigne la fermeture en 2016, pour des raisons économiques et réglementaires (sur lesquelles nous revenons plus loin) de l'entreprise américano-israélienne Yeloha lancée en 2012, qui

[185] Ces entreprises sont souvent comparées dans la presse à des entreprises basées sur l'« économie du partage ». Ainsi, Yeloha est qualifiée d' « airbnb de l'énergie » et Open utility d' "Uber for energy". Voir par exemple :
"Open Utility could become the 'Uber for energy' – but it won't be easy", NewStatesman Tech, 10/05/2016
"Here Comes the Airbnb of the Solar Industry", Inc., 07/04/2015
[186] Notons qu'on retrouve à nouveau le champ lexical de l'ouverture.
[187] Voir le site internet de l'offre, consulté la dernière fois le 21/07/2016
https://www.sonnenbatterie.de/en/sonnenCommunity
[188] *Ibid*
[189] Voir le site internet du projet, consulté la dernière fois le 21/07/2016
http://cossmic.eu/

proposait de mettre en relation des propriétaires individuels de panneaux solaires avec des consommateurs qui achèteraient leur surplus[190].

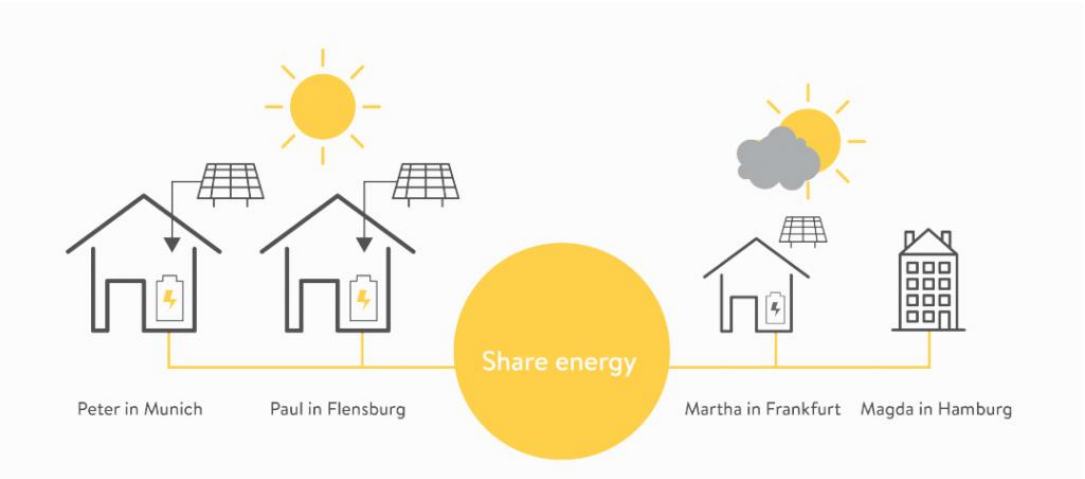


Figure 8.6 : Représentation du concept *Sonnen Community* – Source : Sonnenbatteries https://www.sonnenbatterie.de/en/sonnenCommunity

On comprend par les mots employés que ces expériences ne sont pas intrinsèquement locales et n'imposent pas de condition sur la proximité entre producteurs et consommateurs qu'elles visent à mettre en contact. La Figure 8.6, qui représente le principe de la *Sonnen Community*, en est une bonne illustration puisqu'elle prend pour exemple des échanges énergétiques entre des habitants de villes différentes.

On trouve toutefois aux Etats-Unis une exception à cette règle : le projet *Transactive Grid*, à Brooklyn, consiste en l'installation de dispositifs de comptage d'électricité et d'une plateforme numérique d'échanges de flux énergétiques et financiers[191]. L'objectif explicitement recherché est, tout en s'appuyant sur l'infrastructure du réseau d'électricité existant, de permettre des ventes et achats directs d'énergie entre voisins (voir Figure 8.7).

Cependant, de manière générale, que la localité des échanges soit recherchée ou non, les modèles de réseaux proposés ne s'accompagnent pas de la construction d'une infrastructure matérielle *ad hoc* : ils visent simplement à utiliser l'infrastructure classique de distribution d'électricité et à en étendre les fonctionnalités à l'échange d'énergie. Matériellement, les

[190] Voir le site internet de l'entreprise, consulté la dernière fois le 28/09/2016 http://www.yeloha.com/
[191] Voir le site internet du projet, consulté la dernière fois le 28/09/2016 http://transactivegrid.net/

échanges de flux sont donc toujours agrégés à l'échelle à laquelle le réseau historique se déploie et se mélangent avec les flux produits par les sources centralisées.

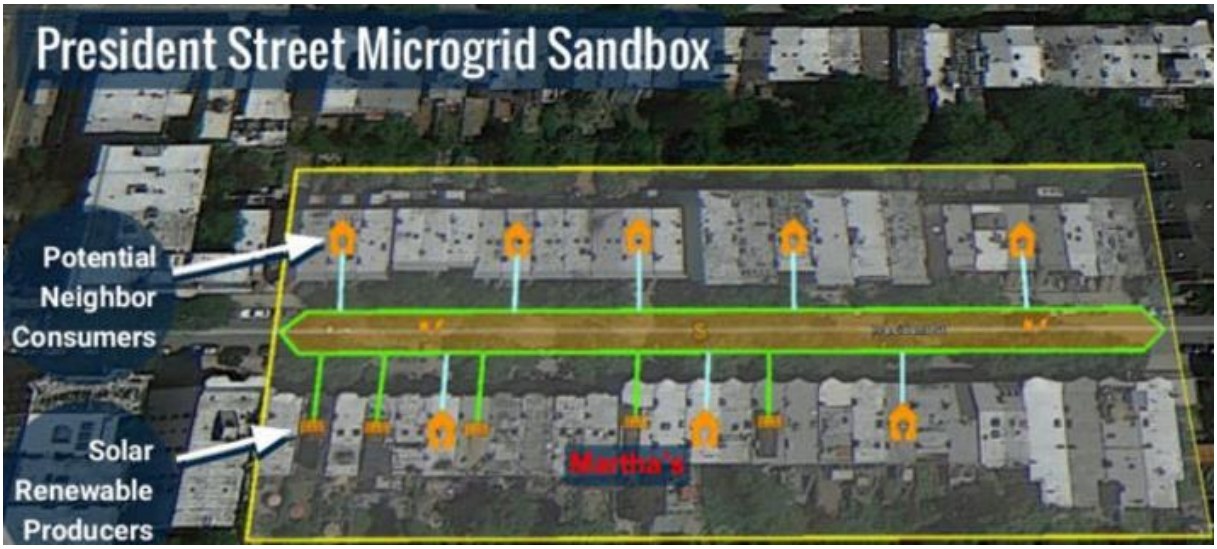


Figure 8.7 : Principe du *micro-grid Transactive Grid* de Brooklyn – Source : *Transactive Grid*

En somme, dans ces différentes offres, il s'agit principalement d'ajouter une couche supplémentaire au réseau, la gestion de l'infrastructure demeurant du ressort d'un opérateur central conventionnel : on ajoute une fonctionnalité dans la couche du « réseau de commande » (Curien, 2000), c'est-à-dire une nouvelle forme d'optimisation de l'utilisation de l'infrastructure par l'agrégation des décisions d'acteurs multiples, sans pour autant toucher à l'infrastructure en elle-même ou au cadre antérieur de sa gestion d'échelle nationale.

B. *Peer-to-peer*, proximité et utilisation du réseau

Cependant, au-delà de l'exemple du *Transactive Grid*, la question d'une incitation à des échanges *peer-to-peer* basés sur la proximité qui s'appuierait sur une distinction entre les origines spatiales des différents flux produits et consommés est explicitement évoquée dans certains cas, mais elle se heurte à des contraintes réglementaires (Koirala *et al.*, 2016 ; Open Utility, 2016). En effet, d'un point de vue économique, la consommation locale n'a d'intérêt que si le tarif de l'énergie prend en compte la distance parcourue par l'électricité échangée, c'est-à-dire l'utilisation effective du réseau de transport et distribution. C'est pour cette raison qu'au-delà de son travail de développement commercial, l'entreprise *Open Utility* mène également une activité de *lobbying* dans le but de modifier la réglementation britannique de

l'OFGEM (*Office of Gas and Electricity Markets*). L'objectif est de parvenir à une modification des tarifs d'utilisation du réseau national afin qu'ils soient corrélés à la distance parcourue par l'énergie délibérément achetée et vendue par les acteurs décentralisés, ce qui n'est actuellement pas le cas (Open Utility, 2016).

En France, la question se pose en des termes similaires. Le directeur de l'IFPEB (Institut Français pour la Performance Energétique du Bâtiment), observateur des rapports des acteurs privés de la fabrique urbaine à l'énergie, constate ainsi un mouvement de la part d'acteurs de l'aménagement et de la promotion immobilière : « les plus musclés se sentent de sortir de l'aspect … de l'aspect obligatoire, sortir d'ERDF notamment » (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016). Il s'agirait pour ces derniers de construire des *micro-grids*, connectés ou non au réseau conventionnel, qui construiraient leur propre équilibre économique par la mutualisation locale des productions décentralisées sans être soumis à la péréquation nationale. Réglementairement, les expériences concrètes de ce type doivent pour l'instant rester limitées à des espaces privés (campus ou centres commerciaux, par exemple) en raison de la réglementation qui contraint tout flux d'électricité transitant par un espace public à passer par le réseau d'ERDF[192] : « c'est-à-dire que quand vous êtes dans un domaine privé, si vous êtes dans une enceinte privée, vous pouvez faire tout ce que vous voulez en termes de solidarité énergétique électrique. Si vous devez emprunter du réseau public, l'ensemble des règles du réseau public s'appliquent » (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016).

Parmi ces règles, celle que les acteurs qui souhaitent développer des modèles d'échanges décentralisés remettent particulièrement en cause est celle du paiement du Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Electricité (le TURPE), qui assure la grande majorité (90%) des revenus du distributeur national. Cette taxe, dont le montant est proposé par la Commission de Régulation de l'Electricité (CRE) et approuvé par le gouvernement, s'applique de manière égale à tous les utilisateurs du réseau, qu'ils soient producteurs ou consommateurs et quelle que soit la distance parcourue par les flux dont ils sont émetteurs ou receveurs : « dès que je mets un pied dehors, ERDF me taxe le TURPE à l'aller et le TURPE au retour. Je paye deux fois le TURPE donc mon énergie *[produite et consommée localement]* n'est plus rentable du tout » (Entretien avec le responsable innovation énergie et *smart grids*, Bouygues Immobilier, 20/01/2016). Les demandes des acteurs représentés par l'IFPEB autant que des différents collectifs de producteurs d'énergie décentralisés semblent avoir été très récemment entendues

[192] Nous l'avons évoquée au chapitre 6 au travers du discours de Bouygues Immobilier.

par le législateur comme le décrit l'Encadré 8.1 : le calcul du TURPE doit évoluer pour intégrer une notion d'autoconsommation, et notamment d'autoconsommation collective liée à la revente directe d'un surplus de production locale à un consommateur se trouvant à proximité. Toutefois, les traductions concrètes de cette évolution réglementaire ne peuvent encore être observées.

Encadré 8.1 – **Le TURPE, l'autoconsommation collective et la solidarité**

Comme toute circulation d'énergie, les échanges locaux d'électricité nécessitent un investissement dans des infrastructures de distribution. Toutefois, les acteurs promouvant des formes de circulations locales remettent en cause le modèle actuel de financement de ces dernières, au motif qu'il ne prend pas en compte la faiblesse de la distance parcourue par ces flux. En d'autres termes, alors que cette énergie ne serait transportée que dans un périmètre restreint, l'opérateur national ne la distingue pas de celle qui pourrait provenir de l'autre bout du pays et dont le transport s'appuierait sur des infrastructures bien plus importantes : « il est essentiel que ce moindre investissement réseau, lié aux EnR, soit répercuté dans l'équation économique » (Eric l'Helguen, PDG d'Embix, janvier 2015)[193]. Dans le cadre français, se cache derrière cette demande celle d'une transformation du TURPE.

Un premier signe d'une évolution réglementaire en ce sens apparaît en juin 2016, à travers un projet d'ordonnance mettant en application une partie de l'article 119 de la loi de transition énergétique pour une croissance verte[194] qui s'intéresse à l'autoconsommation, et notamment à l'« autoconsommation collective » de l'électricité. Dans ce projet, l'autoconsommation est définie comme collective « lorsqu'une vente d'électricité s'effectue entre un ou plusieurs consommateurs finals et un ou plusieurs producteurs » liés entre eux sous diverses formes de collectifs, « dont les points de soutirage et d'injection sont situés sur une même antenne basse tension[195] du réseau public de distribution »[196]. L'autoconsommation collective correspond donc à une mutualisation de productions énergétiques associée à des échanges financiers à une échelle qui peut dépasser le cadre des îlots privés.

Au-delà de cette définition, le projet d'ordonnance met à l'agenda deux modifications substantielles de l'organisation en vigueur du réseau de distribution français d'électricité. En premier lieu, il propose que la CRE établisse des tarifs d'utilisation des réseaux publics de distribution spécifiques à ces opérations (Art. L. 315-3). En second lieu, il propose de permettre la revente des surplus de production locale directement à un tiers, sans passer par

[193] L'actualité mensuelle de la Smart Building Alliance, n°2, consultée la dernière fois le 22/07/2016 http://www.smartbuildingsalliance.org/wp-content/uploads/2015/01/e-SBA2_janv15.pdf

[194] LOI n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, publiée au journal officiel de la République Française le 18 août 2015

[195] La CRE relève que la terminologie ne fait pas partie du vocabulaire des énergéticiens et n'est pas définie sur le plan juridique et qu'il faut lui préférer celle de « départ basse tension » (CRE, 2016).

[196] Projet d'ordonnance relative à l'autoconsommation d'électricité, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 4 juin 2016

les opérateurs conventionnels (Art. L. 315-5). Le projet avance en outre que les gestionnaires du réseau public doivent faciliter ces opérations, notamment pour ce qui concerne le comptage de l'électricité (Art. L. 315-6). Il s'agit donc d'un premier pas vers la création de marchés locaux de l'électricité, dont les modalités précises ne sont toutefois pas définies.

Les réactions face à ces propositions sont duales. D'un côté, les acteurs du secteur des énergies renouvelables saluent une première étape vers le développement d'un « marché de proximité du photovoltaïque »[197]. Ainsi, divers collectifs[198] expriment leur satisfaction face à un projet qui offre des réponses aux demandes de création d'un cadre réglementaire pour l'autoconsommation[199] et d'un « TURPE autoconsommation »[200]. De l'autre côté, dans un avis rendu quant au projet, la CRE porte un certain nombre de critiques au texte et tout particulièrement à la partie de ce dernier qui touche au TURPE. Ainsi, si la Commission « estime qu'il est pertinent que la tarification des réseaux dans le cadre d'une opération d'autoconsommation reflète cette utilisation particulière », elle « n'est toutefois pas favorable à la création de catégories tarifaires spécifiques qui pourraient à terme figer la structure des tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité » (CRE, 2016, p. 2). Elle demande, par conséquent, que la rédaction du projet d'article L. 315--3 du code de l'énergie se limite à préciser que « la Commission de régulation de l'énergie tient compte de l'autoconsommation individuelle ou collective dans l'établissement des tarifs d'utilisation des réseaux publics de distribution d'électricité » (CRE, 2016, p. 2). En d'autres termes, la CRE s'oppose à la construction d'un TURPE spécifique à l'autoconsommation collective, c'est-à-dire à une organisation locale d'une mutualisation de productions d'électricité. Ces précautions quant à un simple tarif peuvent paraître excessives. Toutefois, elles prennent en compte le rôle important de ce tarif dans l'organisation nationale de la distribution de l'électricité en France « le TURPE, c'est un outil politique extrêmement puissant sur l'organisation du territoire. […] Toutes les directives sur lesquelles s'est construite la France et la distribution d'énergie sont derrière un simple tarif » (Entretien avec le directeur de l'IFPEB, 07/03/2016).

L'ordonnance définitive est finalement publiée au journal officiel le 28 juillet 2016 et ne reprend pas l'ensemble des recommandations de la CRE. Plus précisément, le texte officiel confirme bien la création d'un TURPE spécifique ou « micro-TURPE »[201], limité toutefois aux installations de faible puissance (moins de 100 kW). Le législateur limite en cela la perte de revenus qui pourrait résulter de ce mouvement pour ERDF, tout en ouvrant une première brèche vers une réorganisation de la solidarité dans le financement des infrastructures électriques.

[197] SER-SOLER, 14 juin 2016, « Le gouvernement propose une ordonnance qui pourrait contribuer à accélérer le développement de l'usage de l'électricité solaire photovoltaïque en autoconsommation » [Communiqué de presse]

[198] Le Syndicat des Energies Renouvelables (SER), le groupement français des professionnels du solaire photovoltaïque (SOLER), le Syndicat des professionnels de l'énergie solaire (ENERPLAN) ou encore le Groupement des Particuliers Producteurs d'Electricité Photovoltaïques (GPPEP)

[199] « Une ordonnance favorisant l'autoconsommation en route vers le JO », GreenUnivers, 15/06/2016

[200] « Ordonnance autoconsommation : la CRE favorable, mais… », GreenUnivers, 21/07/2016

[201] « [Avis d'expert] Que dit l'ordonnance autoconsommation ? », GreenUnivers, 29/07/2016

C. L'opérateur virtuel ou l'auto-organisation : vers la disparition de l'opérateur fournisseur d'énergie ?

Cette forme de dérégulation du système de gestion centralisée du réseau peut de prime abord évoquer les ambitions de transformation du réseau de distribution en une plateforme de *trading* qui serait opérée par un opérateur organisant et optimisant les transactions, que nous avons observées dans le cas des réseaux de chaleur. On se trouverait donc face à une réorganisation similaire à celle des réseaux de télécommunications avec l'arrivée d'internet, fondée sur une rupture accrue entre la gestion de l'infrastructure matérielle et la fourniture de services (Penard et Rallet, 2014) : « la constitution de cette architecture ouverte et la standardisation qu'elle a impliquée ont favorisé une distanciation ou dé-intégration des infrastructures et des services. Ainsi, de nombreux services se sont développés au-dessus des infrastructures de réseau, les détenteurs de ces infrastructures ne faisant plus que donner un accès générique à des contenus et des applications qu'ils ne contrôlent plus ». Les services de mise en relation de flux énergétiques que proposent les *start-ups* évoquées ici peuvent ainsi simplement rappeler les services numériques proposés par certains géants du secteur tels que Google ou Facebook ou plus récemment par les acteurs de l' « économie du partage » (Demailly et Novel, 2013).

Cependant, pour le cas de l'électricité, des propositions sont faites qui visent à se passer totalement de l'existence d'un opérateur intermédiaire fournissant les services, au travers de la technologie appelée *blockchain* (ou chaîne de blocs en français) dont nous décrivons plus bas le principe. C'est en particulier le cas du *Transactive Grid* : comme l'explique la Figure 8.8, l'opération d'échange s'appuie sur l'installation de compteurs spécifiques dans les bâtiments connectés au *micro-grid* afin de mesurer les quantités d'électricité produites au sein du bâtiment et de verser des crédits énergétiques (appelés *tokens* dans le cadre du projet) à ceux qui produisent plus qu'ils ne consomment, de façon dynamique, en fonction de l'offre et de la demande. Les transactions sont alors sécurisées par des *"smart contracts"* qui reposent précisément sur la technologie *blockchain*.

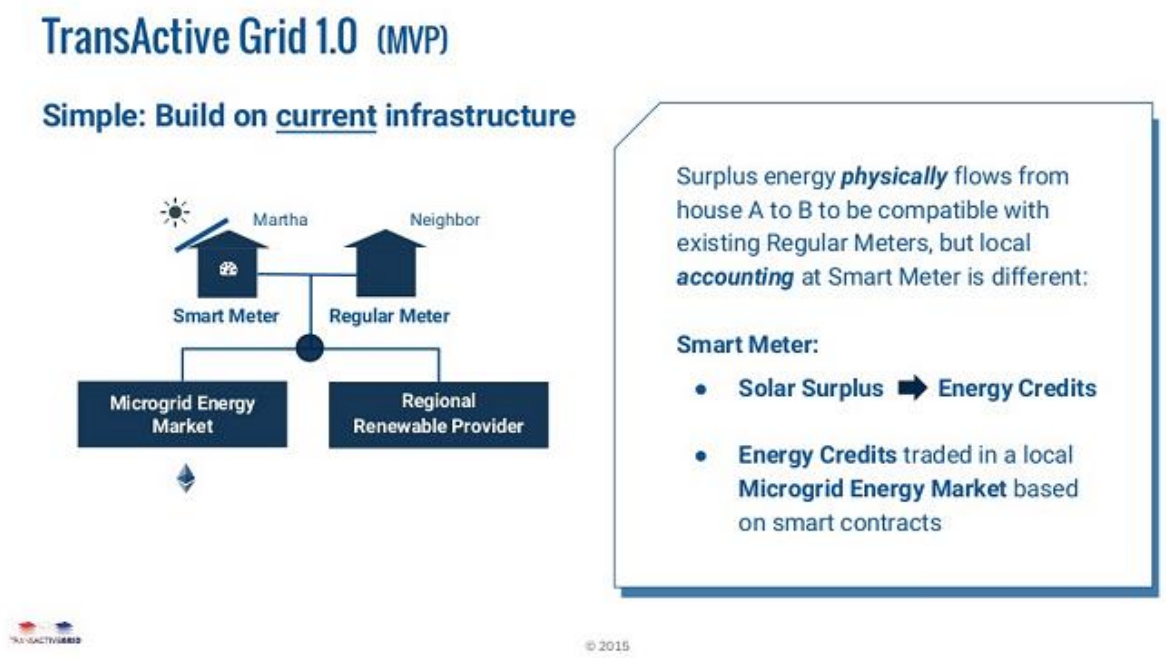


Figure 8.8 : Principe du *Microgrid Energy Market* du projet Transactive Grid – Source : Transactive Grid

Le projet français Daisee (*Decentralized Autonomous Interconnected Systems for Energy Efficiency*), s'appuie également sur l'essor de cette technologie qui est mis en avant pour justifier la disparition de l'opérateur central, que son rôle soit celui d'un distributeur ou d'un *trader*. Le projet Daisee place ainsi explicitement comme un problème à résoudre le « coût du tiers de confiance (spécifiquement celui qui assure la distribution d'énergie) »[202]. Les systèmes de *blockchain*, par ailleurs mis davantage en lumière pour leur rôle dans l'usage de la monnaie virtuelle *bitcoins* (Swan, 2015), sont alors présentés comme une réponse à ce problème.

Sans entrer dans les détails algorithmiques d'une telle technologie, nous pouvons la décrire en ces termes : son objectif est de garantir la confiance dans les transactions au sein d'un réseau qui ne possède pas d'entité centralisée de contrôle et dont les acteurs ne se connaissent pas. En d'autres termes, c'est l'algorithme en lui-même qui remplace l'opérateur, sans prélèvement financier sur la transaction. Le système fonctionne par la mise en mémoire de l'ensemble des transactions effectuées au sein du réseau, chaque « bloc » représentant précisément une transaction. Ainsi, lorsqu'une nouvelle transaction est proposée entre deux acteurs du réseau, l'algorithme vérifie que chacun est bien en possession de ce qu'il propose

[202] Traduction personnelle à partir de la page internet du projet, consultée la dernière fois le 21/07/2016. https://hackaday.io/project/10879-internets-of-energy-call-me-daisee

d'échanger[203] et les *smart contracts* sont générés automatiquement pour régler la transaction. En somme, on crée un opérateur virtuel constitué par un algorithme qui garantit la confiance dans les mécanismes de marché.

Toutefois, il apparaît une faille dans l'image de disparition de l'opérateur intermédiaire ainsi dessinée et déjà testée à New York avec *Transactive Grid* : le *blockchain* est une technologie de gestion de flux qui règle les interdépendances touchant à ces derniers, mais pas celles qui sont liées à la construction et à la maintenance de l'infrastructure, dont nous avons pourtant vu l'importance dans le chapitre précédent[204]. En effet, dans le processus historique d'émergence des réseaux, qu'ils soient d'énergie ou non, la question du financement des infrastructures est centrale : c'est elle qui justifie les monopoles encore actuellement en vigueur pour la construction et la gestion des infrastructures de transport et de distribution, suivant l'idée que ces activités sont fortement capitalistiques (Hughes, 1993 ; Lorrain, 2002a) et que l'introduction d'une concurrence dans ce cadre n'est pas efficace sur le plan économique (Curien, 2000). Or, dans le modèle conventionnel, les investissements dans l'infrastructure sont rentabilisés par des prélèvements sur les flux, régulés de manière centralisée. Sur ce point, les expériences basées sur le *blockchain* ne s'expriment pas : si elles avancent que le « tiers de confiance » doit disparaître parce qu'il représente un coût, il n'est pas expliqué comment la technologie pourrait se substituer au travail de maintenance et d'investissement dans l'infrastructure mené par un opérateur central.

De manière plus générale, les modèles d'échanges locaux, qu'ils reposent sur la technologie *blockchain* ou non, n'ont pas trouvé de réponse à la question de la rémunération de l'investissement, ce qui explique que la plupart de ceux que nous avons relevés dans cette partie s'appuient sur les infrastructures existantes et soient contraints de composer avec les opérateurs historiques en place. Par exemple, le projet Issy Grid, qui « cherche à optimiser la consommation et la production d'énergie en les mutualisant à l'échelle d'un quartier »[205] (Guillaume Parisot, chef du service innovation de Bouygues Immobilier, dans un entretien

[203] Il faut toutefois noter que le fonctionnement de ces systèmes est critiqué en raison des dépenses énergétiques importantes qu'il engendre (O'Dwyer et Malone, 2013 ; Swan, 2015, p. 54) : le principe de l'algorithme repose en effet sur la copie des chaînes de blocs sur de nombreux serveurs et sur la vérification en parallèle sur chacun de ces serveurs de la concordance entre la transaction proposée et les chaînes de bloc enregistrées. Le nombre d'opérations ainsi réalisées est donc très important (il l'est d'autant plus que la chaîne de bloc est grande), si bien que les consommations des serveurs le sont également. Il peut ainsi paraître contradictoire de mettre en œuvre une telle technologie pour faciliter le développement de systèmes associés à une idée de sobriété énergétique puisque devant permettre le développement d'énergies renouvelables décentralisées.

[204] Et qui est rappelé dans les propos tenus par les acteurs des réseaux de chaleur dans la partie précédente de ce chapitre.

[205] Dans le cadre d'IssyGrid, c'est d'électricité qu'il est question.

donné à La Tribune publié le 08/10/2014[206]), porté par un consortium d'acteurs de l'immobilier et de l'énergie, fait précisément émerger la question de l'opérateur investisseur : « quant au *business model*, il est de fait complexe. La mise en place d'IssyGrid devrait permettre aux ménages et aux entreprises de faire des économies, mais il faut que l'on trouve les mécanismes permettant à l'investisseur de départ d'être également rétribué, sans quoi aucun projet de la sorte ne sera globalement rentable pour les partenaires du projet » (*Ibid.*). On retrouve ainsi une question posée dans le cadre du projet de transformation en plateforme d'échange du réseau de Paris-Saclay : « il reste à trouver son économie. Qui paye le réseau qui apporte un service à tout le monde ? » (Entretien avec le Directeur Général Adjoint à la Stratégie, à la Performance et aux Nouveaux Services de l'EPPS, 23/07/2015).

De la même manière, au-delà de l'instabilité réglementaire, c'est précisément en raison du caractère capitalistique des réseaux d'énergie et, dans ce cas, des systèmes de production, que le modèle de l'entreprise Yeloha, peu dotée en fonds, n'a pas fonctionné : *"while our peer-to-peer model was accepted by hosts and subscribers alike with real excitement, installing hosted solar systems at scale depended on third-party project finance by banks or specialized funds. […] We thought that the high returns would be attractive enough for project financiers to engage with a startup, and that dividing large installations between multiple subscribers should diversify and reduce credit risk in a clever way. But we couldn't convince traditional project financiers to test our thesis"*[207].

Ce qui « pose problème » ici, c'est en fait la dépendance à des mécanismes de marché : la capacité de l'investisseur à rentabiliser son investissement est liée au prix de l'énergie, difficilement prédictible à long terme en comparaison du modèle conventionnel dans lequel il est fixé de manière centralisée par l'opérateur fournisseur. Notons toutefois que ce fonctionnement par le marché n'est *a priori* pas le seul qui puisse permettre les échanges *peer-to-peer* de proximité sans opérateur. Ainsi, le scénario « acteurs coopératifs » proposé par Gilles Debizet *et al.* dans le cadre du projet Nexus déjà évoqué dans la première partie de cette thèse (Debizet, 2016) fait précisément l'hypothèse d'une alternative qui se base sur l'auto-organisation collective locale. Dans ce scénario, les acteurs conventionnels de la production et de la distribution d'énergie (Etat, collectivités, grandes entreprises) tendent à s'effacer au profit de collectifs de citoyens regroupés au sein d'un bâtiment, d'un îlot ou d'un quartier qui fixent ensemble les règles d'un approvisionnement énergétique basé sur la

[206] « IssyGrid, le défi, les risques et les inconnues », La Tribune, 08/10/2014
[207] "*Lessons from a solar startup's failure"*, USA TODAY, 17/05/2016

mutualisation et l'échange. Le scénario construit est jugé être « en rupture avec l'économie de marché qui viendrait régenter l'ensemble des relations interpersonnelles » (Buclet *et al.*, 2016, p. 59) : « l'émergence d'un modèle coopératif suppose que le pouvoir politique privilégie un libéralisme très différent de celui que nous connaissons aujourd'hui. C'est un libéralisme favorable aux individus qui se prennent en main, soit individuellement, soit collectivement. Ce n'est en revanche pas un libéralisme qui subit l'influence des grandes entreprises, dont nous savons par expérience qu'il aboutit, sous prétexte de favoriser l'accroissement du bien-être collectif, au renforcement d'une société gérée par le marché et étendant à l'ensemble de la société la primauté de la propriété privée, de l'appropriation culturelle et *in fine*, de la privatisation de l'ensemble des moyens nécessaires à l'existence humaine » (Buclet *et al.*, 2016, p. 62).

Cette distinction se traduit en particulier par le choix d'un tarif fixe de l'énergie au sein du collectif, construit pour rentabiliser les investissements, qui s'oppose à son évolution temporelle en fonction de l'offre et de la demande. Pour autant, notre veille ne nous a pas permis de mettre au jour l'existence de traductions concrètes de ce scénario prospectif. Comme précisé en début de cette partie, s'il existe des coopératives d'habitants investissant dans des systèmes de production mutualisés, c'est au travers des tarifs d'injection dans le réseau national qu'ils se rémunèrent, et donc au travers d'une dépendance à un opérateur central (Dobigny, 2012 ; Cointe, 2014)[208].

En définitive, les modèles de *peer-to-peer* dont on observe aujourd'hui la formation ne s'opposent au modèle conventionnel que sur le plan de l'organisation des circulations de flux : l'activité d'investissement dans les infrastructures lourdes et de gestion de ces dernières reste attachée à une décision centrale. Cependant, contrairement au modèle du réseau de chaleur ouvert, ils constituent bien une évolution forte dans la répartition des responsabilités pour la gestion des circulations de flux produits autant que consommés qui, de centralisée et agrégée, devient distribuée et spatialisée, au travers d'un mécanisme de marché ou non.

Néanmoins, une autre forme d'opérateur fait alors son émergence dans l'organisation du système énergétique, dont le rôle et la responsabilité ne sont pas clairement définis :

[208] Par exemple, Laure Dobigny, qui a mené une enquête anthropologique dans 6 communes rurales « autonomes » sur le plan énergétique au travers d'une production locale d'ENR observe que « dans toutes ces communes, l'électricité produite est réinjectée directement ou indirectement (surplus) dans le réseau, que celui-ci soit géré par une régie communale ou une grande firme énergétique » (Dobigny, 2012, p. 140). Ainsi, l'autonomie est entendue dans le sens d'une production annuelle supérieure ou égale à la consommation annuelle.

l'opérateur du réseau numérique, c'est-à-dire le fournisseur d'accès internet qui organise la circulation des informations liées à l'échange d'énergie, qui reste centralisé. On retrouve ici un débat plus large sur la *smart city*, mais qui se place sur le registre de l'organisation industrielle et ne remet donc pas nécessairement en question l'existence des intermédiaires que sont les opérateurs (Attour et Rallet, 2014) : « l'émergence des *smart city* est emblématique des nouvelles formes d'organisation industrielle qui viennent rompre avec les approches purement sectorielles de l'économie productive et inscrivent les processus d'innovation dans des dynamiques organisationnelles complexes caractérisées par des dynamiques interactionnelles multisectorielles ». En d'autres termes, si le *peer-to-peer* local de l'énergie peut faire disparaître le rôle du fournisseur d'énergie, on ne sait pas quelle responsabilité est donnée au fournisseur d'accès à la plateforme de télécommunication qui se trouve pourtant au cœur de l'organisation de l'échange. Aussi, les tenants et aboutissants de la « fusion de l'énergie et du numérique » que conjecture la SPL Lyon Confluence (voir chapeau du chapitre 6) et qu'évoque la notion d' « internet de l'énergie » qui semble accompagner les mutualisations locales, ne sont que très vaguement définis.

D'autres acteurs proposent toutefois une forme alternative de fusion entre ces secteurs, définie de prime abord de façon métabolique, mais qui fait également émerger la question du partage des responsabilités dans l'organisation des services urbains. Elle fait l'objet de la partie suivante de ce chapitre.

III. Le modèle du « chauffage numérique » : repenser l'organisation des activités pour optimiser l'usage des flux

Parallèlement à la promotion de la récupération de la chaleur fatale produite par les *data centers*, se développe un modèle alternatif fondé sur la répartition des serveurs sur le territoire urbain qui semble *a priori* rompre fondamentalement avec l'idée d'un service en réseau. Nous en présentons la substance dans une première section (A). Puis, dans une seconde, nous montrons que ces propositions s'accompagnent de l'émergence d'une nouvelle forme d'opérateur qui fonde son modèle économique sur l'exploitation de synergies métaboliques autant qu'économiques (B).

A. Décentraliser les infrastructures numériques pour en récupérer la chaleur

Au cours des six dernières années, des initiatives commerciales autant que publiques apparaissent pour promouvoir l'adaptation des centres de données en eux-mêmes pour le chauffage d'activités urbaines. Du côté commercial, en France[209], trois *start-ups* fondées entre 2010 et 2014 qui reçoivent une attention médiatique importante proposent des « radiateurs numériques » (voir Tableau 8.1) : les serveurs habituellement regroupés au sein des *data centers* sont installés au sein-même d'habitations ou bien dans les locaux techniques de bâtiments collectifs, notamment de logement social. La chaleur qu'ils dégagent sert alors directement à réchauffer de l'eau qui circule dans le bâtiment et ils font en cela office de chauffage. Ainsi, on ne récupère plus la chaleur issue du refroidissement des serveurs, mais celle qu'ils génèrent directement. Notons que, par défaut, ce fonctionnement ne convient pas à l'ensemble des utilisateurs de serveurs délocalisés, notamment ceux pour lesquels la restriction de l'accès aux données est primordiale et passe par la fermeture des lieux (*cf.* les cas des banques abordés au chapitre 5).

Comme le montre le Tableau 8.1, les cibles affichées et modèles économiques de ces entreprises sont différents. Si l'idée est dans tous les cas de profiter de coûts réduits à la fois pour la production de chaleur et la réalisation de calculs sur les serveurs (comme illustré par l'usage du terme « synergie » Figure 8.9), la répartition de cette diminution des coûts n'est pas la même de l'une à l'autre (notons que nous n'avons pu mettre au jour le modèle économique de la plus jeune de ces entreprises). De même, alors que Qarnot Computing propose des radiateurs individuels, Stimergy se focalise sur les chaufferies centrales de bâtiments collectifs mais l'équilibre économique à trouver pour ces entreprises est toujours le même : « l'intérêt d'installer des *data centers* dans les bâtiments, c'est celui du double revenu. Le revenu d'une part de la chaleur à un prix inférieur à celui des énergies fossiles, parce qu'on a un second revenu qui vient lui compenser cette chaleur … elle vient de l'utilisation du service numérique par autrui. Et donc il faut mettre en place des installations qui sont en termes de taille suffisamment grosses pour pouvoir faire en sorte qu'économiquement, eh

[209] Il existe également une *start-up* hollandaise Nerdalize, qui propose le même type de solutions. Voir le site internet, consulté la dernière fois le 26/07/2016
http://www.nerdalize.com/
Microsoft semble s'être également intéressé au sujet, sans qu'il n'en ressorte pour autant une stratégie construite (Liu *et al.*, 2011).

bien, ça tourne » (Le fondateur de Stimergy, s'exprimant à la clôture Assises de l'Economie Circulaire de la Ville de Paris, 14/09/2015).

Tableau 8.1 : Trois start-ups françaises de "chauffage numérique" et leurs solutions

	Qarnot Computing[210]	**Stimergy**[211]	**defab**[212]
Date de création	2010	2013	2014
Nom de la solution et cible	Q.rad Logement	Chaleur freeheat Bâtiments collectifs (voir Figure 8.9)	Chauffe-eau numérique Collectivités locales
Modèle économique	Offre payante de calcul – Chauffage gratuit pour les particuliers après l'achat du radiateur	Offres de serveur et de calcul payantes	?

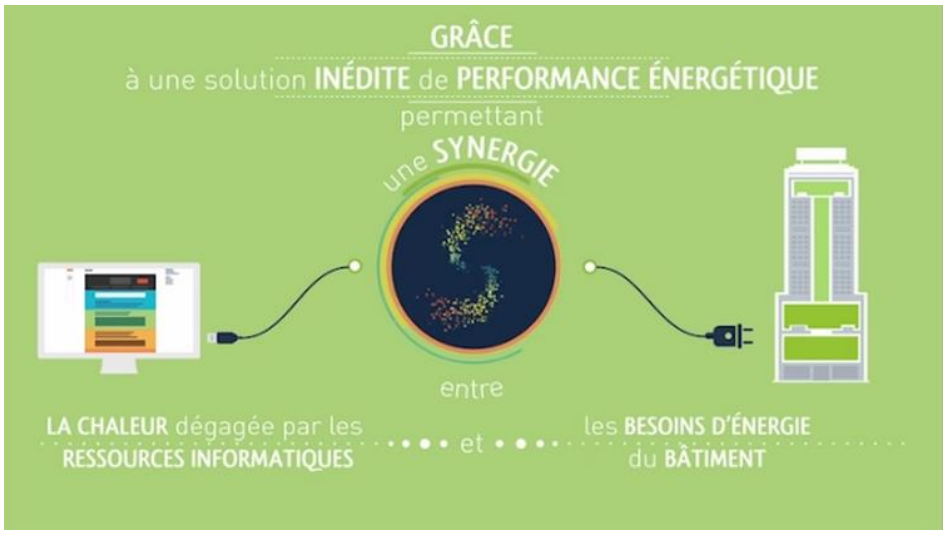


Figure 8.9 : Principe de fonctionnement de la solution Stimergy – Source : Stimergy

Parallèlement à ces offres commerciales, dans une perspective plus explicitement urbaine et non spécifiquement centrée sur le développement d'une solution technologique, deux architectes lancent en 2014 le projet « Villes Concrètes » dont l'objectif est de penser l'intégration des technologies numériques dans la ville, notamment au travers de la récupération de chaleur. Le collectif rencontre en 2014 la Mission Ville Intelligente et

[210] Voir le site internet de l'entreprise, consulté la dernière fois le 07/10/2016 http://www.qarnot-computing.com/fr/
[211] Voir le site internet de l'entreprise, consulté la dernière fois le 07/10/2016 http://www.stimergy.net/
[212] « Defab, cette start-up qui fournit l'eau chaude grâce au cloud », Challenges, 04/11/2015

Durable de la Ville de Paris qui s'intéresse au projet en ce qu'il fait directement échos à l'un des éléments développés dans la campagne d'Anne Hidalgo au travers du concept d' « immeuble pluriel » présenté Figure 8.10 (Hidalgo, 2013) : « j'ai une ambition très forte pour l'utilisation des ordinateurs comme source de chaleur : c'est aussi ça, les réseaux intelligents. Nous exploiterons au mieux les nouvelles technologies qui ont déjà fait leurs preuves à Paris pour que dans six ans, de nombreux logements et équipements publics soient chauffés grâce à la chaleur des ordinateurs. Les investissements réalisés seront rentabilisés grâce aux économies sur les factures d'électricité, tout en permettant de réduire considérablement les dégagements de CO_2 » (Extrait du programme d'Anne Hidalgo pour les élections municipales de la Ville de Paris de 2014).

Le principe qui le sous-tend, lié dans le discours au concept de ville intelligente, est celui du développement de bâtiments fortement mixtes, associant verticalement l'ensemble des activités urbaines. Dans cette vision, les serveurs informatiques, dont la présence est ici indiquée par l'expression *data farm*, sont placés en sous-sol et participent au chauffage de l'ensemble[213]. Les similarités entre cette vision et celle proposée par les Villes Concrètes sont donc fortes.

Le projet des Villes Concrètes peine toutefois à trouver son modèle économique et le groupe se scinde en 2015. L'une des fondatrices se tourne vers une pratique architecturale au travers du projet Open-Immeuble[214], qui vise toujours à intégrer le numérique dans la ville, toutefois pas uniquement pour des questions de chaleur : « l'idée c'était d'avoir un *data center* en dessous, du logement, des bureaux et des programmes mixtes en haut et que l'investisseur investisse dans les deux. Parce que le *data center* est très rentable, les logements ont une rentabilité moyenne, voire basse, mais hyper stable. Ce n'est pas très rentable finalement le logement à côté de l'industrie ou des *data centers*. […] quand on fait une moyenne sur les logements et le *data center*, on est sur quelque chose de l'ordre de 25% de retour sur investissement, alors qu'une opération classique on est entre 5 et 7. Donc ça donne du budget pour faire des choses bien » (Entretien avec l'une des deux co-fondatrices de Villes Concrètes, architecte, agence Platane&Ilic). La seconde fondatrice poursuit son travail dans la direction empruntée par les Villes Concrètes tout en s'associant avec Stimergy pour assurer le développement de l'entreprise dans la région de Nantes. C'est finalement au travers du

[213] Il faut noter que le développement de la récupération de chaleur, pas nécessairement depuis les *data centers*, se retrouve à plusieurs reprises dans le programme d'Anne Hidalgo.
[214] Voir le site internet du projet, consulté la dernière fois le 07/10/2016
http://www.open-immeuble.com/

rapprochement avec la *start-up* que les ambitions du collectif et celles de la ville de Paris se rejoignent, au travers d'un projet de chauffage numérique de la piscine de la Butte aux Cailles dans le 13ème arrondissement mené par Stimergy[215].

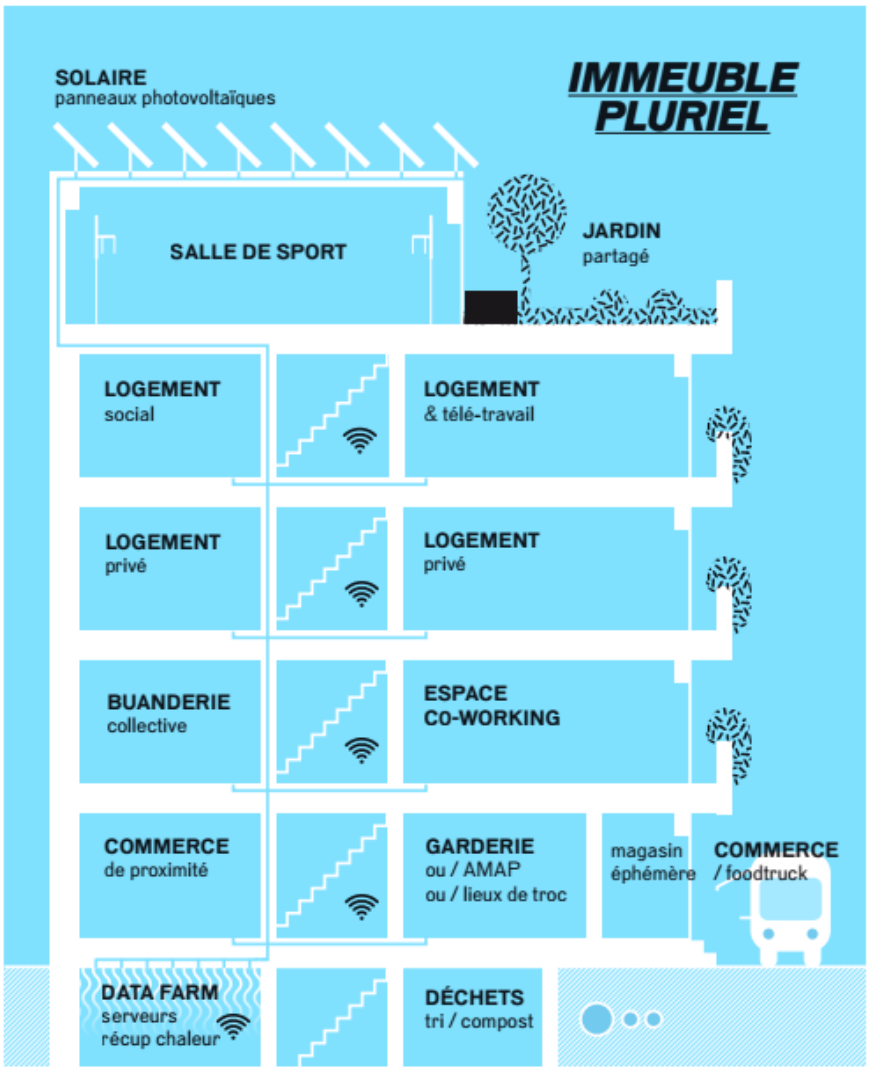


Figure 8.10 : Principe de l'« Immeuble Pluriel » dans la campagne d'Anne Hidalgo pour la mairie de Paris en 2013

B. Une décentralisation métabolique forte pour une gestion centralisée inter-flux : vers l'émergence de nouveaux opérateurs multi-flux ?

L'ensemble de ces offres, expériences et opérations dessinent donc un modèle de coévolution de la fourniture d'énergie à l'urbain et de l'organisation des activités dans l'espace. D'un côté, il s'agit d'organiser les activités humaines (ici numériques) de manière à favoriser la

[215] « Paris : quand les data centers chaufferont la ville… », 20minutes, 04/03/2016

circulation de flux d'énergie produits localement. De l'autre, ces activités en elles-mêmes, et donc les flux d'énergie qui les sous-tendent, sont adaptés pour convenir à une telle circulation.

Pour autant, un tel processus ne va pas dans le sens du développement d'infrastructures d'échange énergétique *ad hoc* : au contraire, c'est un rapprochement maximal entre ces activités que ces différentes initiatives suggèrent, si bien que la question du réseau permettant la distribution de l'énergie n'est pas abordée, l'infrastructure qui compte étant celle du réseau numérique[216]. On observe ainsi dans ce cadre un mouvement différent : celui du regroupement d'activités au sein d'ensembles fortement mixtes qui sont conçus comme des « micro-villes » (Entretien avec le responsable du développement du projet Ville Durable, EDF, 09/03/2015) à différentes échelles. La représentation de l'immeuble pluriel (Figure 8.10) en est une image très parlante.

Cette forme d'intégration se rapproche fortement de ce que Dominique Lorrain et d'autres appellent « paquebot urbain » (Lorrain, 2002b ; Sander, 2002) que l'on peut définir « comme des objets hypertechniques, intégrés et multifonctionnels » (Lorrain, 2011b). Les analyses qui sont faites de ces objets tendent à placer à leur origine les dynamiques de financiarisation de la production urbaine[217], qui mène à une conception de la ville comme d'un produit financier auquel sont liés des revenus et des risques, qui rappelle le modèle de l'Open Immeuble : « le mélange d'activités permet de combiner des activités à cycles différents, si la location de bureaux fléchit, le centre commercial, les parkings ou l'hôtel de luxe stabilisent les flux de loyers. De plus, ces grands équipements fonctionnent en permanence, attirent les foules et sont ainsi le gage de recettes régulières » (Lorrain, 2011b). S'ils ne sont en rien suffisants pour apporter des conclusions définitives, les éléments empiriques mis au jour dans cette section permettent d'émettre l'hypothèse que de nouvelles logiques viendraient renforcer ces premières, basées cette fois-ci sur la circulation des flux d'énergie. En d'autres termes, à l'intérêt financier lié à la diversification des revenus par le regroupement d'activités, s'ajouterait un intérêt économique et environnemental lié aux synergies énergétiques. La pérennité d'un tel mouvement et de son modèle d'affaire ainsi que sa potentielle diffusion à

[216] Par exemple, si l'idée des chauffages numériques n'a pas été poussée plus loin chez Microsoft, c'est précisément en raison de la différence fondamentale qu'il existe, du point de vue des capacités de calcul, entre des serveurs décentralisés et des serveurs groupés au sein d'un *data center*.
"*Heating houses with 'nerd power'*", BBC News Magazine, 21/05/2015

[217] Entendue comme un « rôle croissant des marchés financiers dans le fonctionnement économique, politique et social des territoires » (Halbert et Goix, 2012), à partir d'une traduction de (French, Leyshon et Wainwright, 2011)

d'autres formes d'échanges d'énergie entre activités urbaines[218] n'est toutefois bien entendu pas donnée et devrait faire l'objet d'une observation future.

Pour autant, les différentes expériences commerciales regroupées dans la section précédente font apparaître la potentialité d'une transformation formelle dans l'organisation de la fourniture des services urbains. On peut en effet assimiler les entreprises telles que Qarnot Computing ou Stimergy à des opérateurs multiflux puisqu'elles proposent une fourniture de services à la fois numériques et énergétiques. Une telle forme d'organisation n'est *a priori* pas inédite pour les systèmes en réseau : par exemple, les *stadtwerk* allemands municipaux autant que des entreprises privées suivent ce modèle en fournissant à la fois de l'énergie, de l'eau, de l'assainissement, des télécommunications, de transport ou tout autre type de services (Florentin, 2015 ; Florentin, Gabillet et Gomez, 2015 ; Pflieger, 2010).

Cependant, ces formes d'organisation sont avant tout le résultat de stratégies d'entreprise ou le fruit d'histoires territoriales. En outre, d'autres travaux ont montré qu'elles ne mènent pas nécessairement à de plus grandes synergies matérielles (ou symbioses) entre les flux concernés par les différents services, notamment parce que les différentes activités peuvent rester tout à fait cloisonnées au sein de l'organisation (Pollard, 2017). Ainsi, dans le cas du chauffage numérique, la différence se trouve dans le conditionnement de l'existence-même de l'opérateur au lien physique intrinsèque qui est créé entre les flux. En d'autres termes, la synergie économique qui peut exister dans l'ensemble des processus de diversification est ici liée à une synergie métabolique : il ne s'agit pas tant du passage d'une logique sectorielle à une logique transversale dans des organisations existantes (Lorrain, Halpern et Chevauché, 2017b) que de la création d'une nouvelle activité et d'une organisation *ad hoc*. Les activités ne sont pas regroupées au sein d'une organisation commune pour construire des synergies de fonctionnement en son sein mais parce qu'une nouvelle activité économique peut émerger d'une synergie matérielle entre les deux secteurs.

Aussi, alors que le cas du chauffage numérique semble acquérir un *"internal momentum"* (Geels et Schot, 2007) suffisamment fort pour poursuivre sa diffusion, il paraît légitime de se demander si son modèle pourrait être appliqué à d'autres formes de synergies. Si nous reprenons le modèle d'Anne-Lorène Vernay, il s'agit ainsi de se demander si d'autres

[218] On peut penser à la décentralisation des unités de méthanisation des déchets organiques telle que promue par exemple par le projet OpenMicroMetha qui a pour objectif de « valoriser les déchets organiques ménagers en biogaz à l'échelle du foyer, de l'immeuble ou du quartier d'habitation ». Voir la page du projet, consultée la dernière fois le 02/08/2016
http://www.transitions2.net/catalogue/view/1005/openmicrometha

« unions » (Vernay, 2013) peuvent émerger dans l'organisation de la fourniture énergétique ou d'autres services urbains. Rappelons que le principe de l'union est celui que l'on retrouve dans la cogénération de la chaleur et de l'électricité assurée au travers d'un unique système technique et par un unique opérateur[219] : de la gestion d'un service urbain on passe à celle de plusieurs services en ne faisant qu'un des systèmes techniques et en attribuant la responsabilité à un acteur unique. Une évolution vers davantage de formes d'unions fondées sur l'existence de synergies énergétiques viendrait alors renforcer la conclusion amenée dans le chapitre précédent quant à l'importance renouvelée de la matérialité des flux dans l'organisation des services urbains : elle serait telle que des activités et modèles économiques nouveaux pourraient en émerger.

Conclusion

Tableau 8.2 : Les différents modèles et les évolutions organisationnelles qu'ils entraînent

	Réseau de chaleur ouvert	***Peer-to-peer* de l'électricité**	**Chauffage numérique**
Type(s) de synergie mises en œuvre	Récupération et mutualisation	Mutualisation	Récupération
Evolution par rapport au modèle conventionnel d'organisation	Nouveau modèle économique pour l'opérateur fournisseur : de la distribution au *trading*	Disparition de l'opérateur fournisseur d'énergie mais nouveau rôle des opérateurs du numérique	Création d'une activité d'opérateur dédiée à l'exploitation d'une synergie

À travers la mise en perspective de nos études de cas, nous avons montré au chapitre précédent que les processus de mise en réseau de la ville sont changés par la mise en œuvre de synergies énergétiques. Pour autant, nous avons constaté que, dans ces mêmes études de cas, ces changements de logiques, de modes d'interaction ou de principes suivis par les acteurs ne s'accompagnent pas d'évolutions dans l'organisation de la chaîne conventionnelle de fourniture d'énergie. De là, nous tournant dans ce chapitre vers de nouveaux éléments empiriques, nous avons montré que des transformations de l'organisation de cette chaîne sont

[219] L'union est d'ailleurs encore plus importante lorsque la cogénération est associée à la combustion des déchets. Dans ce cas elle se déplace également au niveau institutionnel avec l'existence de l'association Amorce qui représente dans les instances décisionnelles les acteurs locaux de l'énergie et des déchets.

proposées et mises en œuvre par une diversité d'acteurs, précisément pour accompagner le développement de récupérations et de mutualisations locales d'énergie. Nous les récapitulons dans le Tableau 8.2 ci-dessus.

Ainsi, en premier lieu, l'ouverture croissante des réseaux à des récupérations et des échanges de flux multidirectionnels fait émerger de nouveaux modèles économiques qui peuvent s'ajouter autant que se substituer à la fourniture d'énergie. À la rémunération sur la vente d'une quantité d'énergie, s'ajoute une activité de transaction de laquelle les opérateurs peuvent tirer un revenu, selon un modèle classique d'intermédiation de marché. Nous en avons en particulier observé les prémices pour le cas de la distribution de chaleur. Toutefois, dans le cas de l'électricité, d'autres propositions visent tout autant à créer divers marchés locaux d'échanges d'énergie mais en supprimant totalement l'opérateur intermédiaire entre producteurs et consommateurs. Ainsi, grâce à des algorithmes construits pour assurer la confiance dans les transactions, l'objectif est de passer d'un réseau centralisé dans l'organisation de la production et de la fourniture à un marché éclaté dont l'équilibre est le résultat de décisions prises par de multiples producteurs et consommateurs. En somme, bien que l'on associe fréquemment les réseaux de chaleur à des infrastructures fondamentalement locales dans leur organisation et leur gestion (Gabillet, 2015a ; Rocher, 2013), nous constatons ici que les propositions de décentralisation de la gestion du réseau pour favoriser les échanges de proximité sont plus importantes dans le cas de l'électricité.

Cette évolution plus profonde est une traduction concrète de ce que d'aucuns appellent l'internet de l'énergie, c'est-à-dire à la fois une reproduction du modèle de fonctionnement de « pair-à-pair » de ce réseau et un asservissement de l'organisation de la fourniture d'énergie – et plus particulièrement d'électricité – à l'infrastructure et aux services numériques. Parallèlement, un autre rapprochement entre ces deux services porte précisément sur une synergie énergétique et propose une union entre la fourniture de chaleur et de capacités de calcul numérique. On observe ainsi une nouvelle forme de transformation de l'organisation de la chaîne de fourniture d'énergie qui vient s'entrecroiser matériellement avec celle du numérique.

L'ensemble de ces constats permet de faire émerger d'intéressantes perspectives de recherche : il s'agit en effet de se demander en quelle mesure ces transformations peuvent se diffuser, perdurer et perturber fortement ou non le modèle d'organisation conventionnel, selon un questionnement qui se rapproche des travaux sur les transitions bas-carbone (Bulkeley,

Castán Broto et Maassen, 2014 ; Geels, 2012 ; Nciri, 2015). Pour autant, avant même de nous interroger sur leur évolutions, nous remarquons que les transformations proposées, pour radicales qu'elles soient, ont pour point commun de ne se positionner que sur les extrémités de la chaîne de fourniture d'énergie. En aucun cas le financement, la construction et la gestion des infrastructures de transport et de distribution ne sont mis dans la balance. En outre, les relations de ces nouvelles formes de fourniture avec les opérateurs historiques en charge de ces tâches ne sont pas discutées, si ce n'est pour mettre en cause leur mode de rémunération. En d'autres termes, quand bien même ces évolutions pourraient transformer fortement le travail d'équilibrage de la gestion matérielle d'une infrastructure en réseau, qu'il soit d'énergie ou numérique, les propositions faites ne suggèrent pas clairement une évolution conjointe de ces aspects. Ainsi, s'il existe bien une réflexion sur la matérialité des productions et consommations, celle des câbles et tuyaux qui les relient n'est pas abordée, alors même que nos études de cas nous ont montré tous les enjeux associés à leur dimensionnement et à leur organisation spatiale.

Partant de ces constats, nous pouvons confronter l'analyse menée ici aux résultats obtenus dans le chapitre précédent. Tout d'abord, conformément à notre première hypothèse, nous observons de nouveau que des logiques qui dépassent l'efficacité technico-économique sont convoquées par les acteurs qui défendent ces solutions : au-delà des questions environnementales, nous avons vu émerger ici des argumentaires portant sur la proximité et la démocratisation de l'énergie, qui se confondent avec ceux que l'on retrouve plus largement associés à l'économie ou à la consommation collaborative (Botsman et Rogers, 2011). Il s'agit en tous les cas de permettre une optimisation des circulations de flux et des échanges financiers associés, fondée sur les proximités au sein du territoire, tout comme nous l'avons observé dans nos études de cas.

Ensuite, l'analyse non processuelle menée ici ne nous permet pas de nous prononcer sur les effets de solidarisation des interdépendances qui font l'objet de notre seconde hypothèse. Cependant, nous pouvons observer que de nouvelles manières de les gérer sont proposées. D'un côté, des mécanismes de marché réglés ou non par un opérateur intermédiaire sont progressivement construits pour mettre en relation une multiplicité de productions et de consommations locales. Ils viennent ainsi se substituer aux organisations plus rigides réglées en partie par des contrats ou des structures juridiques que nous avons observées dans nos études de cas, mais ont peu à voir avec des mécanismes de solidarité. D'un autre côté, les interdépendances entre secteurs (ici, la fourniture d'énergie et les services numériques) sont

réglées par une reconfiguration matérielle et spatiale de leurs systèmes de production respectifs, ce qui s'apparente à une forme d'intégration importante, autant matérielle et financière que fonctionnelle. Pour autant, l'intégration proposée est sectorielle et non territoriale, au sens où la réorganisation proposée n'est pas liée à une configuration territoriale spécifique. Aussi, nous n'avons pu observer de proposition de formes de solidarisation du territoire, conformément aux observations de nos études de cas.

Enfin, si nous reprenons la dichotomie construite au chapitre précédent, nous avons vu que ces différentes propositions visent principalement à régler les interdépendances de flux, laissant en général de côté la question des interdépendances d'infrastructure, et plus particulièrement du financement et de l'exploitation des systèmes techniques d'interconnexion. Dès lors, ces différents résultats nous permettent tout particulièrement de renforcer les conclusions tirées de la mise à l'épreuve de notre troisième hypothèse. En effet, nous observons de nouveau la primauté des flux sur les infrastructures dans ces transformations : ici, la circulation des flux d'énergie est à l'origine de nouvelles activités économiques alors que le modèle de construction et de financement des infrastructures de distribution n'est pas interrogé. En outre, la matérialité de la ville est de nouveau pensée dans une dimension métabolique comme en atteste la promotion de la mixité fonctionnelle, jusqu'à l'organisation fine des activités à l'échelle d'un immeuble, associée à une possibilité d'optimiser les circulations de flux d'énergie.

En somme, la logique d'optimisation du métabolisme énergétique urbain par la mise en œuvre de synergies ne semble pas s'arrêter à nos seules études de cas : elle s'intègre désormais à des stratégies publiques comme privées de transformations plus ou moins profondes des systèmes énergétiques urbains, et même plus largement des services urbains en réseau. Des observations futures devraient permettre de comprendre si ces stratégies peuvent résister ou non à une confrontation à l'organisation institutionnelle et économique, à la matérialité et à la spatialité des infrastructures aux dynamiques de temps long héritées du passé.

Conclusion générale

> « Dans un moteur actuel, chaque pièce importante est tellement rattachée aux autres par des échanges réciproques d'énergie qu'elle ne peut être autre qu'elle n'est. »
>
> *Simondon, 1989, « Du mode d'existence des objets techniques », p. 23*

La caractérisation des moteurs par les « échanges réciproques d'énergie » qui rattachent les pièces qui les composent les unes aux autres ne peut manquer d'évoquer la matérialité des circulations d'énergie que nous avons étudiées dans cette thèse et que nous avons appelées synergies. La métaphore pourrait être percutante et correspondrait à l'image qui se dégage des tentatives de planification de tels échanges dont nous avons observé l'émergence, ou encore aux conceptualisations de la ville que proposent certaines recherches (Marique, 2013 ; Maïzia, 2008 ; Salat et Bourdic, 2011 ; Schmidt, 2009 ; van den Dobbelsteen, Broersma et Stremke, 2011).

Néanmoins, une conclusion de premier ordre de ce travail est précisément l'invalidité de cette métaphore : les assemblages qui composent la ville résistent à se transformer pour être mis en lien par ces circulations d'énergie, malgré leur relative simplicité technique. Certaines déclarations des acteurs interrogés font d'ailleurs directement écho à ce constat : « techniquement, on sait faire », « techniquement, ça n'a rien d'impressionnant », « techniquement, il n'y a pas de sujet ». Cela n'entraîne certainement pas que la technique, et plus largement la matérialité, soient sans importance pour comprendre les transformations que nous nous sommes proposée de saisir. Bien au contraire, nous avons posé comme postulat de départ la nécessité de prendre en compte la nature physique des flux d'énergie et des systèmes techniques, de la ville et de son organisation spatiale, tout autant que les acteurs impliqués dans leur construction, et leurs relations.

Suivant cette lecture composite, nous avons considéré les circulations d'énergie entre activités urbaines comme des formes alternatives de réseaux énergétiques. Ainsi, elles se substituent ou se superposent à des réseaux d'approvisionnement à l'organisation spatiale et à la gestion centralisées, qui suivent un modèle plus que centenaire. Cette conceptualisation nous a menée à considérer les apports de deux champs de recherches. D'un côté, les travaux sociotechniques

et urbains sur les réseaux nous permettent de comprendre les évolutions dans l'histoire des caractéristiques de la mise en réseau de la ville, jusqu'à aujourd'hui. De l'autre, les travaux d'écologie industrielle et territoriale, socioécologiques, nous offrent des catégories conceptuelles pour analyser des échanges et mutualisations de matière et d'énergie entre activités et ce qu'ils changent au système industriel qui sous-tend le fonctionnement de nos sociétés. Nous avons ainsi conjugué ces deux perspectives et avons posé la question suivante, problématique de cette recherche : de quelle manière la mise en œuvre de synergies énergétiques urbaines reconfigure-t-elle le processus de co-construction sociotechnique et socioécologique des réseaux d'énergie et de la ville ?

Par la combinaison de ces deux approches, nous avons finalement adopté une perspective sociomatérielle qui s'attache à comprendre la ville comme le résultat de processus d'émergence et d'évolution d'assemblages d'acteurs humains et d'objets matériels, toujours en mouvement. Cette perspective nous a permis de former trois hypothèses de recherche à partir de la confrontation des deux ensembles de travaux considérés et des caractéristiques des réseaux conventionnels : les recherches sur ces objets montrent en effet que leur modèle de fonctionnement est basé sur un objectif d'efficacité technico-économique, sur une solidarisation plurielle des territoires sur lesquels ils se déploient et sur une ambition de croissance et d'universalisation du réseau.

Partant, nous avons supposé en premier lieu que l'efficacité technico-économique n'est pas suffisante pour expliquer l'intérêt des différents acteurs pour ces circulations de flux, sans quoi leur caractère « gagnant-gagnant » sur ce plan suffirait à les voir émerger de façon bien plus systématique qu'on l'observe aujourd'hui. En second lieu, nous avons fait l'hypothèse que, en raison de la diversité des organisations, stratégies et logiques des acteurs impliqués dans ces réseaux, les interdépendances qui en émergent sont instables et ne peuvent ainsi être qualifiées de « solidarités ». Enfin, nous avons supposé que les acteurs déploient des stratégies contenant une dimension spatiale forte, visant à accroître la stabilité du réseau.

Pour mettre ces hypothèses à l'épreuve, nous avons alors mené une investigation empirique de trois cas d'étude et des évolutions plus générales des modèles économiques et cadres réglementaires qui accompagnent le développement de ces formes de réseaux d'énergie. Nous nous sommes ainsi intéressée à des cas de récupération de chaleur fatale d'origine industrielle ou numérique, à des mutualisations locales justifiées par la complémentarité entre des

activités diverses ou encore à des projets de création de réseaux ouverts, de réseaux d'échange ou de nouvelles activités économiques fondées sur l'existence de synergies énergétiques.

Résultats de la recherche

Suivant le triptyque d'hypothèses, les résultats principaux de cette thèse sont de trois ordres.

Tout d'abord, nous avons confirmé que l'efficacité technico-économique ne peut expliquer l'intérêt de l'ensemble des acteurs qui forment le réseau. Avant tout, la matérialité du territoire et, plus particulièrement, la perception que les acteurs se font d'une proximité géographique, conditionne le processus d'émergence des synergies. En outre, les relations de proximité qui existent entre certains d'entre eux au sein du territoire peuvent constituer un facteur d'expression d'intérêts pour l'échange. Ces proximités n'expliquent toutefois pas tout le processus qui mène à leur mise en œuvre. Nous constatons en effet que certains acteurs ont une attitude avant tout opportuniste vis-à-vis de ces échanges et les rattachent à des stratégies qui en dépassent largement le cadre. D'autres se placent explicitement en retrait de leur formation selon une posture de « laisser-faire ». Notons à ce sujet que, se concentrant sur les situations locales de décision, cette thèse ne s'est pas intéressée aux cultures professionnelles, et notamment à celle des milieux d'ingénieur, qui pourraient participer à comprendre ces différentes attitudes : d'autres recherches pourraient en faire leur objet. Néanmoins, à partir des différents intérêts exprimés par les acteurs, nous avons trouvé une similitude dans les registres de justification mobilisés : ils englobent tous un objectif d'optimisation de l'usage des flux d'énergie existant sur le territoire, si bien qu'ils s'accumulent plutôt qu'ils ne convergent. Aussi, d'une ambition d'efficacité technico-économique, on passe à celle d'une efficacité métabolique et nous retrouvons ici une caractéristique associée à l'hypothèse du post-réseau. Ce résultat confirme ainsi le constat posé par ailleurs de la possible concordance entre un affaiblissement des logiques associées aux grands réseaux centralisés conventionnels et une persistance d'une promotion de la forme réticulaire (Rocher, 2013).

Ensuite, les synergies sont bien à l'origine d'interdépendances dont l'existence peut d'ailleurs prévenir l'implication de certains acteurs. Nous les avons regroupées en deux catégories : interdépendances de flux d'un côté et d'infrastructure de l'autre. En d'autres termes, certaines interdépendances sont liées aux circulations de flux en elles-mêmes, énergétiques ou non, quand d'autres découlent du fonctionnement, de la maintenance et de l'exploitation des systèmes techniques qui permettent les circulations. Elles s'inscrivent donc dans des temporalités différentes, les premières étant soumises à de fortes dynamiques liées aux

évolutions rapides des flux, quand les secondes touchent à des systèmes construits pour durer. Cependant, les deux types d'interdépendances entraînent des instabilités dans le réseau, qui sont dues aux incertitudes perçues par les acteurs quant au rapport des autres acteurs à la synergie. En particulier, les incertitudes quant à l'évolution des flux à long terme entraînent une réévaluation continue de la pérennité du réseau de la part des acteurs. Aussi, les synergies s'opposent sur ce plan aux réseaux conventionnels caractérisés par leur stabilité (Offner, 1993) et n'apparaissent pas comme un vecteur supplémentaire de solidarisation du territoire.

Enfin, face à ces instabilités le « réseau de projets transactionnels » (Dupuy, 1987a, 1987b), c'est-à-dire la manière dont les acteurs souhaitent voir évoluer le réseau, prend chaque fois la forme d'une extension spatiale de l'interconnexion. Nous retrouvons donc une dynamique de croissance du réseau, qui s'appuie cependant sur une logique toute différente de celle qui guide l'évolution des réseaux conventionnels. En effet, on observe dans tous les cas qu'elle se fonde sur une forte sélection spatiale, qui s'oppose à l'objectif historique d'universalisation et qui vise à mettre en circulation des flux qui préexistent sur le territoire. On constate ainsi une primauté du flux sur l'infrastructure pour le dessin du réseau, observée récemment par ailleurs dans le secteur de l'eau (Barles, Coutard et Guillerme, 2015). En somme, d'une logique de croissance de la consommation, on passe à une logique de croissance des flux mis en réseau.

Néanmoins, malgré ces logiques et modes de fonctionnement qui tranchent clairement avec le modèle conventionnel, on observe la persistance d'une organisation qui laisse une place centrale à des opérateurs dans l'organisation de la mise en réseau. Autrement dit, bien que les échanges se veuillent multidirectionnels dans l'espace urbain, les acteurs qui ont fondé leur modèle sur une centralisation matérielle et décisionnelle des réseaux d'énergie jouent toujours un rôle d'intermédiaire.

Une observation plus large des évolutions des stratégies d'acteurs, des réglementations et des nouveaux entrants nous a toutefois permis de constater que des modèles alternatifs sont proposés et parfois associés à de nouveaux modèles économiques. On observe ainsi l'émergence d'opérateurs d'intermédiation, qui se superposent à l'opérateur classique de distribution mais ont parfois pour ambition de le supplanter, en particulier lorsqu'ils sont des acteurs entrants. Cependant, reprenant la dichotomie introduite plus haut, nous pouvons avancer que ces modèles proposent des manières alternatives de gérer les interdépendances de flux mais ne se positionnent pas sur celles qui sont liées au partage d'une infrastructure. Ils

suivent en cela une vision dématérialisée de l'énergie, calquant leur modèle sur des évolutions du secteur numérique et s'appuyant en outre largement sur ce dernier.

Ainsi, une conclusion forte de ce travail, qui traverse l'ensemble de nos résultats et découle de notre lecture dichotomique entre flux et infrastructures, est celle d'une importance grandissante des premiers et d'un effacement graduel des secondes dans la façon de penser les réseaux d'énergie et leur organisation urbaine. Ce « tournant métabolique » se traduit dans la manière de conceptualiser la matérialité et la spatialité de la ville dont la diversité est perçue comme une potentialité de mise en circulation de flux. Si la mixité urbaine a dès les débuts accompagné et justifié le développement des réseaux d'énergie (Coutard, 1994 ; Rose, 1988), c'est à présent la prise en compte fine de l'organisation des activités dans l'espace urbain qui est génératrice de réseau.

Perspectives de recherche

Le travail mené dans cette thèse ouvre à notre sens plusieurs pistes de recherche, certaines à travers l'émergence de sujets connexes au cours de nos investigations empiriques, d'autres par le rapprochement thématique à d'autres courants de recherche en construction.

Analyser plus largement les interdépendances sociomatérielles qui forment la ville : des synergies aux nexus

Au cours de la décennie passée, s'est développé un champ de recherche autour de la notion de « nexus » qui provient de l'usage du terme dans de nombreux discours institutionnels en appelant à plus d'efficacité et de soutenabilité dans la gestion des ressources (Ringler, Bhaduri et Lawford, 2013). Le nexus désigne les interconnexions entre les différents flux de matière et d'énergie qui sont nécessaires au fonctionnement des sociétés humaines. Plus particulièrement, la majorité des travaux se sont intéressés au nexus « eau-énergie » ou « eau-énergie-alimentation » (Bazilian *et al.*, 2011 ; Cairns et Krzywoszynska, 2016 ; Hussey, Pittock et others, 2012 ; Perrone, Murphy et Hornberger, 2011 ; Ringler, Bhaduri et Lawford, 2013 ; Stein, Barron et Moss, 2014). Une approche spécifiquement urbaine est parfois revendiquée (Scott, Crootof et Kelly-Richards, 2016), selon le motif que les villes sont le lieu principal de consommation et transformation de ces flux (Kenway *et al.*, 2011).

Au-delà de la compréhension et de la quantification de ces interactions, la perspective du nexus entend permettre la réalisation de gains environnementaux en formant de plus amples intégrations dans la gestion et la gouvernance de ces flux qui relèvent de secteurs

différents (Stein, Barron et Moss, 2014, p. 3): *"the approach aims to reduce trade-offs and generate co-benefits for sustainable development"*. On parle ainsi de solutions gagnant-gagnant (*win-win*) et de bénéfices économiques qui seraient une motivation pour les mettre en œuvre (Cairns et Krzywoszynska, 2016).

La description de cet agenda de recherche et de cette ambition normative ne peut manquer de rappeler les fondements et les développements de l'écologie industrielle que nous avons discutés dans cette thèse : la terminologie est différente mais l'objectif est toujours de trouver des interactions entre des flux que consomment, transforment et génèrent des activités humaines pour créer des synergies et une meilleure gestion de ces derniers. Notamment, lorsque la perspective urbaine est envisagée, les liens semblent forts avec d'autres travaux cités et discutés dans cette thèse, toutefois peu nombreux, qui se réclament de l'écologie industrielle pour analyser des interactions entre divers systèmes matériels urbains et environnementaux (Lenhart, van Vliet et Mol, 2015 ; Newell et Cousins, 2015 ; Pandis Iveroth *et al.*, 2013 ; Vernay, 2013). Les analogies ne s'arrêtent pas là puisqu'on y retrouve un débat similaire : les approches quantitatives, qui s'appuient sur les mêmes méthodes que celles employées dans l'écologie industrielle, sont critiquées car elles oublient la complexité sociopolitique du fonctionnement des sociétés humaines (Kenway *et al.*, 2011 ; Scott *et al.*, 2011 ; Williams, Bouzarovski et Swyngedouw, 2014). Des travaux récents ont en particulier montré l'importance de prendre en compte le fonctionnement technique, institutionnel et spatial des infrastructures urbaines dans une approche de cet ordre (Moss, Naumann et Krause, 2016).

Pour autant, les liens conceptuels et théoriques entre les deux champs semblent inexistants : les résultats de l'écologie industrielle (et territoriale) qui, comme nous l'avons vu, disent beaucoup des dynamiques socioécologiques de formation d'interactions entre des flux de matière et d'énergie auparavant déconnectés, ne sont pas mobilisés. Il nous semble au contraire que le développement de travaux sur les nexus pourrait être un vecteur de rapprochement entre les analyses des infrastructures et les travaux sur les métabolismes en poursuivant les liens émergeant entre les travaux de sociotechnique et d'écologie industrielle.

Ils permettraient également de sortir d'une dichotomie entre des travaux sur les infrastructures urbaines d'un côté et le système industriel de l'autre et d'intégrer ainsi les systèmes productifs aux études urbaines qui s'intéressent à la matérialité. En effet, la focalisation sur les systèmes en réseau, historiquement contrôlés au moins pour partie par les acteurs publics (dans les

villes du Nord), exclut de l'analyse une importante quantité de flux et de systèmes techniques qui échappent largement au contrôle des gouvernements urbains. Les analyses quantitatives et historiques des métabolismes urbains et industriels ont permis de donner à voir l'importance de certaines de ces interactions qui ne sont pas canalisées par les infrastructures urbaines en réseau : par exemple, l'agriculture urbaine fournit de l'énergie ou des textiles (Aubry et Pourias, 2013), la production et la maintenance des matériaux de construction entraîne de fortes consommations d'eau et d'énergie (Augiseau et Barles, 2016), des co-produits de la sidérurgie peuvent servir à la construction des voiries urbaines (Beaurain et Varlet, 2015), les humains consomment de la nourriture et produisent de la chaleur que l'on récupère parfois lorsqu'elle est concentrée, comme dans les gares (Maïzia, 2008 ; Alessandrini, 2013), et, comme nous l'avons vu, les installations numériques et industrielles consomment et produisent de l'énergie de manière importante et diffuse, *etc*.

Aussi, il s'agit de prendre au mot la conceptualisation de la ville comme un assemblage sociomatériel et de ne pas présager *a priori* de ce qui la constitue selon des catégories émergeant des politiques publiques (eau, énergie, déchets …). Face à l'ampleur de la tâche que constitue la construction de connaissances fines sur les dynamiques sociomatérielles qui caractérisent la formation des villes (Moss, Becker et Gailing, 2016), que l'on pourrait lier à un objectif de constitution d'une *political-industrial ecology* (Newell et Cousins, 2015), l'entrée par l'émergence de nouvelles interactions entre des flux auparavant gérés de manière disjointe, nous semble pouvoir révéler beaucoup. Elle donne en effet à voir ce que les acteurs contrôlant ces flux sont prêts ou non à changer pour mettre en œuvre de telles interactions et, ainsi, ce qui représente une valeur ou une source de pouvoir pour eux. Une telle approche gagnerait toutefois, à notre sens, à s'appuyer sur le socle de connaissances construit depuis les années 1990 par le champ de l'écologie industrielle, tant quantitatif que socioécologique, et à ne pas se limiter aux interactions entre des flux sur lesquels les pouvoirs publics exercent un contrôle important.

Investiguer finement les évolutions d'un nexus numérique-énergie

Sans que nous ne l'ayons mis en avant, les réseaux dont nous avons traités dans cette thèse, qu'ils soient de chaleur ou d'électricité, sont souvent qualifiés de *smart*. Si nous n'avons pas discuté la notion, c'est qu'elle a souvent été évacuée par les acteurs lors de nos entretiens, pour le motif qu'elle ne recouvre pas une réalité bien définie. Pour autant, il nous semble que notre recherche fait apparaître une partie des interactions qui existent et émergent entre les

flux d'énergie et de données numériques et qui peuvent prendre le nom de *smart*. En d'autres termes, nous avons pu observer une partie du nexus numérique-énergie en ville, que la littérature semble avoir ignoré.

Quelques travaux d'études urbaines sur les relations entre les *smart grid* électriques et les villes ont entamé la construction de connaissances sur ce dernier (Bulkeley, McGuirk et Dowling, 2016 ; Luque-Ayala, 2014 ; McLean, Bulkeley et Crang, 2015) mais ils n'épuisent pas le sujet. En outre, si l'on considère le *smart grid* comme l'ajout d'une « couche numérique » dans les réseaux d'énergie, alors il ne représente pas en lui-même une rupture avec l'« infostructure » que l'on peut considérer comme l'une des couches des réseaux depuis l'émergence même des technologies de l'information et de la communication (Curien, 2000 ; Pflieger, 2012).

Il nous semble que pour comprendre et qualifier les évolutions actuelles, il faudrait observer plus finement les interactions matérielles entre infrastructures numériques et énergétiques, qui sont multiples. Nous avons par exemple vu que l'installation de *data centers* influence largement la construction, la nature et l'organisation spatiale des installations électriques, si bien que les relations entre les opérateurs du réseau d'électricité et les constructeurs des centres sont de plus en plus resserrées. En outre, les possibilités d'interactions des *data centers* avec les réseaux de chaleur et de froid sont prises en compte de façon croissante par les collectivités qui en accueillent un nombre important. Nous avons également vu qu'émergent des politiques publiques (à Amsterdam par exemple, voir encadré 5.4) qui visent à coordonner spatialement le développement des réseaux d'énergie et d'infrastructures numériques, ce qu'appellent de leurs vœux un certain nombre d'acteurs du numérique. Aussi, les interactions entre ces deux formes de flux pourraient avoir des effets importants sur l'organisation spatiale des territoires.

Dans l'autre sens, l'observation de ce que change véritablement le *smart* à la gestion de l'énergie devrait inclure une compréhension des interactions matérielles entre les réseaux d'énergie concernés et les infrastructures numériques. Au-delà des services et usages dont ils sont le vecteur, il s'agirait ainsi de comprendre quels types d'infrastructures numériques et d'organisation des circulations de flux d'information accompagnent le développement de ces réseaux. Par exemple, si l'usage des algorithmes *blockchain* tels que nous l'avons observé dans le chapitre 8 et dont nous avons vu qu'il entraîne un usage important de ressources

numériques, venait à se développer, les *smart grids* pourraient avoir un effet non négligeable sur l'organisation des infrastructures numériques, d'une façon qu'il s'agirait de démêler.

En somme, il nous semble que la construction sociomatérielle du nexus énergie-numérique est encore mal connue alors qu'elle a d'ores et déjà une influence importante sur l'aménagement des espaces urbains.

Planification, dynamique des flux et opérateurs

Cette nouvelle perspective peut être directement reliée à la question des *smart grid* abordée plus haut : en effet, l'un des principaux arguments utilisés pour justifier leur développement est la recherche d'un accroissement de la flexibilité dans l'exercice d'équilibrage du réseau (Palle, 2016). Il s'agit ainsi de pouvoir agir à la fois sur les flux injectés sur le réseau et les flux consommés, par la commande à distance, l'incitation tarifaire ou l'information.

Nous avons vu que cette perspective peut faire du réseau un système d'intermédiation autant que de distribution et que de récentes évolutions législatives (notamment en France) font preuve d'une sortie progressive des projets d'organisation de ce type d'interactions du statut de « niche » puisqu'ils viennent remettre en cause certains éléments du « régime » (Geels et Schot, 2007).

Ces évolutions appellent à notre sens deux formes de recherches. En premier lieu, une analyse fine des relations entre les acteurs entrants qui portent ces modèles, les opérateurs historiques et les acteurs de la régulation, dans une perspective de STS, pourrait être fructueuse. Il s'agirait en somme de comprendre comment les différents projets de construction d'un réseau énergétique d'échange se confrontent à un régime sociotechnique plus que centenaire basé quant à lui sur la distribution. En particulier, dans un système d'acteurs de l'énergie multi-niveaux, il conviendrait de mettre au jour les interactions entre les niveaux locaux, nationaux et européens et les échelles auxquelles choisissent ou sont contraints d'agir les acteurs entrants proposant des réseaux d'échange.

En second lieu, il s'agit de s'interroger sur les conséquences de ces évolutions en termes d'interaction entre la planification des réseaux d'énergie d'un côté et de l'espace urbain de l'autre. En effet, nous avons vu que les propositions actuelles tendent à passer sous silence le rôle déterminant des infrastructures, ne semblant pas remettre en cause les monopoles historiques qui s'appliquent à leur gestion. Pourtant, nos recherches nous ont montré que les

processus de construction de réseaux sur un mode d'échange plutôt que de distribution entraînent une prise en compte de l'espace fine dans le dessin de l'infrastructure.

Aussi, il nous semble important de comprendre comment la décentralisation des décisions qui agissent sur les dynamiques de flux influence le travail et le rapport aux autres opérateurs (fournisseurs, agrégateurs, intermédiaires de transaction …) des acteurs historiques de la distribution lorsqu'ils construisent une image des évolutions des circulations d'énergie à plus ou moins long terme : les acteurs de la planification des réseaux (en particulier d'électricité) prennent-ils en compte de manière plus fine les dynamiques urbaines et leurs traductions en termes de production et consommation dans leurs exercices de dimensionnement des infrastructures ?

Précisons en outre que la compréhension des processus de planification des réseaux d'électricité doit également adopter une perspective multiscalaire, entre la constitution d'un réseau d'interconnexion européen et l'émergence de réseaux d'échanges locaux qui poursuivent un objectif de flexibilité (Palle, 2016). S'il semble que les projets expérimentaux de *smart grids* soient aujourd'hui un laboratoire (Bulkeley et Castán Broto, 2013 ; Evans et Karvonen, 2014 ; Karvonen et Heur, 2014) privilégié d'émergence et de compréhension des nouvelles relations qui pourraient se constituer au sein de la multiplicité des acteurs impliqués (McLean, Bulkeley et Crang, 2015), les premières évolutions législatives que nous avons observées en France sur le « TURPE autoconsommation » montrent que les négociations se déplacent à présent dans d'autres arènes dont il conviendrait d'observer la constitution.

Quel rôle du métabolisme dans la planification urbaine ?

En définitive, cette recherche ouvre différentes perspectives de questionnements autant théoriques qu'opérationnels quant aux relations qui existent ou qui sont amenées à exister entre organisation spatiale des activités urbaines et gestion des flux de matière et d'énergie. Si le « tournant métabolique » dans le rapport entre la ville et les réseaux d'énergie que nous avons observé s'étend à la conceptualisation et à la construction d'autres assemblages urbains, nous pouvons alors nous interroger sur l'émergence ou non de politiques ou actions publiques autour de ces questions métaboliques. Alors que les exercices de quantification des métabolismes urbains sont saisis de manière croissante par les collectivités locales (voir par exemple la ville de Paris, le territoire de Plaine Commune ou la ville de Bruxelles), des observations futures devraient permettre de comprendre s'ils sont utilisés ou non pour changer la manière de gérer et planifier les villes. En somme, il s'agit de se demander à quel point le

métabolisme urbain pourrait devenir un objet plus collectif qu'il ne l'est aujourd'hui, au travers d'une appropriation grandissante par les pouvoirs publics, et comment une telle conceptualisation pourrait changer les processus de production urbaine.

Plus précisément, il conviendrait d'interroger l'usage concret qui est fait des quantifications de flux dans la conception et la planification urbaines, puis dans leurs traductions matérielles. Inversement, on pourrait se demander si les exercices classiques de planification menés par les différents échelons de collectivités locales appellent de manière croissante des quantifications de flux de matière ou d'énergie, et pour quels effets. Au-delà des cartographies de gisements de chaleur fatale dont nous avons observé quelques usages dans cette thèse, un autre cas existant dans le domaine de l'eau incite à une investigation plus large : en France, le dispositif de zonage des eaux pluviales et la taxe pluviale associent des contraintes d'urbanisme à des espaces spécifiques en fonction de quantifications de flux hydriques (Le Nouveau *et al.*, 2013 ; Nezeys, 2013). Un autre cas que nous pouvons d'ores et déjà identifier est celui de la quantification des flux de matériaux et déchets de la construction des bâtiments, qui sont récemment érigés en problème public prégnant pour certains territoires (notamment dans le cadre du projet du Grand Paris). La ville est alors perçue en termes de flux de matière plutôt que comme une emprise spatiale ou une agrégation de fonctions et l'on peut s'interroger sur les conséquences concrètes de cette vision sur sa planification et sa conception.

Dans le domaine de l'énergie, on observe la construction de « cadastres solaires », qui visent à quantifier spatialement les flux d'énergie pouvant être produits sur les toitures d'un espace déterminé. Là encore, les traductions et usages concrets de ces exercices, au-delà de l'information, pourraient être interrogés. Notre enquête à Dunkerque nous a par exemple montré une volonté locale de faire d'une telle quantification un instrument de planification spatiale des productions solaires par la collectivité : l'évaluation quantitative devient une manière de faire des flux solaires un objet collectif, qui s'oppose aux visions de marché observées par ailleurs.

Ainsi, de manière générale, la question que nous posons ici, et qui pourrait faire l'objet de recherches futures, est celle des interactions entre les études de métabolisme et les plans, en tant qu'outils historiques de l'action publique urbaine. Alors que des travaux ont montré que ces derniers peuvent se trouver en contradiction avec une pensée des réseaux (Curien, 2014 ; Dupuy, 1991), il s'agit de comprendre comment les conceptualisations récentes de la ville en

termes de flux, de façon plus ou moins dynamique et plus ou moins spatialisée, sont intégrées ou non aux pratiques de l'urbanisme.

Bibliographie

A. Ressources académiques

Abitbol L., 2012, Initier des coopérations inter-organisationnelles dans les démarches d'écologie industrielle et territoriale: une relecture en termes de sociologie de la traduction et de la théorie des objets-frontière, Thèse de doctorat, Université Lyon 3, 297 p.

Akrich M., Callon M. et Latour B., 1988, « A quoi tient le succès des innovations? 1: L'art de l'intéressement; 2: Le choix des porte-parole », *Gérer et comprendre. Annales des mines*, p. 4-17.

Alessandrini J.-M., 2013, « La sobriété énergétique des bâtiments en milieu urbain », *24èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - La transition écologique des mégapoles*, Créteil, 8 p.

Anadón M. et Guillemette F., 2006, « La recherche qualitative est-elle nécessairement inductive ? », *Recherches qualitatives*, vol. 5, p. 26-37.

Anderberg S., 1998, "Industrial metabolism and the linkages between economics, ethics and the environment", *Ecological Economics*, vol. 24, n°2, p. 311-320.

Andrews C.J., 1999, "Putting industrial ecology into place. Evolving roles for planners", *Journal of the American Planning Association*, vol. 65, n°4, p. 364-375.

Andrews C.J., 2008, "Energy Conversion Goes Local: Implications for Planners." *Journal of the American Planning Association*, vol. 74, n°2, p. 231-254.

Angelier J.-P., 2005, « Electricité et gaz naturel : du monopole public à la concurrence réglementée. Une perspective historique », *working paper*, 36 p.

Ashton W.S. et Bain A.C., 2012, "Assessing the "Short Mental Distance" in Eco-Industrial Networks", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, n°1, p. 70-82.

Attour A. et Rallet A., 2014, « Le rôle des territoires dans le développement des systèmes trans-sectoriels d'innovation locaux : le cas des smart cities », *Innovations*, n°43, p. 253‑279.

Aubry C. et Pourias J., 2013, « L'Agriculture Urbaine Fait Déjà Partie Du Métabolisme Urbain », in (dir.), *Démeter, Dossier Nature et Agriculture Pour La Ville*, 2013, p. 135–155.

Augiseau V. et Barles S., 2016, "Studying construction materials flows and stock: A review" *Resources, Conservation and Recycling*, à paraître.

Baas L.W. et Boons F.A., 2004, "An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n°8-10, p. 1073‑1085.

Bai X., 2007, "Industrial ecology and the global impacts of cities", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n°2, p. 1-6.

Baka J. et Bailis R., 2014, "Wasteland energy-scapes: A comparative energy flow analysis of India's biofuel and biomass economies", *Ecological Economics*, vol. 108, p. 8-17.

Barles S., 2002, « Le métabolisme urbain et la question écologique », *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n°92, p. 143‑150.

Barles S., 2007, « Le métabolisme parisien aujourd'hui », *Les Annales de la recherche urbaine*, n°103, p. 65-72.

Barles S., 2010a, « Ecologies urbaine, industrielle et territoriale », in Coutard O. et Levy J.-P. (dir.), *Ecologies urbaines*, Paris, Economica Anthropos, p. 61‑83.

Barles S., 2010b, "Society, energy and materials: the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues", *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 53, n°4, p. 439‑455.

Barles S., 2014, « L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières », *Développement durable et territoires*, vol. 5, n°1. http://developpementdurable.revues.org/10090

Barles S., Coutard O. et Guillerme A., 2015, "Beyond the networked city, the hyper networked city?", in Rutherford J., Coutard O., *Beyond the Networked City*, Londres, Routledge, p. 47‑64.

Barraqué B., Isnard L., Montginoul M. *et al.*, 2011, « Baisse des consommations d'eau potable et développement durable », *Responsabilité et Environnement*, vol. 63, p. 102-108.

Bazilian M., Rogner H., Howells M. *et al.*, 2011, "Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach", *Energy Policy*, vol. 39, n°12, p. 7896-7906.

Beaurain C., 2004, « Gouvernance environnementale locale et comportements économiques », *Développement durable et territoires*, Dossier n°2. https://developpementdurable.revues.org/1110

Beaurain C., 2008, « La construction d'un territoire à partir des ressources environnementales : l'exemple de l'agglomération dunkerquoise », *Géographie, économie, société*, vol. 10, n°3, p. 365‑384.

Beaurain C. et Brullot S., 2011, « L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 2016/2 (avril), p. 313‑340.

Beaurain C., Longuépée J. et Soussi S.P., 2009, « La proximité institutionnelle, condition à la reconquête de la qualité de l'environnement. L'exemple de l'agglomération dunkerquoise », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 17, n°4, p. 373‑380.

Beaurain C. et Varlet D., 2014a, « Les modes de régulation des interactions au sein d'un réseau territorialisé d'entreprises dans le cadre de l'écologie industrielle. L'exemple de l'agglomération dunkerquoise. », *communication au 51ème colloque de l'ASRDLF*, Champs-sur-Marne, 7-9 juillet 2014.

Beaurain C. et Varlet D., 2014b, « Quelques pistes de réflexion pour une approche pragmatiste de l'écologie industrielle : l'exemple de l'agglomération dunkerquoise », *Développement durable et territoires*, vol. 5, n°1. https://developpementdurable.revues.org/10111

Beaurain C. et Varlet D., 2015, « Régulation des interactions au sein d'un réseau territorialisé d'entreprises dans le cadre de l'écologie industrielle », *Revue d'économie industrielle*, n°152, p. 173‑206.

Becker S., Moss T. et Naumann M., 2016, "The Importance of Space: Towards a Socio-Material and Political Geography of Energy Transitions", in Gailing L. et Moss, T. (dir.), *Conceptualizing Germany's Energy Transition*, Londres, Palgrave Macmillan UK, p. 93-108.

Behrsin I., 2016, "“Correcting for the Climate” and Other Artifacts of EU Waste-to-Energy regulation", *AAG Annual Meeting*, San Francisco, 29 mars - 2 avril 2016.

Beltran A. et Carré P.-A., 2000, « La Fée et la Servante : la société française face à l'électricité, XIXe-XXe siècle », Paris, Belin, 352 p.

Bennett J., 2005, "The agency of assemblages and the North American blackout", *Public Culture*, vol. 17, n°3, p. 445-465.

Berdoulay V. et Soubeyran O., 2002, « L'écologie urbaine et l'urbanisme. Aux fondements des enjeux actuels », Paris, La Découverte, collection Recherches, 272 p.

Berger F., 2006, « Éléments sur la crise de la sidérurgie en vue d'une approche comparative. Le cas du Nord-Pas-de-Calais et du groupe Usinor », *Revue du Nord*, Hors série n° 21, p. 43-57.

Bergmann L., 2013, "Bound by chains of carbon: Ecological-economic geographies of globalization", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 103, n°6, p. 1348-1370.

Berkel R.V., Fujita T., Hashimoto S. *et al.*, 2009, "Quantitative Assessment of Urban and Industrial Symbiosis in Kawasaki, Japan", *Environmental Science & Technology*, vol. 43, n°5, p. 1271‑1281.

Bijker W.E., Hughes T.P., Pinch T. *et al.*, 2012, *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MIT Press, 471 p.

Blanchard G., 2014, « Analyser l'espace entre information et décision dans des processus d'opérationnalisation de la transition énergétique », *SAGEO 2014 - Enjeux informationnels et cognitifs de la transition énergétique des territoires*, Grenoble, 24-27 novembre 2014, 18 p.

Blanchet T., 2015, "Struggle over energy transition in Berlin: How do grassroots initiatives affect local energy policy-making?", *Energy Policy*, vol. 78, p. 246-254.

Blok A., 2013, "Urban Green Assemblages: An ANT View on Sustainable City Building Projects", *Science & Technology Studies*, vol. 28, n°1, p. 5-24.

Bocquet D., 2006, « Les réseaux d'infrastructures urbaines au miroir de l'histoire: acquis et perspectives », *Flux*, 2006/3, vol. 65, p. 6-16.

Bognon S., 2014, *Les transformations de l'approvisionnement alimentaire dans la métropole parisienne. Trajectoire socio-écologique et construction de proximités*, Thèse de doctorat, Université Paris 1, 405 p.

Bolzon H., Rocher L. et Verdeil É., 2013, « Transitions énergétiques multiples et contradictoires à Sfax (Tunisie) », *Flux*, 2013/3, n° 93-94, p. 77-90.

Boons F. et Baas L., 1997, "Types of industrial ecology: the problem of coordination", *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n°1, p. 79-86.

Boons F. et Berends M., 2001, "Stretching the boundary: the possibilities of flexibility as an organizational capability in industrial ecology", *Business strategy and the environment*, vol. 10, n°2, p. 115-124.

Boons F. et Howard-Grenville J.A., 2009, *The Social Embeddedness of Industrial Ecology*, Edward Elgar Publishing, 301 p.

Boons F., Spekkink W. et Mouzakitis Y., 2011, "The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, n°9-10, p. 905‑911.

Borelli D., Devia F., Marré Brunenghi M. *et al.*, 2015, "Waste Energy Recovery from Natural Gas Distribution Network: CELSIUS Project Demonstrator in Genoa", *Sustainability*, vol. 7, n°12, p. 16703‑16719.

Botsman R. et Rogers R., 2011, *What's mine is yours: how collaborative consumption is changing the way we live*, Londres, HarperCollins Business, 304 p.

Brenner N., Madden D.J. et Wachsmuth D., 2011, "Assemblage urbanism and the challenges of critical urban theory", *City*, vol. 15, n°2, p. 225‑240.

Bridge G., Bouzarovski S., Bradshaw M. *et al.*, 2013, "Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy", *Energy Policy*, vol. 53, p. 331‑340.

Broberg S., Backlund S., Karlsson M. *et al.*, 2012, "Industrial excess heat deliveries to Swedish district heating networks: Drop it like it's hot", *Energy Policy*, vol. 51, p. 332-339.

Broto V.C., Allen A. et Rapoport E., 2012, « Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, n°6, p. 851‑861.

Brullot S., Maillefert M. et Joubert J., 2014, « Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territoriale », *Développement durable et territoires*, vol. 5, n°1.
https://developpementdurable.revues.org/10082

Brunner P.H., 2007, "Reshaping Urban Metabolism", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n°2, p. 11‑13.

Buclet N., Defeuilley C. et Lupton S., 2000, "Municipal waste management in France", in Buclet N. et Godard O. (dir.), *Municipal waste management in Europe*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 87-119.

Buclet N., 2015, *Essai d'écologie territoriale*, Paris, CNRS Editions (CNRS Alpha), 218 p.

Buclet N. et Brullot S., 2009, « Développement territorial et définition de l'intérêt général: l'apport méthodologique du métabolisme territorial à la définition de l'échelle pertinente », *Colloque international développement territorial: jeux d'échelle et enjeux méthodologiques*, Lausanne, 11-12 février 2012.

Buclet N., Debizet G., Gauthier C. *et al.*, 2016, « Quatre scénarios de coordination de l'énergie en milieu urbain à l'horizon 2040 », in Debizet G. (dir.), *Scénarios de transition énergétique en ville*, Paris, La documentation française, p. 13-72.

Bulkeley H. et Betsill M.M., 2005, *Cities and climate change: urban sustainability and global environmental governance*, Oxford, Psychology Press, 237 p.

Bulkeley H., Castán Broto V., Hodson M. *et al.*, 2010, *Cities and low carbon transitions*, Londres, Routledge, 224 p.

Bulkeley H., Castán Broto V. et Maassen A., 2014, "Low-carbon Transitions and the Reconfiguration of Urban Infrastructure", *Urban Studies*, vol. 51, n°7, p. 1471‑1486.

Bulkeley H. et Castán Broto V., 2013, "Government by experiment? Global cities and the governing of climate change", *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 38, n°3, p. 361-375.

Bulkeley H., McGuirk P.M. et Dowling R., 2016, "Making a smart city for the smart grid? The urban material politics of actualising smart electricity networks", *Environment and Planning A*, vol. 48, n°9, p. 1709-1726.

Cairns R. et Krzywoszynska A., 2016, "Anatomy of a buzzword: The emergence of 'the water-energy-food nexus' in UK natural resource debates", *Environmental Science & Policy*, vol. 64, p. 164-70.

Callon M., 1986, « Éléments pour une sociologie de la traduction: la domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc », *L'Année sociologique*, n°38, p. 170-208.

Cerceau J., 2013, *L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Sup´erieure des Mines de Saint-Etienne, 333 p.

Cerceau J., Junqua G., Gonzalez C. *et al.*, 2014, « Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contribution à la définition du territoire en écologie industrielle », *Développement durable et territoires*, vol. 5, n°1.
https://developpementdurable.revues.org/10179

Chatzis K., 2002, "Designing and operating storm water drain systems", in Coutard O. (dir.), *The governance of large technical systems*, Londres, Routledge, p. 73-90.

Chertow M.R., 2000, "Industrial symbiosis: literature and taxonomy", *Annual review of energy and the environment*, vol. 25, n°1, p. 313-337.

Chertow M.R., 2007, "“Uncovering” industrial symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n°1, p. 11-30.

Chevalier J.-M., Percebois J., Chalmin P. *et al.*, 2008, *Gaz et électricité: un défi pour l’Europe et pour la France*, Paris, La Documentation française, 148 p.

Chevallier J., 2015, *Le service public*, Paris, Presses universitaires de France, collection « Que sais-je ? », 128 p.

Chow T.T., Chan A.L. et Song C.L., 2004, "Building-mix optimization in district cooling system implementation", *Applied Energy*, vol. 77, n°1, p. 1-13.

Codoban N. et Kennedy C., 2008, "Metabolism of Neighborhoods", *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 134, n°1, p. 21‑31.

Cohen-Rosenthal E., 2000, "A walk on the human side of industrial ecology", *American Behavioral Scientist*, vol. 44, n°2, p. 245-264.

Cointe B., 2014, *The emergence of photovoltaics in France in the light of feed-in tariffs: exploring the markets and politics of a modular technology*, Thèse de doctorat, EHESS, 340 p.

Conticelli E. et Tondelli S., 2014, "Eco-Industrial Parks and Sustainable Spatial Planning: A Possible Contradiction?", *Administrative Sciences*, vol. 4, n°3, p. 331‑349.

Cousins J.J. et Newell J.P., 2015, "A political-industrial ecology of water supply infrastructure for Los Angeles", *Geoforum*, vol. 58, p. 38-50.

Coutard O., 1994, *Une analyse économique de l’accès aux réseaux électriques d’interconnexion*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 317 p.

Coutard O., 2002a, *The Governance of Large Technical Systems*, Londres, Routledge, 320 p.

Coutard O., 2002b, "“Premium Network Spaces”: A Comment", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 26, n°1, p. 166‑174.

Coutard O., 2008, "Placing splintering urbanism: Introduction", *Geoforum*, vol. 39, n°6, p. 1815‑1820.

Coutard O., 2010, « Services urbains : la fin des grands réseaux », in Coutard O. et Levy J.-P. (dir.), *Ecologies urbaines*, Paris, Economica Anthropos, p. 102‑129.

Coutard O., Hanley R. et Zimmerman R., 2004, *Sustaining Urban Networks: the social diffusion of large technical systems*, Londres, Routledge, 239 p.

Coutard O. et Pflieger G., 2002, « Une analyse du rôle des usagers dans le développement des services de réseaux en France », *Entreprises et histoire*, vol. 30, n°3, p. 136‑152.

Coutard O. et Rutherford J., 2009, « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques «décentralisées» », *Flux*, 2009/2, n°76-77, p. 6-13.

Coutard O. et Rutherford J., 2010a, "The rise of post-networked cities in Europe? Recombining infrastructural, ecological and urban transitions", in Bulkeley H., Castán Broto V., Hodson M. *et al.* (dir.), *Cities and low carbon transitions*, Londres, Routledge, p. 107-125.

Coutard O. et Rutherford J., 2010b, "Energy transition and city-region planning: understanding the spatial politics of systemic change", *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 22, n°6, p. 711-727.

Coutard O. et Rutherford J., 2013, « Vers l'essor de villes «post-réseaux»: infrastructures, innovation sociotechnique et transition urbaine en Europe », in Forest, J. et A. Hamdouch (dir.), *L'innovation face aux défis environnementaux de la ville contemporaine*, Lausanne, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, 29 p., à paraître.
http://www.enpc.fr/sites/default/files/coutard_rutherford_2013_pnc.pdf

Coutard O. et Rutherford J., 2015, "Beyond the networked city: an introduction", in Rutherford J. et Coutard O. (dir.), *Beyond the Networked City*, Londres, Routledge, p. 1−18.

Curien N., 1993, « «Réseau»: du mot au concept », *Flux*, Vol. 9, n°13-14, p. 52-55.

Curien N., 2000, *Economie des réseaux*, Paris, La découverte, 128 p.

Curien R., 2014, *Services essentiels en réseaux et fabrique urbaine en Chine : la quête d'une environnementalisation dans le cadre d'un développement accéléré. Enquêtes à Shanghai, Suzhou et Tianjin*, Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 452 p.

Daniélou J. et Ménard F., 2014, « L'empire du réseau », *Métropolitiques*, 3 novembre 2014.
http://www.metropolitiques.eu/L-empire-du-reseau.html

Davies A., 1996, « Innovation in large technical systems: the case of telecommunications », *Industrial and Corporate Change*, vol. 5, n°4, p. 1143-1180.

De Swaan A., 1995, *Sous l'aile protectrice de l'État*, Presses universitaires de France, Paris, 384 p.

Debizet G., 2016, *Scénarios de transition énergétiques en ville ; acteurs, régulations, technologies*, Paris, La documentation française, 197 p.

Debizet G., Blanchard O., 2015, « Énergie en (éco) quartier », *InnovatiO*, n°2, 7 p.

Debizet G., Gauthier C., La Branche S. *et al.*, 2015, "Energy coordination in eco-districts: The multi-disciplinary NEXUS project", *Proceedings of the 9th SDEWES Conference*, p. 1-16.

Debizet G., Tabourdeau A., Gauthier C. *et al.*, 2016, "Spatial processes in urban energy transitions: considering an assemblage of Socio-Energetic Nodes", *Journal of Cleaner Production*, vol. 134, Part A, p. 330‑341.

Decouzon C. et Maillefert M., 2013, « Évaluer des projets d'écologie industrielle sur des parcs d'activité : des synergies au territoire », *Géographie, économie, société*, vol. 14, n°4, p. 411‑434.

Defeuilley C., 1996, *Le service public au défi de l'efficacité économique. Les contrats de délégation dans la gestion des déchets ménagers*, Université de Paris VII, 346 p.

DeLanda M., 2006, *A new philosophy of society: Assemblage theory and social complexity*, Londres, Bloomsbury Academic, 150 p.

Demailly D. et Novel A.-S., 2013, « Économie du partage: enjeux et opportunités pour la transition écologique », *IDDRI Study*, n°3, 32 p.

Desrochers P., 2001, "Cities and industrial symbiosis: Some historical perspectives and policy implications", *Journal of industrial ecology*, vol. 5, n°4, p. 29-44.

Desrochers P., 2002, "Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: historical evidence and policy implications", *Industrial and Corporate Change*, vol. 11, n°5, p. 1031-1057.

Di Lucia L. et Ericsson K., 2014, "Low-carbon district heating in Sweden - Examining a successful energy transition", *Energy Research & Social Science*, vol. 4, p. 10‑20.

Diemer A. et Labrune S., 2007, « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Développement durable et territoires*. https://developpementdurable.revues.org/4121

Dobbelsteen A. van den, Broersma S. et Stremke S., 2011, "Energy potential mapping for energy-producing neighborhoods", *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, vol. 2, n°2, p. 170-176.

Dobbelsteen A. van den, Jansen S., Timmeren A. van *et al*., 2007, "Energy potential mapping - a systematic approach to sustainable regional planning based on climate change, local potentials and exergy", *Proceedings of the CIB world building congress*, 14-17 May 2011, 11 p.

Dobbelsteen A. van den et Wilde S. de, 2004, "Space use optimisation and sustainability-environmental assessment of space use concepts", *Journal of Environmental Management*, vol. 73, n°2, p. 81‑89.

Dobigny L., 2009, « L'autonomie énergétique: acteurs, processus et usages. De l'individuel au local en Allemagne, Autriche, France », in Dobré M. et Juan S. (dir.), *Consommer autrement. La réforme écologique des modes de vie*, Paris, L'Harmattan, p. 73-87.

Dobigny L., 2012, « Produire et échanger localement son énergie. Dynamiques et solidarités à l'œuvre dans les communes rurales », in Papy F. (dir.), *Nouveaux rapports à la nature dans les campagnes*, Versailles, Editions Quae, p. 139-152.

Dong H., Ohnishi S., Fujita T. *et al.*, 2014, "Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki", *Energy*, vol. 64, p. 277‑286.

Droege P., 2011, *Urban energy transition: from fossil fuels to renewable power*, Oxford, Elsevier Science, 664 p.

Drouvot H., Amaral H. et Magalhães C., 2010, « L'OPA hostile de Mittal Steel sur Arcelor dans le contexte de la concentration du secteur sidérurgique », *FACEF Pesquisa*, vol. 10, n°1, p. 107-120.

Dumez H., 2012, « Qu'est-ce que l'abduction, et en quoi peut-elle avoir un rapport avec la recherche qualitative? », *Le libellio d'Aegis*, vol. 8, n°3, p. 3-9.

Dupuy G., 1984, « Villes, systèmes et réseaux : le rôle historique des techniques urbaines », *Réseaux*, vol. 2, n°4, p. 3‑23.

Dupuy G., 1987a, « Les réseaux techniques sont-ils des réseaux territoriaux ? », *Espace géographique*, vol. 16, n°3, p. 175‑184.

Dupuy G., 1987b, « Vers une théorie territoriale des réseaux : une application au transport urbain », *Annales de Géographie*, vol. 96, n°538, p. 658-679.

Dupuy G., 1988, *Réseaux territoriaux*, Caen, Paradigme, 226 p.

Dupuy G., 1991, *L'urbanisme des réseaux: théories et méthodes*, Armand Colin, Paris, 199 p.

Dupuy G., 1993, « Géographie et économie des réseaux », *Espace géographique*, vol. 22, n°3, p. 193‑209.

Dupuy G. et Tarr J.A., 1988, *Technology and the Rise of the Networked City in Europe and America*, Philadelphia, Temple University Press, 339 p.

Dupuy G., Van Schaick J. et Klaasen I.T., 2008, *Urban Networks: Network Urbanism*, Amsterdam, Techne Press, 296 p.

Duret B., Mat N., Bonard A. *et al.*, 2007, « Ecologie territoriale : une aide à la définition d'une politique énergétique », *Les Annales de La Recherche Urbaine*, n°103, p. 73-78.

Duvigneaud P., 1974, *La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, Paris, Doin, 380 p.

Ehrenfeld J., 2004, "Industrial ecology: a new field or only a metaphor?", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n°8, p. 825-831.

Ehrenfeld J. et Gertler N., 1997, "Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg", *Journal of industrial Ecology*, vol. 1, n°1, p. 67-79.

Erkman S., 1997, "Industrial ecology: an historical view", *Journal of cleaner production*, vol. 5, n°1‑2, p. 1-10.

Erkman S., 2001, « L'écologie industrielle, une stratégie de développement », *Le Débat*, 2001/1, n° 113, p. 106−121.

Erkman S., 2004, *Vers une écologie industrielle*, Paris, Editions Charles Léopold Mayer, 251 p.

Escobar A., 2007, "The ‘ontological turn’ in social theory. A Commentary on ‘Human geography without scale’, by Sallie Marston, John Paul Jones II and Keith Woodward", *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 32, n°1, p. 106−111.

Esty D.C. et Porter M.E., 1998, "Industrial ecology and competitiveness", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2, n°1, p. 35-43.

Evans J. et Karvonen A., 2014, "‘Give me a laboratory and I will lower your carbon footprint!’ - Urban laboratories and the governance of low-carbon futures", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 38, n°2, p. 413-430.

Fang H., Xia J., Zhu K. *et al.*, 2013, "Industrial waste heat utilization for low temperature district heating", *Energy Policy*, vol. 62, p. 236−246.

Farías I., 2010, "Introduction: Decentering the object of urban studies", in Farías I. et Bender T. (dir.), *Urban Assemblages: How Actor Network Theory Changes Urban Studies*, Londres, Routledge, p. 1-24.

Farías I., 2011, "The politics of urban assemblages", *City*, vol. 15, n°3‑4, p. 365-374.

Farías I. et Bender T., 2012, *Urban Assemblages: How Actor-Network Theory Changes Urban Studies*, Londres, Routledge, 354 p.

Feagin J.R., Orum A.M. et Sjoberg G., 1991, *A Case for the Case Study*, Chapel Hill et Londres, The University of California Press, 308 p.

Féré C. et Scherrer F., 2014, "Urban Water in the Post-Network Era: Lebanon and the Former East Germany", in Schneier-Madanes G. (dir.), *Globalized Water. A question for governance*, Dordrecht, Springer Netherlands, p. 123−135.

Florentin D., 2015, *Shrinking networks? Les modèles économiques et territoriaux des firmes d’infrastructure locales face à la diminution de la consommation*, Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 392 p.

Florentin D., Gabillet P. et Gomez C.D., 2015, "Larger, diversified and courted: the new triad of local firms of infrastructure in transition?", *Network Industries quarterly*, vol. 17, n°2, p. 8-13.

French S., Leyshon A. et Wainwright T., 2011, "Financializing space, spacing financialization", *Progress in human geography*, vol. 35, n°6, p. 798-819.

Gabillet P., 2015a, "Energy supply and urban planning projects: Analysing tensions around district heating provision in a French eco-district", *Energy Policy*, vol. 78, p. 189-197.

Gabillet P., 2015b, *Les entreprises locales de distribution à Grenoble et Metz. Des outils de gouvernement énergétique urbain partiellement appropriés*, Thèse de doctorat, Université Paris Est, 462 p.

Gallez C., Kaufmann V., Maksim H. *et al.*, 2013, « Coordonner transport et urbanisme. Visions et pratiques locales en Suisse et en France », *Revue d’Économie Régionale & Urbaine*, 2013/2 (avril), p. 317-337.

Geels F.W., 2002, "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study", *Research Policy*, vol. 31, n°8-9, p. 1257−1274.

Geels F.W. (2010a), "Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective", *Research policy*, vol. 39, n°4, p. 495-510.

Geels F.W., 2010b, "The role of cities in technological transitions: Analytical clarifications and historical examples", in Bulkeley H., Castan-Broto V., Hodson M. *et al.* (dir.), *Cities and Low Carbon Transitions*, Londres, Routledge, p. 13-28.

Geels F.W., 2012, "A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies", *Journal of Transport Geography*, vol. 24, p. 471−482.

Geels F.W., 2014), "Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective", *Theory, Culture & Society*, Special Issue: Energy and Society, p. 1-20.

Geels F.W. et Schot J., 2007, "Typology of sociotechnical transition pathways", *Research policy*, vol. 36, n°3, p. 399-417.

Giraut F., 2008, « Conceptualiser le territoire », *Historiens et géographes*, n°403, p. 57-68.

Graham S., 2000, "Constructing premium network spaces: reflections on infrastructure networks and contemporary urban development", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 24, n°1, p. 183-200.

Graham S. et Marvin S., 2001, *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*, Londres, Routledge, 512 p.

Gras A., 1993, *Les macro-systèmes techniques*, Paris, Presses Universitaires de France, collection « Que sais-je ? », 128 p.

Grönkvist S. et Sandberg P., 2006, "Driving forces and obstacles with regard to co-operation between municipal energy companies and process industries in Sweden", *Energy Policy*, vol. 34, n°13, p. 1508‑1519.

Guy S. et Karvonen A., 2011, "Using sociotechnical methods: researching human-technological dynamics in the city", in Mason J. et Dale A. (dir.), *Understanding social research: thinking creatively about method*, Londres, Sage Publications, p. 120-133.

Guy S. et Marvin S., 1996, "Transforming urban infrastructure provision - The emerging logic of demand side management", *Policy Studies*, vol. 17, n°2, p. 137−147.

Guy S., Sherriff G., Goodier C. *et al.*, 2016, "Assembling energy futures. Seawater district heating in The Hague, the Netherlands", in Rydin Y. et Tate L. (dir.), *Actor Networks of Planning: Exploring the influence of Actor Network Theory*, Oxon et New York, Routledge, p. 142-155.

Hackett E.J., Amsterdamska O., Lynch M. *et al.*, 2008, *The handbook of science and technology studies*, The MIT Press, Cambridge, USA, 1065 p.

Halbert L. et Le Goix R., 2012, « Capital financier et production urbaine », *Urbanisme*, n°384, p. 40‑41.

Hendriks C., Obernosterer R., Müller D. *et al.*, 2000, "Material Flow Analysis: A tool to support environmental policy decision making. Case-studies on the city of Vienna and the Swiss Lowlands", *Local Environment*, vol. 5, n°3 p. 311-328.

Hess D.J., 2013, "Industrial fields and countervailing power: The transformation of distributed solar energy in the United States", *Global Environmental Change*, vol. 23, n°5, p. 847-855.

Heynen N., Kaika M. et Swyngedouw E., 2006a, "Urban political ecology", in Heynen N.C., Kaika M. et Swyngedouw E. (dir.), *In the nature of cities: Urban political ecology and the politics of urban metabolism*, Londres et New York, Routledge, p. 1-20.

Heynen N.C., Kaika M. et Swyngedouw E., 2006b, *In the nature of cities: urban political ecology and the politics of urban metabolism*, Londres et New York, Routledge, 265 p.

Hodson M. et Marvin S., 2009, "Cities mediating technological transitions: understanding visions, intermediation and consequences", *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 21, n°4, p. 515-534.

Hodson M. et Marvin S., 2010, "Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were?", *Research policy*, vol. 39, n°4, p. 477-485.

Hodson M., Marvin S., Robinson B. *et al.*, 2012, "Reshaping Urban Infrastructure", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 16, n°6 p. 789-800.

Hoffman A.J., 2003, "Linking social systems analysis to the industrial ecology framework", *Organization & Environment*, vol. 16, n°1, p. 66-86.

Huang Q., Zheng X. et Hu Y., 2015, "Analysis of Land-Use Emergy Indicators Based on Urban Metabolism: A Case Study for Beijing", *Sustainability*, vol. 7, n°6, p. 7473−7491.

Huang S.-L. et Chen C.-W., 2005, "Theory of urban energetics and mechanisms of urban development", *Ecological Modelling*, vol. 189, n°1-2, p. 49−71.

Huang S.-L., Lai H.-Y. et Lee C.-L,. 2001, "Energy hierarchy and urban landscape system", *Landscape and Urban Planning*, vol. 53, n°1-4, p. 145−161.

Huet P. et Nahon C., 2011, « Le Groupe EDF : des outils originaux pour une action environnementale au coût maîtrisé », *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 2011/2, p. 108−114.

Hughes T., 1993, *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*, Baltimore et Londres, John Hopkins University Press, 474 p.

Hughes T. et Coutard O., 1996, "Fifteen years of social and historical research on large technical systems. An interview with Thomas Hughes", *Flux*, vol. 12, n°25, p. 44−47.

Jaglin S., 2012, « Services en réseaux et villes africaines : l'universalité par d'autres voies? », *L'Espace géographique*, vol. 41, n°1, p. 51-67.

Jaglin S., 2014, *Services d'eau en Afrique subsaharienne : la fragmentation urbaine en question*, Paris, CNRS Éditions, 244 p.

Jaglin S. et Subrémon H., 2015, « La transition énergétique à l'épreuve des logiques d'usages: le cas des petites classes moyennes au Cap », *communication aux 1ères Journées internationales de sociologie de l'énergie*, Toulouse, 25-26 octobre.

Jaglin S. et Verdeil É., 2013, « Énergie et villes des pays émergents: des transitions en question. Introduction », *Flux*, vol. 2013/3, n° 93‑94, p. 7-18.

Jiao W. et Boons F., 2014, "Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 67, p. 14-25.

Joerges B., 1988, "Large technical systems: Concepts and issues", in Mayntz R. et Hughes T. (dir.), *The development of Large Technical Systems*, Framkfurt et Boulder, Westview Press, p. 9-36.

Julian C., 2014, *Creating local energy economies: lessons from Germany*, Respublica Essay, 26 p.

Kaika M., 2005, *City of flows: Modernity, nature, and the city*, Londres, Routledge, 216 p.

Karvonen A. et Heur B., 2014, "Urban laboratories: Experiments in reworking cities" *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 38, n°2, p. 379-392.

Kaufmann V., Joye D., Sager F. *et al.*, 2003, *Coordonner transports et urbanisme*, Lausanne, PPUR presses polytechniques, 220 p.

Kay J., 2002, "On complexity theory, exergy and industrial ecology", in Kibert C.J., Sendzimir J. et Guy B. (dir.), *Construction ecology: Nature as the basis for green buildings*, Londres et New York, Spon Press, p. 72-107.

Kelly A. et Marvin S., 1995, "Demand-side management in the electricity sector: Implications for town planning in the UK", *Land Use Policy*, vol. 12, n°3, p. 205−221.

Kennedy C., Cuddihy J. et Engel-Yan J., 2007, "The changing metabolism of cities", *Journal of industrial ecology*, vol. 11, n°2, p. 43-59.

Kenway S.J., Lant P.A., Priestley A. *et al.*, 2011, "The connection between water and energy in cities: A review", *Water Science and Technology*, vol. 63, n°9, p. 1983-1990.

Kim E.H., 2013, *Les transitions énergétiques urbaines du XIXe au XXIe siècle : de la biomasse aux combustibles fossiles et fissiles à Paris (France)*, Thèse de doctorat, Université Paris 1, 390 p.

Knight F.H., 2012, *Risk, uncertainty and profit*, Mineola, Dover Publications, 382 p.

Koirala B.P., Koliou E., Friege J. *et al.*, 2016, "Energetic communities for community energy: a review of key issues and trends shaping integrated community energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, p. 722-744.

Korhonen J., 2001, "Some suggestions for regional industrial ecosystems - extended industrial ecology", *Eco-Management and Auditing*, vol. 8, n°1, p. 57-69.

Korhonen J., Von Malmborg F., Strachan P.A. *et al.*, 2004, "Management and policy aspects of industrial ecology: an emerging research agenda", *Business Strategy and the Environment*, vol. 13, n°5, p. 289-305.

La Branche S., 2015, « Innovations dans les écoquartiers : quelques leçons pour la gouvernance de la transition énergétique », *VertigO*, Vol. 14, n°3.
https://vertigo.revues.org/15683

Labussière O. et Nadai A., 2015, *L'énergie des sciences sociale*s, Paris, Athéna, 166 p.

Lambert A.J.D. et Boons F., 2002, "Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks", *Technovation*, vol. 22, n°8, p. 471‑484.

Laperche B., Lorek M. et Uzunidis D., 2011, « Crise et reconversion des milieux industrialo-portuaires : dépendance de sentier ou renouveau économique ? Les exemples de Dunkerque (France) et de Gdansk (Pologne) », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 2011/2, p. 341‒368.

Latour B., 1987, *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*, Cambridge (Etats-Unis), Harvard University Press, 288 p.

Latour B., 1996, *Aramis, or, The love of technology*, Cambridge (Etats-Unis), Harvard University Press, 313 p.

Latour B., 2005, *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford, Oxford University Press, 320 p.

Latzko-Toth G., 2009, « L'étude de cas en sociologie des sciences et des techniques », *Notes de recherche du CIRST*, n°2009‑03, 37 p.

Laurent M.-H., 2006, *Les systèmes énergétiques des bâtiments résidentiels de demain*, Rapport de recherche pour le PUCA, 138 p.

Le Bris C. et Coutard O., 2008, « Les réseaux rattrapés par l'environnement? Développement durable et transformations de l'organisation des services urbains », *Flux*, 2008/4, n°74, p. 6-8.

Le Galès P. et Lorrain D., 2003, « Gouverner les très grandes métropoles ? », *Revue française d'administration publique*, vol. 107, n°3, p. 305‑317.

Le Nouveau N., Deroubaix J.-F., Diou G. *et al.*, 2013, « La taxe pour la gestion des eaux pluviales urbaines, un révélateur de l'action publique : analyse des premières expériences en France », *communication à Novatech 2013*, Lyon, Juin 2013, 12 p.

Leduc W.R.W.A. et Van Kann F.M.G., 2013, "Spatial planning based on urban energy harvesting toward productive urban regions", *Journal of Cleaner Production*, vol. 39, p. 180−190.

Lemon M., Pollitt M.G. et Steer S.J., 2013, "Local energy policy and managing the low carbon transition: The case of Leicester", *Energy Strategy Reviews*, Vol. 6, p. 57-63.

Lenhart J., Vliet B. van et Mol A.P., 2015, "New roles for local authorities in a time of climate change: the Rotterdam Energy Approach and Planning as a case of urban symbiosis", *Journal of Cleaner Production*, vol. 107, p. 593-601.

Leprêtre N., 2015, « Pour une sociologie politique de l'énergie: approches théoriques et nouveaux enjeux », *communication au Congrès AFSP 2015*, Aix, 16 p.

Liu J., Goraczko M., James S. *et al.*, 2011, "The Data Furnace: Heating up with cloud computing", Actes du 3ème USENIX Workshop on Hot Topics in Cloud Computing, 5 p.

Lopez F., 2011a, « Vers le grand débranchement », in Rouillard D. (dir.), *L'infraville. Futurs des infrastructures*, Paris, Archibook, p. 117−127.

Lopez F., 2011b, « L'utopie énergétique d'Alexander Pike », *Marnes, documents d'architecture*, n°2, p. 133−167.

Lopez F., 2014, *Le rêve d'une déconnexion. De la maison autonome à la cité auto-énergétique*, Paris, Editions de La Villette, 320 p.

Lopez F., 2017, "Self-sufficiency in urban projects and architecture: toward small-pipe engineering?", in Shove E. et Trentmann F. (dir.), *Infrastructures in practice: the evolution of demand in networked societies*, Cambridge (Etats-Unis), MIT Press, à paraître.

Lopez F. et Bouton A., 2015, « Les micro-systèmes techniques de la transition énergétique », Urbanités, n°6.
http://www.revue-urbanites.fr/6-les-micro-systemes-techniques-de-la-transition-energetique/

Lorrain D. et Stoker G., 1997, *The privatisation of urban services in Europe*, Londres, Routledge, 229 p.

Lorrain D., 1995, « La grande entreprise urbaine et l'action publique », *Sociologie du Travail*, vol. 37, n°2, p. 199−220.

Lorrain D., 2002, « Capitalismes urbains: la montée des firmes d'infrastructures », *Entreprises et Histoire*, 2002/3, n°30, p. 7-31.

Lorrain D., 2005, « Urban capitalisms: european models in competition », *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 29, n°2, p. 231-267.

Lorrain D., 2002, « Les industriels japonais de l'environnement (I) », *Flux*, 2002/4, n°50, p. 80‑90.

Lorrain D., 2011a, *Métropoles XXL en pays émergents*, Paris, Presses de Sciences Po, 410 p.

Lorrain D., 2011b, « La main discrète », *Revue française de science politique*, vol. 61, n°6, p. 1097−1122.

Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C., 2017a, *Villes sobres. Nouveaux modèles de gestion des ressources*, Paris, Presses de Sciences Po, à paraître.

Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C., 2017b, « Introduction. Métropoles en mode sobre et smart. », in Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C. (dir.), *Villes sobres. Nouveaux modèles de gestion des ressources*, Paris, Presses de Sciences Po, à paraître.

Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C., 2017c, « Vers un régime économique sobre : la place des villes. », in Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C. (dir.), *Villes sobres. Nouveaux modèles de gestion des ressources*, Paris, Presses de Sciences Po, à paraître.

Lufkin S., Rey E. et Erkman S., 2015, *Strategies for Symbiotic Urban Neighbourhoods: Towards Local Energy Self-Sufficiency*, Cham, Springer, 65 p.

Luque-Ayala A., 2014, "The smart grid and the interface between energy, ICT and the city", in Dixon T.E., Hunt M., Eames M. *et al.* (dir.), *Urban Retrofitting for Sustainability: Mapping the Transition to 2050*, Londres, Earthscan, p. 159-173.

Maillefert M., 2014, « Les figures du territoire autour des synergies éco-industrielles. Comparaison entre mutualisation et substitution dans le cas dunkerquois. », ommunication au *51ème colloque de l'ASRDLF*, Champs-sur-Marne, 7-9 juillet 2014.

Maillefert M. et Robert I., 2014, « Écologie industrielle, économie de la fonctionnalité, entreprises et territoires : vers de nouveaux modèles productifs et organisationnels ? », *Développement durable et territoires*, vol. 5, n°1.
https://developpementdurable.revues.org/10177

Maillefert M. et Schalchli P., 2010, « Pré-requis pour la construction d'une méthodologie pour l'implantation d'une démarche d'écologie industrielle à l'échelle d'un espace territorial », in Maillefert M, Petit O. et Rousseau S. (dir.), *Ressources, patrimoine, territoires et développement durable*, Ixelles, P.I.E Peter Lang, p. 45-68.

Maisetti N., Decoster E., Guironnet A. *et al.*, 2014, « Une fabrique privée de l'action publique du développement durable ? Le Plan Bâtiment Durable et la rénovation énergétique du parc tertiaire », *communication au séminaire de l'axe « Economie Politique de la Production Urbaine »*, Champs-sur-Marne, 23 septembre 2014.

Maïzia M., 2006, "“HUFF”s model and theory of graphs applied to renewable energy mutualisation", *Actes du colloque Renewables in a changing Climate-Innovation in the Built Environment*, p. 547-552.

Maïzia M., 2007, « L'énergétique urbaine et la morphologie des villes », *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n°103, p. 79-85.

Maïzia M., 2008, *Topologie urbaine : l'énergie de la ville*, Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne, 199 p.

Malézieux J., 1980, « Crise et restructuration de la sidérurgie française [Le groupe Usinor] », *Espace géographique*, vol. 9, n°3, p. 183-196.

Marique A.-F., Penders M. et Reiter S., 2013, "From zero-energy building to zero-energy neighbourhood: urban form and mobility matter", *communication à PLEA2013 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future*, Munich, 10-12 Septembre 2013, 6 p.

Marique A.-F. et Reiter S., 2014, "A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale", *Energy and Buildings*, vol. 82, p. 114−122.

Masboungi A., 2014, *L'énergie au coeur du projet urbain*, Antony, Editions du Moniteur, 160 p.

Mattes J., Huber A. et Koehrsen J., 2015, "Energy transitions in small-scale regions - What we can learn from a regional innovation systems perspective", *Energy Policy*, vol. 78, p. 255-264.

Mayntz R., 1995, « Progrès technique, changement dans la société et développement des grands systèmes techniques », *Flux*, vol. 11, n°22, p. 11−16.

Mayntz R. et Hughes T.P., 1988, *The development of large technical systems*, Framkfurt et Boulder, Westview Press, 300 p.

McFarlane C., 2011a, "Assemblage and critical urbanism", *City*, vol. 15, n°2, p. 204-224.

McFarlane C., 2011b, "The city as assemblage: dwelling and urban space", *Environment and Planning D: Society and Space*, vol. 29, n°4, p. 649-671.

McFarlane C., 2011c, "On context. Assemblage, political economy and structure", *City*, vol. 15, n°3‑4, p. 375−388.

Menanteau P. et Blanchard O., 2014, « Quels systèmes énergétiques pour les écoquartiers ? Une première comparaison France-Europe », *Revue de l'Energie*, n°622, p. 463-471.

Mirata M., 2004, "Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n°8-10, p. 967−983.

Mirata M. et Emtairah T., 2005, "Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: the case of the Landskrona industrial symbiosis programme", *Journal of cleaner production*, vol. 13, n°10, p. 993-1002.

Mitchell T., 2011, *Carbon democracy: Political power in the age of oil*, Londres et New York, Verso, 288 p.

Moine A., 2006, « Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie », *L'Espace géographique*, Tome 35, n°2, p. 115−132.

Monstadt J., 2009, "Conceptualizing the political ecology of urban infrastructures: insights from technology and urban studies", *Environment and planning. A*, vol. 41, n°8, p. 1924-1942.

Monstadt J. et Wolff A., 2015, "Energy transition or incremental change? Green policy agendas and the adaptability of the urban energy regime in Los Angeles", *Energy Policy*, vol. 78, p. 213−224.

Morel N. et Gnansounou E., 2009, *Energétique du bâtiment*, Lausanne, document de cours de l'EPFL, 84 p.

Moss T., 2008, "'Cold spots' of urban infrastructure:'Shrinking'processes in eastern Germany and the modern infrastructural ideal", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 32, n°2, p. 436-451.

Moss T., Becker S. et Gailing L., 2016, "Energy transitions and materiality: Between dispositives, assemblages and metabolisms", Gailing L. et Moss, T. (dir.), *Conceptualizing Germany's Energy Transition*, Londres, Palgrave Macmillan UK, p. 43-68.

Moss T., Naumann M. et Krause K., 2016, "Turning wastewater into energy: challenges of reconfiguring regional infrastructures in the Berlin–Brandenburg region", *Local Environment*, à paraître.

Nadaï A., Labussière O., Debourdeau A. *et al.*, 2015, "French policy localism: Surfing on 'Positive Energie Territories' (Tepos)", *Energy Policy*, vol. 78, p. 281−291.

Nciri A., 2015, « Spatialiser les transitions des systèmes sociotechniques : De la pertinence de l'ancrage territorial dans le processus de diffusion des innovations de niches - comparaison entre deux projets de réseaux de chaleurs en Alberta (Canada) », *communication au séminaire résidentiel du LATTS*, Etretat, 25-26 juin 2015, 30 p.

Newell J.P. et Cousins J.J., 2015, "The boundaries of urban metabolism Towards a political-industrial ecology", *Progress in Human Geography*, vol. 39, n°6, p. 706−728.

Nezeys A., 2013, « Un zonage pluvial pour Paris : réintégrer les eaux pluviales dans le grand cycle de l'eau », *communication NOVATECH 2013*, Lyon, Juin 2013, 10 p.

Odum E.P., 1997, *Ecology: a bridge between science and society*, Sunderland, Sinauer Associates Incorporated, 330 p.

O'Dwyer K.J. et Malone D., 2014, "Bitcoin mining and its energy footprint", *communication au colloque Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies*, Limerick, 26-27 juin 2014, 6 p.

Offner J.-M., 1993, « Le développement des réseaux techniques: un modèle générique », *Flux*, vol. 9, n°13, p. 11-18.

Offner J.-M., 1996, « "Réseaux" et "Large Technical System" : concepts complémentaires ou concurrents ? », *Flux*, vol. 12, n°26, p. 17-30.

Offner J.-M., 1999, "Are there such things as small networks", in Coutard O. (dir.), *The governance of large technical systems*, Londres, Routledge, p. 217-238.

Offner J.-M., 2000, "'Territorial deregulation': local authorities at risk from technical networks", *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 24, n°1, p. 165−182.

Offner J.-M. et Pumain D., 1996, *Réseaux et territoires-significations croisées*, Editions de l'Aube (Territoire), La Tour d'Aigues , 286 p.

Olsen J.K.B., Pedersen S.A. et Hendricks V.F., 2013, *A Companion to the Philosophy of Technology*, Oxford, John Wiley & Sons, 588 p.

O'Rourke D., Connelly L. et Koshland C.P., 1996, "Industrial ecology: a critical review", *Environment and Pollution*, vol. 6, n°2/3, p. 89-112.

Owens S., 1986, *Energy, Planning and Urban Form*, Londres, Pion Limited, 116 p.

Owens S., 1990, "Land use planning for energy efficiency", in Cullingworth J.B. (dir.), *Energy, Land and Public Policy*, New Brunswick et Londres, Transaction Publishers, p. 53-98.

Palle A., 2016, « Les dynamiques d'évolution des réseaux de transport d'électricité européens, des réseaux techniques entre croissance et décroissance », Flux, 2016/3, n°105, p. 18-32.

Pandis Iveroth S., 2014, *Industrial ecology for sustainable urban development - the case of Hammarby Sjöstad*, Thèse de doctorat, Kungliga Tekniska högskolan, 75 p.

Pandis Iveroth S., Vernay A.-L., Mulder K.F. *et al.*, 2013, "Implications of systems integration at the urban level: the case of Hammarby Sjöstad, Stockholm", *Journal of Cleaner Production*, vol. 48, p. 220−231.

Peirce C.S., 1955, "Abduction and induction", in Justus Buchler (dir.), *Philosophical writings of Peirce*, New York, Dover Publications, p.150-156.

Penard T. et Rallet A., 2014, « De l'économie des réseaux aux services en réseaux », *Réseaux*, 2014/2, n°184‑185, p. 71−93.

Perron D., Murphy J. et Hornberger G.M., 2011, "Gaining perspective on the water-energy nexus at the community scale", *Environmental Science & Technology*, vol. 45, n°10, p. 4228-4234.

Petitet S., 2011, « Eau, assainissement, énergie, déchets : vers une ville sans réseaux ? », *Métropolitiques*, 14 décembre 2011.
http://www.metropolitiques.eu/Eau-assainissement-energie-dechets.html

Petitet S., Varaschin D., Schwach P. *et al.*, 2002, « La concession, levier de développement ? », *Entreprises et histoire*, 2002/4, n°31, p. 120−127.

Pflieger G., 2002, « Domination du consommateur et résistance du citoyen », *Flux*, 2002/2, n°48‑49, p. 20−34.

Pflieger G., 2009, « De la naissance des réseaux d'eau à l'hydroélectricité : l'essor du municipalisme en Suisse », *Espaces et Sociétés*, 2009/4, n°139, p. 39−53.

Pflieger G., 2012, "La régulation des communications électroniques en France et en Europe. Entretien avec Nicolas Curien", *Flux*, 2012/1, n°87, p. 51-62.

Pilo F., 2015, *La régularisation des favelas par l'électricité: un service entre Etat, marché et citoyenneté*, Thèse de doctorat, Université Paris Est, 505 p.

Pollard J., 2017, « La sobriété énergétique à Genève : une gouvernance politique des services urbains », in Lorrain D., Halpern C. et Chevauché C. (dir.), *Villes sobres. Nouveaux modèles de gestion des ressources*, Paris, Presses de Sciences Po, à paraître.

Poupeau F.-M., 2004, « Un siècle d'intervention publique dans le secteur de l'électricité en France », *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, n°77, p. 6-15.

Poupeau F.-M., 2007, « La fabrique d'une solidarité nationale », *Revue française de science politique*, vol. 57, n°5, p. 599−628.

Raffestin C., 1980, *Pour une géographie du pouvoir*, Paris, Librairies Techniques, 249 p.

Rankin K.N., 2011, "Assemblage and the politics of thick description", *City*, vol. 15, n°5, p. 563-569.

Ratti C., Baker N. et Steemers K., 2005, "Energy consumption and urban texture", *Energy and Buildings*, vol. 37, n°7, p. 762−776.

Renou Y., 2013, « Écologie politique urbaine, métabolisme et résilience : considérations théoriques et implications méthodologiques », in Diemer A., Figuière C. et Pradel M. (dir.), *Écologie politique vs écologie industrielle*, Clermont-Ferrand, Oeconomia, p. 110−129.

Rifkin J., 2003, *The hydrogen economy: The creation of the worldwide energy web and the redistribution of power on earth*, Londres, Tarcher, ville, 304 p.

Rifkin J., 2012, *La troisième révolution industrielle: comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*, Paris, Éditions Les liens qui libèrent, 380 p.

Ringler C., Bhaduri A. et Lawford R., 2013, "The nexus across water, energy, land and food (WELF): Potential for improved resource use efficiency?", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, n°6, p. 617-24.

Roberts B.H., 2004, "The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n°8-10, p. 997−1010.

Rocher L., 2006, *Gouverner les déchets. Gestion territoriale des déchets ménagers et participation publique*, Thèse de doctorat, Université François Rabelais-Tours, 445 p.

Rocher L., 2008, « Les contradictions de la gestion intégrée des déchets urbains : l'incinération entre valorisation énergétique et refus social », *Flux*, 2008/4, n°74, p. 22−29.

Rocher L., 2013, « Le chauffage urbain dans la transition énergétique: des reconfigurations entre flux et réseau », *Flux*, 2013/2, n°92, p. 23-35.

Rocher L., 2014, "Climate-Energy Policies, heat provision, and urban planning: a renewal of interest in district heating in France: insights from national and local levels", *Journal of Urban Technology*, vol. 21, n°3, p. 3−19.

Rochlin G.I., 2001, "Networks and the subversion of choice: an institutionalist manifesto", *Journal of Urban Technology*, vol. 8, n°3, p. 65-96.

Rohracher H. et Späth P., 2014, "The interplay of urban energy policy and socio-technical transitions: The eco-cities of Graz and Freiburg in retrospect", *Urban Studies*, vol. 51, n°7, p. 1415-1431.

Ronai S., 2010, « Marseille : une métropole en mutation », *Hérodote*, 2009/4, n°135, p. 128−147.

Rose M.H., 1988, "Urban gas and electric systems and social change, 1900-1940", in Dupuy G. et Tarr J.A. (dir.), *Technology and the Rise of the Networked City in Europe and America*, Philadelphia, Temple University Press, p. 229-245.

Rumpala Y., 2013, « Formes alternatives de production énergétique et reconfigurations politiques. La sociologie des énergies alternatives comme étude des potentialités de réorganisation du collectif », *Flux*, 2013/2, n°92, p. 47-61.

Rutherford J., 2008, "Unbundling Stockholm: The networks, planning and social welfare nexus beyond the unitary city", *Geoforum*, vol. 39, n°6, p. 1871−1883.

Rutherford J. et Coutard O., 2014, "Urban energy transitions: places, processes and politics of socio-technical change", *Urban Studies*, vol. 51, n°7, p. 1353-1377.

Rutherford J. et Coutard O., 2015, *Beyond the Networked City. Infrastructure reconfigurations and urban change in the North and South*, Londres, Routledge, 281 p.

Rutherford J. et Jaglin S., 2015, "Introduction to the special issue - Urban energy governance: Local actions, capacities and politics", *Energy Policy*, vol. 78, p. 173-178.

Rydin Y. et Tate L., 2016, *Actor Networks of Planning: Exploring the Influence of Actor Network Theory*, Londres, Routledge, 269 p.

Sack R.D., 1986, *Human territoriality: its theory and history*, Cambridge, Cambridge University Press Archive, 256 p.

Saint-André B., 2008, « L'énergie intelligente dans la ville durable : Perspectives d'évolution du métier d'énergéticien », *Flux*, 2008/4, n°74, p. 68−76.

Salat S. et Bourdic L., 2012, "Urban Complexity, Efficiency and Resilience" in Morvaj Z. (dir.), *A bridge to low carbon economy*, Rijeka, Intech, p. 25-44.

Salat S. et Bourdic L., 2011, "Scale hierarchy, exergy maximisation and urban efficiency", *communication au National Congress on Energy and Spatial Planning*, Delft, 22 septembre 2011.

Salat S., Bourdic L. et Labbe F., 2013, "Urban forms and energy transition in French cities", *Rapport pour la Caisse des Dépôts*, 274 p.

Sander A., 2002, « Avant-propos », *Flux*, 2002/4, n°50, p. 4−5.

Scherrer F., 2010, « Quelle ville après le réseau ? Les perspectives ouvertes par l'essoufflement d'un modèle universel de gestion urbaine », in Augustin J.-P., Favory M.(dir.), *50 questions à la ville : comment penser et agir sur la ville*, Bordeaux, Maison des sciences de l'homme d'Aquitaine, p. 323-328.

Scherrer F., 1992, *L'égout, patrimoine urbain: l'évolution dans la longue durée du réseau d'assainissement de Lyon*, Thèse de doctorat, Université Paris-Est Créteil, 481 p.

Schiller F., Penn A., Druckman A., Basson L. et Royston K., 2014, "Exploring Space, Exploiting Opportunities. The case for analyzing space in industrial ecology", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 18, n°6, p. 792−798.

Schmidt D., 2009, "Low exergy systems for high-performance buildings and communities", *Energy and Buildings*, vol. 41, n°3, p. 331-336.

Scott C.A., Crootof A. et Kelly-Richards S., 2016, "The urban water–energy nexus: Building resilience for global change in the 'Urban Century'", in Hettiarachchi H. et Ardakanian R. (dir.), *Environmental Resource Management and the Nexus Approach*, Cham, Springer International Publishing, p. 113-140.

Sioshansi F.P., 1992, "Demand-side management and environmental externalities: Ramifications on utility resource planning", *Utilities Policy*, vol. 2, n°4, p. 320−329.

Souami T., 2007, « L'intégration des technologies énergétiques dans l'action urbaine », *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n°103, p. 7-17.

Souami T., 2009, *Ecoquartiers, secrets de fabrication : Analyse critique d'exemples européens*, Paris, Les Carnets de l'Info, 208 p.

Souami T., 2012, « Récupération et utilisation de la pluie : un éclairage sur l'enfermement décisionnel et économique de la gestion de l'eau », *Flux*, 2012/2, n°88, p. 7−18.

Späth P., 2005, "District heating and passive houses—interfering strategies towards sustainable energy systems", *Actes des ECEEE 2005 Summer Study*, p. 339-344.

Steemers K., 2003, "Energy and the city: density, buildings and transport", *Energy and Buildings*, vol. 35, n°1, p. 3−14.

Stein C., Barron J. et Moss T., 2014, "Governance of the nexus: from buzz words to a strategic action perspective", *Nexus Network Think Piece Series*, Paper 003, 23 p.

Sterr T. et Ott T., 2004, "The industrial region as a promising unit for eco-industrial development—reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, n°8-10, p. 947-965.

Summerton J., 1992, *District heating comes to town: The social shaping of an energy system*, Linköping, Linköping Studies in Arts and Science, 319 p.

Summerton J., 1994, *Changing Large Technical Systems*, Boulder, Westview Press, 350 p.

Swan M., 2015, *Blockchain: Blueprint for a new economy*, Sebastopol, O'Reilly Media, 152 p.

Swyngedouw E., 1996, "The city as a hybrid: on nature, society and cyborg urbanization", *Capitalism Nature Socialism*, vol. 7, n°2, p. 65-80.

Swyngedouw E., 2006, "Metabolic urbanization: the making of cyborg cities", in Heynen N.C., Kaika M. et Swyngedouw E. (dir.), *In the nature of cities: Urban political ecology and the politics of urban metabolism*, Londres et New York, Routledge, p. 21-40.

Swyngedouw E. et Heynen N.C., 2003, "Urban Political Ecology, Justice and the Politics of Scale", *Antipode*, vol. 35, n°5, p. 898−918.

Tardieu C., 2015, *Transition énergétique dans les projets urbains : conditions de mise en oeuvre*, Thèse de doctorat, Université de Lille I, 426 p.

Tarr J.A., 1984, "The evolution of the urban infrastructure in the nineteenth and twentieth centuries", in Hanson R. (dir.), *Perspectives on Urban Infrastructure*, Wasington, National Academy Press, p. 4-66.

Tonkiss F., 2011, "Template urbanism: four points about assemblage", *City*, vol. 15, n°5, p. 584-588.

Tudor T., Adam E. et Bates M., 2007, "Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review", *Ecological Economics*, vol. 61, n°2-3, p. 199−207.

Van den Dobbelsteen A., Wisse K., Doepel D. *et al.*, 2013, "REAP2: New concepts for the exchange of heat in cities", *SASBE 2012: 4th CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments*, Sao Paulo, 27-30 June 2012, 10 p.

Van Der Vleuten E., 2013, "Large Technical Systems", in Olsen J.K.B., Pedersen S.A. et Hendricks V.F. (dir.), *A Companion to the Philosophy of Technology*, Oxford, John Wiley & Sons, p. 218-222.

Van Leeuwen M.G., Vermeulen W.J. et Glasbergen P., 2003, "Planning eco-industrial parks: an analysis of Dutch planning methods", *Business Strategy and the Environment*, vol. 12, n°3, p. 147-162.

Vandevyvere H. et Stremke S., 2012, "Urban Planning for a Renewable Energy Future: Methodological Challenges and Opportunities from a Design Perspective", *Sustainability*, vol. 4, n°6, p. 1309-1328.

Varlet D., 2012, *Enjeux, potentialités, contraintes de l'écologie industrielle. Le cas de Dunkerque*, Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale.

Verbong G.P. et Geels F.W., 2010, "Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 77, n°8, p. 1214-1221.

Verdeil E., 2015, *Ecologie politique des énergies urbaines : villes sud-méditerranéennes en tension*, Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Lumière Lyon 2, 283 p.

Verhage R., Linossier R., Bouly M. *et al.*, 2008, « L'ajustement des enjeux économiques, sociaux et physiques dans les projets urbains », *Rapport du programme de recherche POPSU - Plate-forme d'Observation des Projets et Stratégies Urbaines*, 166 p.

Vernay A.-L., 2013, *Circular Urban Systems: Moving Towards Systems Integration*, Thèse de doctorat, Delft University of Technology, 394 p.

Veyret Y. et Reghezza M., 2006, « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité », *Annales des mines*, Responsabilité et environnement, n°43, p. 9-13.

Viel L., Lizarralde G., Maherzi F.A. *et al.*, 2012, « L'influence des parties prenantes dans les grands projets urbains », *Cybergeo*, 26 avril 2012 .
https://cybergeo.revues.org/25310

Walker G. et Cass N., 2007, "Carbon reduction, 'the public' and renewable energy: engaging with socio-technical configurations", *Area*, vol. 39, n°4, p. 458-469.

Williams J., Bouzarovski S. et Swyngedouw E., 2014, "Politicising the nexus: nexus technologies, urban circulation, and coproduction of water-energy", *Nexus Network Think Piece Series*, Paper 001, 27 p.

Wolman A., 1965, "The metabolism of cities", *Scientific American*, vol. 213, n°3, p. 178−190.

Yin R.K., 2013, *Case study research: Design and methods*, Londres, Sage publications, 312 p.

Yuventi J. et Mehdizadeh R., 2013, "A critical analysis of power usage effectiveness and its use in communicating data center energy consumption", *Energy and Buildings*, vol. 64, p. 90-94.

Zelem M.-C., 2005, « Maîtrise de la demande d'énergie et société de consommation », *Les cahiers de Global Chance*, n°16, p. 111-127.

Zelem M.-C., 2012, « Les énergies renouvelables en transition: de leur acceptabilité sociale à leur faisabilité sociotechnique », *Revue de l'énergie*, vol. 610, p. 1-8.

Zembri P., 2005, « Structure des réseaux de transport et déréglementation », *Flux*, 2005/4, n°62, p. 21−30.

Zimmermann J.-B., 2005, « Entreprises et territoires : entre nomadisme et ancrage territorial », *La Revue de l'Ires*, vol. 1, n°47, p. 21−36.

B. Ressources institutionnelles, opérationnelles et administratives

ADEME, 2008, « Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum », *Rapport public*, 27 p.

ADEME, 2013, « Appel à projet de recherche (APR) « vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 » », *Texte d'appel à projets*, 13 p.

ADEME, 2014a, « Appel à projets de recherche (APR) “Energie durable : production, gestion et utilisation efficaces” Edition 2015 », *Texte d’appel à projets*, 29 p.

ADEME, 2014b, « L’effacement des consommations électriques résidentielles », *Les avis de l’ADEME*, 5 p.

ADEME, 2014c, « Le Fonds chaleur en bref ».
http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref

ADEME, 2015a, « Fonds Chaleur 2015 : Secteur Valorisation de chaleur “fatale” », *Fiche descriptive et d’instruction*, 14 p.

ADEME, 2015b, « Appel à projets de recherche (APR) “Energie durable : production, gestion et utilisation efficaces” Edition 2016 », *Texte d’appel à projets*, 29 p.

ADEME, 2015c, « La chaleur fatale industrielle », *Rapport public*, 40 p.

ADEME Ile de France, 2015, « Etude des potentiels de production et de valorisation de chaleur fatale en Ile-de-France », *Rapport public*, 20 p.

ADEME Nord Pas de Calais, 2012, « Inventaire du gisement régional des énergies fatales perdues du Nord pas de Calais », *Document de présentation*, 39 p.

ALEC Plaine Commune, 2013, « Les Data Centers sur Plaine Commune - Note d’avis », *Rapport public*, 27 p.

APUR, 2015, « Un Plan Local Energie pour la Métropole du Grand Paris. Contribution à l’élaboration du Plan Climat Air Energie Métropolitain », *Rapport public*, 116 p.

Atelier énergie et territoires, 2015, « Pour un Territoire à Energie Globalement Positive. Rencontre avec Franck Boutté », *Atelier Energie et Territoires*, juin 2015.
http://www.edfvilledurable.fr/atelierenergieetterritoires/pour-un-territoire-a-energie-globalement-positive-rencontre-avec-franck-boutte/

Bouygues Immobilier et Deloitte, 2014, « A Lyon-Confluence, Bouygues Immobilier et Deloitte signent la location de 4 900 m^2 de bureaux dans l’ilot à énergie positive HIKARI », *Communiqué de presse*, 24 juin 2014, 1 p.

Celsius City, 2013, “Kick off CELSIUS”, *Communiqué de presse*, 10 juin 2013, 1 p.

CEREMA, 2012, « Développement des réseaux de chaleur renouvelable : 4 axes », *Réseaux de chaleur et territoires*, Février 2012.
http://reseaux-chaleur.cerema.fr/developpement-des-reseaux-de-chaleur-renouvelable-4-axes

Certu, 2010, « Stationnement - Eléments juridiques - Fiche n°2 : La mutualisation du stationnement », *Editions du Certu, Collection Essentiel*, 8 p.

CETE de l’Ouest, 2012, « Effets de la densité et de la mixité sur la pertinence énergétique d’un réseau de chaleur - Etude théorique », *Rapport public*, 49 p.

CRE, 2016, « Avis sur le projet d’ordonnance relative à l’autoconsommation d’électricité », *Délibération*, 13 juillet 2016.

DRIEA d'Ile-de-France, 2012, « Réseaux de chaleur urbains en Ile-de-France » *Rapport public*, 252 p.

Efficacity, 2015, « Institut de Recherche et Développement pour la Transition Energétique de la Ville », *Plaquette de présentation*, 20 p.

Eiffage, 2014, « Des villes et des hommes. Contributions du laboratoire Phosphore d'Eiffage à la ville durable », *Rapport public*, 124 p.

Etablissement Public Paris-Saclay, 2014, « Le réseau de chaleur et de froid du campus urbain Paris-Saclay », *Plaquette de présentation*, 6 p.

Euroméditerranée et Eiffage, 2015, « Ilot démonstrateur Allar. L'écoquartier du futur à vivre au présent », *Plaquette de présentation*, 9 p.

FNCCR, 2013, « Distribution d'électricité et gestion des pointes », *Compte-rendu d'atelier du congrès de la FNCCR*, 10 p.

Gemeente Amsterdam, 2015, "Data centres establishment policy. The Amsterdam Region as Green Data Port", *Document de planification*, 63 p.

Hespul, 2013, « Autoconsommation : opportunité ou vraie fausse piste ? », *Note de décryptage et de positionnement*, 12 p.

Hidalgo A., 2013, « Paris qui ose. Mon projet pour Paris 2014-2020 », *Programme politique*, 196 p.

IFPEB, 2016, « Le BEPOS 2.0 sera (surtout) un Bâtiment à énergie et puissance optimisée et solidaire ! », *Rapport public*, 24 p.

Incubateur Energie, 2015, « Appel à Projets Efficacité Énergétique dans l'Industrie », Texte d'appel à projet.
http://energie2020.fr/incubateur/appel-projets-efficacite-energetique-dans-lindustrie/

La Fabrique de la Cité, 2014, « Quel rôle pour les villes dans la transition énergétique ? », *Rapport* public, 4 p.

MEDDE, 2014, « Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable », *Rapport public*, 194 p.

Open Utility, 2016, "A glimpse into the future of Britain's energy economy", *Rapport public*, 25 p.

Peylet R., 2014, « La ville durable, une politique publique à construire », *Rapport au Premier Ministre*, 149 p.

Poignant S. et Sido B., 2010, « Rapport Poignant-Sido - Groupe de travail sur la Maîtrise de la pointe électrique », *Rapport au Ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer*, 35 p.

Plan Bâtiment Durable, 2013, « Embarquement immédiat pour un bâti sobre, robuste et désirable – Rapport d'étape du groupe – « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 » » *Rapport public*, 37 p.

PUCA, 2011, « Appel à proposition de recherches et expérimentation : "BEPOS, Smart grids, territoires et habitants" », *Texte d'appel à projets*, 26 p.

Région Bretagne et Préfet de la région Bretagne, 2013, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région Bretagne », *Document de planification*, 226 p.

Région Haute-Normandie et Préfet de la région Haute-Normandie, 2013, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région Haute-Normandie », *Document de planification*, 342 p.

Région Ile de France et Préfet de la région Ile de France, 2012, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région Ile de France », *Document de planification*, 419 p.

Région Nord pas de Calais et Préfet de la région Nord Pas de Calais, 2012, « Schéma Régional Climat Air Energie de la Région Nord Pas de Calais », *Document de planification*, 243 p.

Région PACA et Préfet de la région PACA, 2013, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région PACA », *Document de planification*, 383 p.

Région Picardie et Préfet de la région Picardie, 2012, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région Picardie », *Document de planification*, 123 p.

Région Rhône-Alpes et Préfet de la région Rhône-Alpes, 2014, « Schéma Régional Climat Air Energie de la région Rhône-Alpes », *Document de planification*, 140 p.

SER-SOLER, 2016, « Le gouvernement propose une ordonnance qui pourrait contribuer à accélérer le développement de l'usage de l'électricité solaire photovoltaïque en autoconsommation », *Communiqué de presse*, 14 juin 2016.
http://www.enr.fr/actualite/282/Le-gouvernement-propose-une-ordonnance-qui-pourrait-contribuer-a-accelerer-le-developpement-de-l-usage-de-l-electricite-solaire-photovoltaique-en-autoconsommation

Smart Building Alliance, 2015, « L'actualité mensuelle de la *Smart Building Alliance*, n°2 », *Bulletin d'information*, Janvier 2015, 7 p,
http://www.smartbuildingsalliance.org/wp-content/uploads/2015/01/e-SBA2_janv15.pdf

UNEP, 2015, "District energy in cities", *Rapport public*, 138 p.

Unibail Rodamco, 2015, « Européa. Bruxelles donne rendez-vous au monde », *Dossier de presse*, 25 p.

C. Articles de presse – par ordre de parution

"*London data center to power local community*", Cnet, 16/04/2009

« Se chauffer grâce à l'énergie des serveurs informatiques », Le Monde, 01/07/2013

« Les centres de données informatiques avalent des quantités croissantes d'énergie », Le Monde, 01/07/2013

« La centrale biomasse de Pierrelatte, l'absurde projet inutile d'AREVA », Reporterre, 18/01/2014

« IssyGrid, le défi, les risques et les inconnues », La Tribune, 08/10/2014

« A terme, la géothermie pourrait chauffer tout le Val d'Europe », Le Parisien, 23/02/2015

« À Marseille, Eiffage lance son écoquartier du futur », Le Moniteur.fr, 10/04/2015

"*Heating houses with 'nerd power'*", BBC News Magazine, 21/05/2015

« Interxion investit 200 millions sur l'ancien site d'Eurocopter », Les Echos, 02/06/2015

« Val d'Europe recycle la chaleur des serveurs », Les Echos, 02/06/2015

« Une ordonnance favorisant l'autoconsommation en route vers le JO », GreenUnivers, 15/06/2016

« Smartseille, le village urbain connecté », Les Echos, 25/06/2015

« Ordonnance autoconsommation : la CRE favorable, mais… », GreenUnivers, 21/07/2016

« [Avis d'expert] Que dit l'ordonnance autoconsommation ? », GreenUnivers, 29/07/2016

« L'énergie des data centers », La Tribune, 10/09/2015

« Energies vertes : ce que va changer la fin des tarifs d'achat », Les Echos, 20/09/2015

« Bienvenue dans le quartier laboratoire », La Provence, 24/09/2015

« Euroméditerranée, une (re)conquête de l'espace », La Tribune, 15/10/2015

« Defab, cette start-up qui fournit l'eau chaude grâce au cloud », Challenges, 04/11/2015

« Un réseau de chaud et de froid qui multiplie les sources d'énergie », La Gazette des Communes, 09/11/2015

"*Amazon, data center turn hot idea into cool technology*", The Seattle Times, 12/11/2015

« Smartseille : l'écoquartier 3.0 », Le Point, 03/12/2015

« Paris : quand les data centers chaufferont la ville… », 20minutes, 04/03/2016

"*Lessons from a solar startup's failure"*, USA TODAY, 17/05/2016

D. Pages internet – par ordre de mention dans la thèse

Journal télévisé de France 2 du 23 novembre 2015, sur le site internet de France Télévision, consulté la dernière fois le 07/10/2016

http://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/13-heures/jt-de-13h-du-lundi-23-novembre-2015_1178337.html

Galerie des solutions COP21, page trophées solutions climat, consultée la dernière fois le 05/10/2016
http://www.lagalerie-cop21.com/les-trophees-solutions-climat/

Présentation des thématiques du pôle énergie 2020 consultable en ligne, consultée la dernière fois le 18/01/2016
http://energie2020.fr/energie2020/thematique

Entretien avec le président de l'institut, Pierre-Antoine Grislain, publié en ligne le 3 octobre 2014 sur le site internet d'EDF L'Observatoire Energies d'Entreprises intitulé « Efficacité énergétique : synergies entre recherche et industrie ». Consulté la dernière fois le 18/01/2016.
http://www.observatoire-energies-entreprises.fr/synergies-energetiques-entre-recherche-et-industrie/

Appel à candidature DataCity, consulté la dernière fois le 19/01/2016
http://www.datacity.paris/

Page « mutualisation des flux énergétiques » de l'appel à candidature DataCity, consultée la dernière fois le 19/01/2016
http://www.datacity.paris/mutualisation/

Page « qui sommes-nous » du site internet de Dalkia, consultée la dernière fois le 17/03/2016
http://www.dalkia.fr/fr/groupe/

Page « Prix du carbone » du site internet du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, consultée la dernière fois le 16/09/2016.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-prix-du-carbone.html

Page d'accueil du site internet des parcs Villages Nature, consultée le 17/06/2016
http://www.villagesnature.com

Page consacrée à Hikari sur le site internet *corporate* de Bouygues Immobilier, consultée la dernière fois le 23/05/2016
http://www.bouygues-immobilier-corporate.com/activites/gerard-collomb

Intervention d'Eric Mazoyer sur la WebTV GreenTech Republic, 28/11/2012 (plus en ligne)

Page « Qui sommes-nous ? » du site internet de l'IFPEB, consultée la dernière fois le 01/08/2016
http://www.ifpeb.fr/qui-sommes-nous/missions-et-objectifs/

Page « Territoires à énergie positive » sur le site du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (consultée la dernière fois le 12/10/2016) :
http://www.developpement-durable.gouv.fr/Un-territoire-a-energie-positive.html

Glossaire de l'opération de La Confluence, sur le site internet de l'opération, consulté la dernière fois le 15/09/2016
http://www.lyon-confluence.fr/fr/glossaire/

Description de l'appel à projets DIVD sur le site internet du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, consultée la dernière fois le 01/06/2016
www.developpement-durable.gouv.fr/L-appel-a-projet-demonstrateurs.html#Pr_sentation_de_l_appel___projet_d_monstrateurs_industriels_pour_la_ville_durable

Description du projet *Lyon Living Lab* sur le site internet du PUCA, consultée la dernière fois le 01/06/2016
http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/divd-lyon-living-lab-a819.html

Page « Incertitudes, certitudes » du glossaire sur le site internet de Géo Confluences, consulté la dernière fois le 15/09/2016
http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/incertitudes-certitudes

Page du projet « La Ruche », sur le site internet de l'exposition du concours « Réinventer Paris », consulté la dernière fois le 27/09/2016 :
http://reinventerparis.pavillon-arsenal.com/projets/2692-la-ruche-poterne-peupliers.html

Page *"Open District Heating as a new business model"* sur le site internet de la marque *Open District Heating*, consultée la dernière fois le 13/07/2016
http://www.opendistrictheating.com/join-the-discussion/open-district-heating-new-b/usiness-model/

Page *"References"* du site internet de la marque *Open District Heating*, consultée la dernière fois le 01/08/2016
http://www.opendistrictheating.com/pilots/

Page de l'offre sonnenCommunity sur le site internet de l'offre sonnenbatterie, consultée la dernière fois le 21/07/2016
https://www.sonnenbatterie.de/en/sonnenCommunity

Site internet du projet cossmic, consulté la dernière fois le 21/07/2016
http://cossmic.eu/

Site internet de l'entreprise Yeloha, consulté la dernière fois le 28/09/2016
http://www.yeloha.com/

Site internet du projet *Transactive Grid*, consulté la dernière fois le 28/09/2016
http://transactivegrid.net/

Page internet du projet Daisee, consultée la dernière fois le 21/07/2016.
https://hackaday.io/project/10879-internets-of-energy-call-me-daisee

Site internet de l'entreprise Nerdalize, consulté la dernière fois le 26/07/2016
http://www.nerdalize.com/

Site internet du projet Open Immeuble, consulté la dernière fois le 07/10/2016
http://www.open-immeuble.com/

Page internet du projet OpenMicroMetha, consultée la dernière fois le 02/08/2016
http://www.transitions2.net/catalogue/view/1005/openmicrometha

E. Textes réglementaires – par ordre de mention dans la thèse

LOI n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, publiée au journal officiel de la République Française le 18 août 2015.

Décret n°2014-1363 du 14 novembre 2014 visant à transposer l'article 14.5 de la directive 2012/27/UE relatif au raccordement d'installations productrices d'énergie fatale à des réseaux de chaleur.

Directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique, publiée au journal officiel de l'Union Européenne le 14/11/2012.

LOI n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles, publiée au journal officiel de la République Française le 28 janvier 2014.

BOI-TVA-LIQ-30-20-20-20121030, Instruction fiscale du 30 octobre 2012 relative à la TVA à taux réduit pour les réseaux de chaleur.

Art. L. 315-3, Ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité, publiée au journal officiel de la République Française le 28 juillet 2016.

F. Liste des documents mobilisés pour les études de cas

1. Dunkerque

1.1.Documents d'archives – par ordre alphabétique puis chronologique

1.1.1. Archives de la Communauté Urbaine de Dunkerque

ARCELOR Atlantique et Lorraine, Energie Grand Littoral et Dalkia France, s.d., « Protocole d'accord », *Protocole d'accord non signé*.

ARCELOR Atlantique et Lorraine, 2006, *Courrier du Directeur de l'établissement de Dunkerque, M. Jean Jouet, au président du SICURD, M. Michel Delebarre*, 29 juin 2006.

Chambre régionale des comptes du Nord Pas de Calais, 1999, « Lettre d'observation », *Document administratif*.

Dalkia, 2013, « Réseau de chauffage urbain – Raccordement au CVE de Dunkerque », *Document de présentation à destination des acteurs publics locaux*.

Energie Grand Littoral, 2006, « 2nd captation Arcelor et opération Neptune 2 », Courrier du gérant d'Energie Grand Littoral, M. Serge Burtin, au Président du SICURD, 18 janvier 2006.

Energie Grand Littoral, 2007, « Compte rendu de l'exercice 2007 – compte rendu technique », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2007, « Compte rendu de l'exercice 2007 – compte rendu financier », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2008, « Compte rendu de l'exercice 2008 – compte rendu technique », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2008, « Compte rendu de l'exercice 2008 – compte rendu financier », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2009, « Compte rendu de l'exercice 2009 – compte rendu technique », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2009, « Compte rendu de l'exercice 2009 – compte rendu financier », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2010, « Compte rendu de l'exercice 2010 – compte rendu technique », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2010, « Compte rendu de l'exercice 2010 – compte rendu financier », *Rapport d'exploitation*.

Energie Grand Littoral, 2010, « Extension du réseau sur Saint Pol Sur Mer », *Document de présentation à destination des acteurs publics locaux*, mars 2010.

Energie Grand Littoral, 2011, « Compte rendu de l'exercice 2011 – compte rendu technique ».

Energie Grand Littoral, 2012, « Compte rendu de l'exercice 2012 – compte rendu technique ».

Hexa Ingénierie, Ville de Dunkerque, Communauté Urbaine de Dunkerque, 2013, « Etude pour le développement du chauffage urbain dans la région de Dunkerque », *Rapport d'étude*, mars 2013.

SICURD, 1991, « Concession du réseau de chaleur de Dunkerque », *Rapport d'étude*, 22 janvier 1991.

SICURD et Hexa Ingénierie, 1994, « Etude prospective sur l'évolution du réseau de chauffage urbain », *Rapport d'étude*, juillet 1994.

SICURD, 2001-2006, *Comptes rendus de réunions mensuelles de suivi de l'exploitation*.

SICURD, 2003, « Réseau de chaleur de Dunkerque », *Document d'information*.

SICURD, 2004, *Courrier du Président du SICURD, M. Michel Delebarre, au directeur général d'ARCELOR Sollac Atlantique, M. Denis Hugelmann*, 17 mai 2004.

SICURD, 2005, « Fiche 1 : le réseau de chaleur de Dunkerque Saint Pol Sur Mer », *Ddocument d'information*.

SICURD, 2005, « Extrait du registre aux délibérations, 17 février 2005 », *Document administratif*.

SICURD, 2005, *Compte rendu de réunion du 24 janvier 2005 entre SOLLAC, Energie Grand Littoral et le SICURD*.

SICURD, 2006, « Séance du comité syndical en date du 16 février 2007, délibération n°6 », *Document administratif*.

SICURD, 2006, « Seconde récupération de chaleur », *Courrier du Président du SICURD, M. Michel Delebarre, au directeur d'ARCELOR Atlantique et Lorraine, M. Jean Jouet*, 15 mai 2006.

SICURD, 2006, *Courrier du Président du SICURD, M. Michel Delebarre, au Directeur de l'établissement de Dunkerque d'ARCELOR Atlantique et Lorraine*, 21 août 2006

SICURD, 2010, *Compte-rendu de réunion du 21 juin 2010*.

SOLLAC ATLANTIQUE et Dalkia, 2001, « Contrat de fourniture d'énergie », *Document à valeur juridique*.

Ville de Dunkerque, 1982, « Syndicat Intercommunal pour la création d'un réseau de chauffage urbain », *Courrier du Secrétaire Général de la Ville, M. Pierre Grave, au Directeur Général des Services Techniques, M. Michel Massein, et au Directeur Administratif, M. Jean-Pierre Flinois*, 3 novembre 1982.

Ville de Dunkerque, 2004, *Courrier électronique interne*, 14 décembre 2004.

Ville de Dunkerque, 2011, « Avenant N°8 au contrat de concession de production et de distribution de l'énergie calorifique », *Document à valeur juridique*.

1.1.2. Archives de la Ville de Dunkerque

Ville de Dunkerque, 2009, « Réseau de chauffage urbain de Dunkerque France », *Rapport de présentation aux Global District Energy Awards à Copenhague*, 3 novembre 2009.

1.2.Documents disponibles en ligne – par ordre alphabétique puis chronologique

Consultés la dernière fois le 11/10/2016

Assemblée des Communautés de France, 2011, « Les communautés au cœur des politiques locales de l'énergie », *Rapport public.*
http://www.adcf.org/files/Etude_AdCF-Politiques-Energie_2011.pdf

CCI Côte d'Opale, n.d., « Définition du projet de territoire de la CCI Côte d'Opale à l'horizon 2030 », *Plaquette de présentation.*
http://fr.calameo.com/read/00282096081271964cb69

Conseil de développement durable de l'Agglomération Dunkerquoise, 2008, Compte rendu de la séance plénière du 27 novembre 2008, *Document administratif*, (plus en ligne).

Communauté Urbaine de Dunkerque, n.d., « Etude pour le développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque », *Document de présentation*.
http://docplayer.fr/13184728-Etude-pour-le-developpement-du-chauffage-urbain-de-la-region-de-dunkerque.html

Communauté Urbaine de Dunkerque, 2006, « Montée en pression », in *Le Mag*, n°100, avril 2006, p. 14.
http://docplayer.fr/8654893-Communaute-urbaine-le-mag-biocarburants-dunkerque-renforce-son-pole-energetique-page-18-memoire-logement-aides-a-la-pierre-dechets.html

Communauté Urbaine de Dunkerque, 2011, « Procès-verbal de séance du conseil de communauté du 13 octobre 2011 », *Document administratif*, (plus en ligne).

Communauté Urbaine de Dunkerque, 2015, « Stratégie Territoriale Aménagement Rénovation Transition Energétique et Réseaux », *Document de présentation aux Assises de l'Energie 2015*.

http://docplayer.fr/11112395-Dunkerque-un-noeud-europeen-de-l-energie-1er-centre-nucleaire-europeen-de-production-d-electricite-ligne-ifa-1er-port-charbonnier-francais.html

Communauté Urbaine de Dunkerque et ADEME, 2015, « Signature du protocole de partenariat entre l'ADEME et la Communauté Urbaine de Dunkerque sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale industrielle », *Dossier de presse*, 29 septembre 2015, (plus en ligne).

Dalkia, n.d., « Les nouvelles gouvernances environnementales de l'énergie », *Document de présentation*.
http://docplayer.fr/14820309-Les-nouvelles-gouvernances-environnementales-de-l-energie.html

Dalkia, 2014, « Créer et partager le progrès énergétique », *Plaquette de présentation*, (plus en ligne).

Dunkerque Port, 2009, « Plan d'aménagement et de développement durable », *Document de planification*.
http://www.dunkerque-port.fr/fr/capitainerie/developpement-durable-dunkerque-port.html

Ville de Dunkerque, 2013, « Plan Climat Energie Territorial », *Document de planification*.
http://www.ville-dunkerque.fr/fileadmin/user_upload/Grands-projets/plan-climat/2013-06-21-Plan-Climat-Municipal.pdf

1.3.Documents mis à disposition par les acteurs – par ordre alphabétique puis chronologique

CCI Côte d'Opale, n.d., « La Côte d'Opale, terre et mer d'énergies ! Projet de territoire Côte d'Opale », *Plaquette de communication*.

CCI Région Nord de France, Région Nord Pas de Calais et World Forum Lille Responsible Economy, 2014, « La troisième révolution industrielle. En Marche ! », *Rapport public*.

1.4.Articles de presse – par ordre de parution

« La faillite des réseaux de chaleur », Le Monde, 10/05/1988

« La chaleur ne partira pas aux oiseaux », La Voix du Nord, 21/04/2006

« Assises de l'énergie : à quel rythme avance le dunkerquois ? », La Voix du Nord, 31/01/2008

« Pour nous désintoxiquer de l'économie du carbone, relevons le défi de l'innovation », Le Monde, 12/12/2009

« A Dunkerque, les entreprises montrent l'exemple », L'Usine Nouvelle, 17/06/2010

« Le bailleur social Partenord cueilli à froid », Le Phare Dunkerquois, 10/08/2011

« Mobiliser les sources d'énergie locale », La Gazette des Communes, 15/07/2013

« Assises de l'énergie (2/2) : l'esprit pionnier de la communauté urbaine de Dunkerque », La Voix du Nord, 27/01/2014

« Pour économiser l'énergie, on innove, on expérimente », La Voix du Nord, 28/01/2014

« Le réseau de chaleur va s'étendre et se raccorder … aux poubelles », La Voix du Nord, 31/01/2014

« Le réseau de chaleur veut grandir », La Voix du Nord, 15/10/2014

2. Val d'Europe

2.1.Documents mis à disposition par les acteurs – par ordre alphabétique puis chronologique

Dalkia, 2008, « Réseau privé de chaleur », *Présentation à destination des acteurs publics locaux, Disney et Goodman*.

Dalkia, 2009, « Projet de réseau de chaleur privé avec une valorisation d'énergie fatale », *Présentation à destination des acteurs publics locaux*.

Dalkia, 2010, « Parc d'Entreprises Paris Val d'Europe : le 1er réseau de chaleur urbain alimenté par une énergie de récupération », *Plaquette de communication*.

Dalkia, 2011, « Fourniture d'énergie pour le centre aquatique du Val d'Europe », *Mémoire de l'offre*.

EPAMARNE/EPAFRANCE, 2013, « Investir dans la ville innovante », *Rapport annuel 2013*.

SAN du Val d'Europe, 2012, « Val d'Europe, écrin d'innovation », *Plaquette de communication*.

2.2.Documents disponibles en ligne – par ordre alphabétique puis chronologique

Consultés la dernière fois le 11/10/2016

ADEME, 2013, « Récupération de chaleur d'un *data center* à Bailly-Romainvilliers (77) », *Opérations exemplaires en Ile de France*.
https://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Energies-matieres-renouvelables/opex-recuperation-chaleur-data-center-bailly-romainvilliers.pdf

Conseil régional d'Ile de France, 2013, « Séance plénière du 21 et 22 novembre 2013 », *Rapport de séance*, (plus en ligne).

EPAMARNE/EPAFRANCE, 2011, « Christophe Hoizey, responsable des grands projets Dalkia », *Interview*.
http://www.epa-marnelavallee.fr/Actualites/Actualites-archivees/Archives-ITW/Christophe-HOIZEY-responsable-des-grands-projets-DALKIA

EPAMARNE/EPAFRANCE et Dalkia, 2013, « Récupération de chaleur sur datacenter – Val d'Europe », *Présentation aux Assises des énergies renouvelables 2013*.
http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/TR3_-_Jean-Baptiste_SIVERY_-_DALKIA_-_Data_center_EPAMARNE_cle57489e.pdf

SAN du Val d'Europe, 2011, « Réseau de chaleur du Val d'Europe : une première en France ! », in *Journal du SAN du Val d'Europe*, n°76, septembre 2011, (plus en ligne).

2.3.Articles de presse – par ordre de parution

« Un data center transformé en chaudière géante », actu-environnement, 13-09/2011

« Se chauffer grâce à un *datacenter* : une première à Marne-la-Vallée », L'express/L'Expansion, 13/09/2011

« Des serveurs informatiques vont chauffer Eurodisney », Le Figaro, 13/09/2011

« Euro Disney va récupérer la chaleur des *datacenters* pour se chauffer », Le Moniteur, 14/09/2011

« Quand un parc d'activités chauffe ses bureaux avec des ordinateurs », Le Monde, 2/11/2011

« Un réseau de chaleur alimenté par un *data center* », Les cahiers techniques du bâtiment, juin-juillet 2013

« Se chauffer grâce à l'énergie des serveurs informatiques », Le Monde, blog Planète, 1/07/2013

« Agglomération – Le Val d'Europe se chauffe au *datacenter* », Alliancy le mag, 20/09/2013

« Les parisiens se chaufferont-ils aux disques durs ? », Le Moniteur, 8/10/2013

3. Lyon[220]

3.1. ***Documents mis à disposition par les acteurs – par ordre alphabétique puis chronologique***

Axelera, 2015, « Valorisation de la chaleur fatale dans la Vallée de la Chimie », *Document de présentation pour un groupe de travail AMORCE*.

Bouygues Immobilier, 2011, « Hikari », *Document de présentation*.

Bouygues Immobilier, 2014, « UrbanEra, pour une ville durable et désirable », *Document de présentation*.

Enea Consulting, 2015, « Valorisation de chaleur industrielle. Benchmark des filières existantes en Europe », *Rapport d'étude*.

Grand Lyon et Hespul, 2012, « Projet européen Concerto-Renaissance. Analyse du montage, du déroulement et des impacts du projet sur l'évolution des politiques énergétiques », *Rapport public*.

Grand Lyon et Hespul, 2012, « Projet européen Concerto-Renaissance. Intégrer la performance énergétique dans le processus de construction : retour d'expérience et recommandations », *Rapport public*.

Grand Lyon et Hespul, 2012, « Projet européen Concerto-Renaissance. Garantir la performance des systèmes : retour d'expérience et recommandations », *Rapport public*.

Grand Lyon, 2013, « Plan climat énergie territorial – point d'étape 2013 », *Document de communication*.

Grand Lyon, 2014, « Appel à projet des 30 », *Texte d'appel à projets*.

[220] Sont inclus les documents relatifs au projet de récupération de chaleur même s'ils ne font pas partie de l'étude de cas principale

Grand Lyon, 2015, « Etude de faisabilité pour la mise en place d'une filière de valorisation de la chaleur industrielle sur la vallée de la Chimie », *Document de présentation*.

Manaslu Ing, 2011, « Concours Îlot P Communalisation des besoins – Rationalisation des équipements », *Document de présentation*.

Manaslu Ing, 2012, « Projet Ilot P HIKARI. Ilot BEPOS tous postes », *Document de présentation à une réunion avec l'ADEME du 13 septembre 2012*.

Manaslu Ing, 2014, « HIKARI Project Energy management and PEB », *Document de presentation à un workshop du projet Next Buildings du 12 juillet 2014*

SPLA Lyon Confluence et Grand Lyon, 2011, « Consultation architectes-promoteur pour un îlot démonstrateur - îlot P », *Rapport d'étape*.

SPLA Lyon Confluence et Grand Lyon, 2013, « Lyon Confluence Images et plans 68 repères », *Plaquette de présentation*.

3.2.Documents disponibles en ligne – par ordre alphabétique puis chronologique

Consultés la dernière fois le 11/10/2016

Académie des technologies, 2012, « Construire ensemble un nouvel écosystème urbain », *Synthèse de l'intervention de Christian Grellier, Directeur innovation et développement durable de Bouygues Immobilier*, *Actes du colloque « L'homme dans son environnement numérique »*.
https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/academie-technologies-staging/academie-technologies-siteweb/fileadmin/templates/PDF/colloques/Actes_du_Colloque_L_homme_dans_son_environnement_numerique__1_.pdf

Bouygues Immobilier, 2014, « Bouygues Immobilier et Deloitte signent la location de 4900 m² de bureaux dans l'îlot à énergie positive Hikari », *Communiqué de presse*, 24 juin 2014 (plus en ligne).

Bouygues Immobilier, 2015, « Gérard Collomb », Témoignage sur le site Bouygues Immobilier Corporate
http://www.bouygues-immobilier-corporate.com/activites/gerard-collomb

Grand Lyon, 2012, « Lyon Smart Community », *Dossier de presse*.
http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/20121121_gl_lyon_smart_community_dp_fr.pdf

3.3.Articles de presse – par ordre de parution

« Confluent : des bâtiments d'exception pour achever la place nautique », Le Progrès, 2/09/2011

« L'œil nippon sur un immeuble lyonnais », Les Echos, 20/06/2013

« A Lyon, Hikari, premier îlot mixte à énergie positive en France », Le Moniteur, 21/06/2013

« Energie : « Lyon smart community » sort de terre », Journal des Communes, 21/06/2013

« « Hikari », un îlot de trois immeubles qui nous projette dans la ville du futur », Le Progrès, 22/06/2013

« Bouygues : lancement du projet Hikari à Lyon », Boursier.com, 24/06/2013

« Lyon : un îlot à énergie positive de conception franco-japonaise », LaTribune.fr, 26/06/2013

« Lyon teste « l'efficience énergétique » made in Japan », GreenUnivers, 17/06/2014

« Les nouvelles promesses de la ville intelligente », La Tribune, 20/06/2014

« Hikari : officialisation de la prise de bail par Deloitte », Lyon Pôle Immo, 24/06/2014

« Expérimentations à Lyon Confluence », Urbanisme, 23/09/2014

« A Lyon, la ville intelligente prend corps », Le Moniteur, 13/06/2014

« Le Grand Lyon vise très haut », La Tribune, 14/11/2014

« Hikari, un îlot Bepos franco-japonais qui joue la mixité », Les Cahiers Techniques du Bâtiment, 26/06/2015

« La Métropole de Lyon s'active sur un schéma directeur de l'énergie », La Tribune, 4/07/2015

« Hikari, le premier bâtiment smart de Lyon Confluence », L'Usine Nouvelle, 9/07/2015

« A Lyon, Hikari est un îlot de bâtiments qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme », Le Parisien, 15/09/2015

« Hikari, un îlot nippon à énergie positive se lève à Lyon », BatiActu, 15/09/2015

« A Lyon, Hikari, le premier îlot urbain à énergie positive », Le Monde, 16/09/2015

« Et l'énergie fut moindre pour Hikari à Lyon », L'Usine Nouvelle, 17/09/2015

« Lyon : un premier quartier à énergie positive », L'Express, 25/09/2015

Table des figures

Figure 1.1 : Représentation des pertes de chaleur dans divers flux lors d'un procédé industriel de combustion en four : 60 à 80% de la chaleur est de la chaleur fatale - Source : "La chaleur fatale industrielle", ADEME, 2015 24
Figure 1.2 : Superposition des consommations de deux bâtiments aux fonctions distinctes - Extrait de CETE de l'Ouest, 2012, p. 10 26
Figure 1.3 : Extrait de l'infographie de la Commission Européenne quant à sa stratégie de chauffage et de refroidissement rendue publique en février 2016 30
Figure 1.4 : Un exemple de carte produite dans le cadre de l'étude sur le gisement de chaleur fatale en Ile-de-France - Source : Etude des potentiels de production et de valorisation de chaler fatale en Ile-de-France (ADEME Ile de France, 2015, p. 6) 34
Figure 1.5 : Comparaison entre les SRCAE mentionnant le potentiel de récupération de chaleur fatale et l'ordre des régions en termes de potentiel de chaleur fatale industrielle selon l'ADEME - Source du tableau de droite : « La chaleur fatale industrielle », ADEME, 2015 35
Figure 1.6: Représentation des parties autoconsommée et autoproduite d'une production photovoltaïque - Source : "Note de positionnement sur l'autoconsommation", Hespul, 2013 41
Figure 1.7 : Cartographie d'îlots mixtes au sein de la ville de Paris selon une typologie - Source : "Un Plan Local Energie pour la Métropole du Grand Paris", APUR, 2015, p. 72 42

Figure 2.1 : Représentation schématique des différents champs de recherche abordés et des liens qui les unissent - Réalisation personnelle 74

Figure 4.1 : Localisation de Dunkerque dans le Nord-Pas-de-Calais – Réalisation personnelle 120
Figure 4.2 : La Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD) - Réalisation personnelle 121
Figure 4.3 : Installations industrielles d'ArcelorMittal Dunkerque vues depuis la mer - Par Franz-Josef Molitor - Dunquerke_12177, CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38771974 121
Figure 4.4 : Récapitulatif de l'évolution des acteurs de la synergie entre 1986 et 2015 – Réalisation personnelle 126
Figure 4.5 : Organisation spatiale des différents processus au sein d'ArcelorMittal Dunkerque – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) et d'un plan d'ArcelorMittal . 128
Figure 4.6 : La chaîne d'agglomération n°3 du site d'ArcelorMittal à Grand-Synthe – Source : capture reportage explicatif de la récupération de chaleur réalisé pour le compte de Dalkia pour les Assises de l'énergie 2008 – vidéo fournie par Energie Grand Littoral 129
Figure 4.7 : Aggloméré en cours de refroidissement sur un refroidissoir – Source : capture reportage explicatif de la récupération de chaleur réalisé pour le compte de Dalkia pour les Assises de l'énergie 2008 – vidéo fournie par Energie Grand Littoral 130
Figure 4.8 : Plan du réseau de chaleur de Dunkerque – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) – Source plan du réseau : document Raccordement au CVE de Dalkia - 22/03/2013 131
Figure 4.9 : Répartition mensuelle envisagée par EGL en 2012 des sources d'énergie pour le réseau de chaleur de Dunkerque – Source : Document "Le réseau de chauffage urbain de Dunkerque - Branchement au CVE - Dalkia - 22/03/2013 133

Figure 4.10 : Répartition entre types de consommateurs clients du réseau - Source : Document "Le réseau de chauffage urbain de Dunkerque - Branchement au CVE - Dalkia - 22/03/2013 134
Figure 4.11 : Schéma de fonctionnement technique de la deuxième récupération de chaleur fatale – Source : Rapport technique de l'exploitation du réseau pour l'exercice 2008, consulté aux archives de la CUD 144
Figure 4.12 : Répartition des sources d'énergie du réseau de chaleur en 2011 - Source : Etude pour le développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque - Cabinet Hexa Ingénierie – 2012...152
Figure 4.13 : Evolution de la quantité de chaleur récupérée chez ArcelorMittal entre 2008 et 2012 – Source : Dalkia, 2013, « Réseau de chauffage urbain – Raccordement au CVE de Dunkerque », Document de présentation à destination des acteurs publics locaux, consulté aux archives de la CUD 154
Figure 4.14 : Principe du fonds de garantie imaginé pour les projets de valorisation de la chaleur fatale - Source : Energie 2020, Présentation aux Assises Européennes de la Transition Energétique 2016 .161
Figure 4.15 : Représentation cartographique des productions de chaleur fatale évaluées – Source : Rapport Final de l'étude pour développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque – 2012 – consulté aux archives de la CUD.....165
Figure 4.16 : Exemple de carte d'influence des potentiels de valorisation de la chaleur fatale – Source : Rapport Final de l'étude pour développement du chauffage urbain de la région de Dunkerque – 2012 – consulté aux archives de la CUD.....166
Figure 4.17 : Représentation du réseau de chaleur de Dunkerque rendue publique à l'occasion de la présentation du partenariat entre la CUD et l'ADEME sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale – Source : CUD & ADEME, 29 septembre 2015, « Signature du protocole de partenariat entre l'ADEME et la Communauté Urbaine de Dunkerque sur la récupération et la valorisation de la chaleur fatale industrielle », Dossier de presse. 170
Figure 4.18 : Localisation des différentes sources de chaleur envisagées par rapport au réseau existant – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) 170
Figure 4.19 : Localisations des différents éléments faisant partie du système de valorisation du froid – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (13/04/2016) 175

Figure 5.1 : Localisation du Val d'Europe par rapport à Paris et au sein de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée – Réalisation personnelle 182
Figure 5.2 : Composition communale du Val d'Europe – Réalisation personnelle 182
Figure 5.3 : Zone Disney – Réalisation personnelle à partie d'un fond Google Earth (16/05/2016)...184
Figure 5.4 : Logo de l'entreprise de développement immobilier du Val d'Europe – Source : EuroDisney 185
Figure 5.5 : Localisation du futur PIE (ZAC du Prieuré) à l'intersection de Serris et Bailly-Romainvilliers – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016) 186
Figure 5.6 : Plan masse prévu pour le parc d'entreprise – Extrait d'un document de présentation publique du parc par Euro Disney « Le Parc d'entreprise Paris Val d'Europe. Invitation à inventer ». 186
Figure 5.7 : Schéma récapitulatif des acteurs impliqués dans la récupération de chaleur au Val d'Europe et de leurs relations – Réalisation personnelle 187
Figure 5.8 : Enchevêtrement de tuyaux dans la chaufferie - on aperçoit le tuyau de départ vers le *data center* – Photo prise par l'auteur - Octobre 2014.....191
Figure 5.9 : Représentation schématique de la séparation physique entre les deux boucles formant la synergie – Réalisation personnelle 192

Figure 5.10 : Représentation schématique du réseau de chaleur du Parc d'Entreprises par Dalkia – Source : Dalkia 193
Figure 5.11 : Localisations du *data center* et du centre aquatique – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016) 195
Figure 5.12 : Le *data center* au milieu des champs, dans la zone en développement – Photo prise par l'auteur - Octobre 2014 210
Figure 5.13 : Représentation spatiale des premiers développements du réseau – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016) 215
Figure 5.14 : Plan masse de la première phase du projet de parc de loisir Villages Nature – Source : Villages Nature 227
Figure 5.15 : Organisation spatiale des développements urbains et touristiques au Val d'Europe – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/05/2016) 228

Figure 6.1 : Un territoire à la confluence de la Saône et du Rhône – Réalisation personnelle à partir d'un fond Google Earth (16/06/2016) 237
Figure 6.2 : Zonage de l'opération d'aménagement Lyon Confluence – Source : Lyon Confluence Images et plans - 68 repères 240
Figure 6.3 : Situation de l'îlot P - Source : plaquette "Consultation architectes - promoteur pour un îlot démonstrateur Ilot P" - SPLA Lyon Confluence / Grand Lyon 241
Figure 6.4 : Architecture du projet Hikari – Source : Bouygues Immobilier - Illustration Cyrille Thomas 242
Figure 6.5 : La façade est de l'îlot Hikari en avril 2015 – Photo prise par l'auteur - Avril 2015 243
Figure 6.6 : Schéma récapitulatif des acteurs impliqués dans la partie "énergie" de la construction de l'îlot Hikari et de leurs relations – Réalisation personnelle 244
Figure 6.7 : La "centrale solaire" en façade de l'îlot Hikari – Photo prise par l'auteur - Mai 2015 245
Figure 6.8 : Schématisation du système de fourniture énergétique à l'îlot – Source : présentation Bouygues Immobilier / Manaslu Ing. 246
Figure 6.9 : Support de présentation de l'îlot Hikari – Source : Bouygues Immobilier 247
Figure 6.10 : Support de présentation de l'îlot Hikari – Source : Bouygues Immobilier 248
Figure 6.11 : L'approche UrbanEra – Source : support de présentation Bouygues Immobilier 258
Figure 6.12 : Besoins en puissance de chaleur des différentes fonctions de l'îlot simulés sur la semaine la plus froide d'hiver (17-24 février) – Source : Manaslu Ing - 2011. 265
Figure 6.13 : Lissage des besoins en puissance de chaleur de l'îlot simulés sur la semaine la plus froide d'hiver (17-24 février) – Source : Manaslu Ing - 2011 266
Figure 6.14 : Le principe de mutualisation énergétique sur l'opération Innovéa – Source : Présentation publique Bouygues Immobilier 270
Figure 6.15 : Groupe de cogénération (en vert au fond), cuves de stockage (en rouge à gauche) et enchevêtrement de tuyaux au plafond, en sous-sol de l'îlot Hikari – Photo prise par l'auteur - Avril 2015 272
Figure 6.16 : Tracé prévisionnel du réseau de chaleur de La Confluence – Source : SPL Lyon Confluence 279
Figure 6.17 : Extraits du dossier « Démonstrateur Industriel pour la Ville Durable (DIVD) "Lyon Living Lab" » 289
Figure 6.18 : Représentation de la stratégie de la marque UrbanEra par Bouygues Immobilier – Source : Support de présentation Bouygues Immobilier 290
Figure 6.19 : Le Community Energy Management System développé par Embix – Source : plaquette de présentation Embix 292

Figure 7.1 : Représentation des différentes formes d'intérêt des acteurs pour la synergie – Réalisation personnelle 303
Figure 7.2 : Représentation schématique des processus d'intégration des différentes stratégies d'acteurs dans le projet de synergie – Réalisation personnelle 307
Figure 7.3 : Représentation de l'importance des interdépendances pour chaque cas d'étude - plus on s'éloigne du centre, plus l'interdépendance est importante – Réalisation personnelle 320
Figure 7.4 : Représentation de l'importance des interdépendances pour chaque cas d'étude sous deux catégories – Réalisation personnelle 322
Figure 7.5 : Formes de stabilisation du réseau formé par la synergie promues dans chacun des cas – Réalisation personnelle 334

Figure 8.1 : Le modèle conventionnel d'organisation de la fourniture d'énergie – Réalisation personnelle 348
Figure 8.2 : Principe de la boucle d'eau tempérée développée sur l'îlot Allar à Marseille - Source : Smartseille 351
Figure 8.3 : Principe de fonctionnement de la boucle d'eau tempérée du quartier Ginko à Bordeaux – Source : Présentation publique Cofely Services 353
Figure 8.4 : Principe de fonctionnement de la boucle d'eau tempérée à Paris Saclay – Source : Présentation publique EPPS 353
Figure 8.5 : Support de communication pour l'offre Open District Heating de Fortum Värme 355
Figure 8.6 : Représentation du concept *Sonnen Community* – Source : Sonnenbatteries 362
Figure 8.7 : Principe du *micro-grid Transactive Grid* de Brooklyn – Source : *Transactive Grid* 363
Figure 8.8 : Principe du *Microgrid Energy Market* du projet Transactive Grid – Source : Transactive Grid 368
Figure 8.9 : Principe de fonctionnement de la solution Stimergy – Source : Stimergy 374
Figure 8.10 : Principe de l' « Immeuble Pluriel » dans la campagne d'Anne Hidalgo pour la mairie de Paris en 2013 376

Table des tableaux

Tableau 1.1 : Des paradigmes contrastés : grand système de réseau et techno-écocycle – extrait de Coutard, 2010, p. 114 19
Tableau 1.2 : Une typologie des voies « post-réseau » pour une transition urbaine - Extrait de Coutard et Rutherford, 2013, p.14 22

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la co-construction des territoires urbains et des grands réseaux centralisés 90
Tableau 3.2 : Synthèse de l'appareillage problématique et hypothétique de la thèse 104
Tableau 3.3: synergies énergétiques urbaines en projets, en fonctionnement ou arrêtées repérées en France - dernière actualisation en février 2016 108
Tableau 3.4 : Hypothèses d'évolution amenées par les synergies énergétiques urbaines dans la co-construction sociomatérielle de la ville et des réseaux d'énergie 116

Tableau 7.1 : Rappel des questions de recherche et hypothèses de réponse construites en préliminaire des études de cas 298
Tableau 7. 2 : Comparaison entre les caractéristiques de la co-construction sociomatérielle des territoires urbains et des réseaux dans le cas conventionnel et dans celui des synergies énergétiques urbaines, à partir de la mise en perspective des études de cas 346

Tableau 8.1 : Trois start-ups françaises de "chauffage numérique" et leurs solutions 374
Tableau 8.2 : Les différents modèles et les évolutions organisationnelles qu'ils entraînent 379

Table des encadrés

Encadré 1.1 – La chaleur fatale 23
Encadré 1.2 – Les énergies de récupérations sont-elles des énergies renouvelables ? Extraits d'un débat relatif à la Loi de Transition Energétique pour une Croissance Verte à l'Assemblée Nationale 32
Encadré 1.3 – Autoconsommation et autoproduction : des concepts frères mais pas jumeaux 40
Encadré 1.4 – L'énergie technique, l'énergie biologique et la récupération 46

Encadré 2.1 – La métaphore du métabolisme 66

Encadré 3.1 – Qu'est-ce que le contexte d'un projet technique ? Une lecture par Bruno Latour 112

Encadré 4.1 – La valorisation de chaleur fatale face à l'évolution des processus industriels : une tentative de réponse aux incertitudes par la mutualisation des risques 160
Encadré 4.2 – La valorisation énergétique des déchets : de fortes incitations à la production d'une énergie « renouvelable » 167
Encadré 4.3 – La récupération de chaleur fatale et l'espace : d'autres tentatives de « planification territoriale » à Lyon et Rotterdam 172

Encadré 5.1 – La récupération de chaleur sur *data centers* a-t-elle le vent en poupe ? 180
Encadré 5.2 – Disney et le Val d'Europe 183
Encadré 5.3 – Réseaux, *data centers* et planification urbaine 198
Encadré 5.4 – Peut-on planifier la localisation des *data centers* selon des critères énergétiques ? Les expériences de Paris et d'Amsterdam 203

Encadré 6.1 – Les acteurs de la production des systèmes énergétiques urbains et la construction des conditions spatiales de mise en synergie 249
Encadré 6.2 – Des stratégies foisonnantes de dépassement de l'échelle du bâtiment : BEPOS 2.0, TEGPOS et « solidarité énergétique » 259
Encadré 6.3 – Innovéa : la conception de la mutualisation et ses hypothèses 269
Encadré 6.4 – Entrepôts Macdonald : un projet de mutualisation énergétique abandonné 274

Encadré 8.1 – Le TURPE, l'autoconsommation collective et la solidarité 365

Liste des sigles et abréviations

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFUL	Association Foncière Urbaine Libre
ALEC	Agence Locale de l'Energie et du Climat
AMO	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
ANT	*Actor-Network Theory*
APUR	Agence Parisienne d'Urbanisme
ASL	Association Syndicale Libre
BEPOS	Bâtiment à Energie Positive
CEMS	*Community Energy Management System*
CEREMA	Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CERTU	Centre d'Etudes sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme
CGC	Compagnie Générale de Chauffe
CMS	*Community Management System*
COP	*Coefficient of Performance*
CRE	Commission de Régulation de l'Energie
CVE	Centre de Valorisation Energétique
CUD	Communauté Urbaine de Dunkerque
DGEC	Direction Générale Energie Climat
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSP	Délégation de Service Public
EGL	Energie Grand Littoral
ENR&R	Energies Renouvelables et de Récupération
EPA	Etablissement Public d'Aménagement
EPPS	Etablissement Public Paris Saclay
ERDF	Electricité Réseaux de France
FNCCR	Fédération Nationale des Collectivités Concédantes de Réseaux
HEI	Hyper Electro-Intensif
HQE	Haute Qualité Environnementale
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IFPEB	Institut Français de la Performance Energétique du Bâtiment
LTS	*Large Technical Systems*
MAPAM	(loi de) Modernisation de l'Action Publique territoriale et d'Affirmation des Métropoles
MEDDE	Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Energie
MFA	*Material Flow Analysis*
MLP	*Multi-Level Perspective*
NEDO	*New Energy and Industrial Technology Development Organization*
OFGEM	*Office of Gas and Electricity Markets*
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PADD	Plan d'Aménagement et de Développement Durable
PCET	Plan Climat Energie Territorial
PIE	Parc International d'Entreprises
PIG	Plan d'Intérêt Général
PS2E	Paris Saclay Efficacité Energétique
PUCA	Plan Urbanisme Construction Architecture

PUE	*Power Usage Effectiveness*
REAP	*Rotterdam Energy Approach and Planning*
SAN	Syndicat d'Agglomération Nouvelle
SEM	Société d'Economie Mixte
SICURD	Syndicat Intercommunal de Chauffage Urbain de la Région Dunkerquoise
SPL	Société Publique Locale
SPLA	Société Publique Locale d'Aménagement
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Energie
STS	*Science and Technology Studies*
S3PI	Secrétariat Permanent pour la Prévention de la Pollution et des Risques Industriels
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TURPE	Taxe d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité
TVA	Taxe sur la Valeur Ajoutée
UIOM	Unité d'Incinération des Ordures Ménagères
UNEP	*United Nations Environmental Program*
WWF	*World Wide Fund*
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté

Annexes

Liste des entretiens

Fonction	Organisme	Date
Chargée de projet Implantations d'entreprise	Grand Lyon	26/05/2014
Directeur Mission "Energie"	Grand Lyon	27/05/2014
Responsable Plan Climat	Grand Lyon	28/05/2014
Chef de projet Implantation et Immobilier d'entreprises	Grand Lyon	28/05/2014
Directeur énergie	CUD	02/06/2014
Chef de service production et distribution d'énergie	CUD	02/06/2014
Responsable mission innovation et développement industriel	CUD	04/06/2014
Chargé de mission et doctorant en aménagement (téléphonique)	Institut de l'économie circulaire	08/09/2014
DDUD Responsable énergie	EPAFRANCE	15/09/2014
DGA Qualité urbaine et Aménagement durable	SAN du Val d'Europe	24/09/2014
Directrice développement économique et emploi	SAN du Val d'Europe	03/10/2014
Responsable technique	Bouygues Immobilier	09/10/2014
Chef de projets	Franck Boutte Consultants	10/10/2014
Mission Ville Intelligente et Durable	Mairie de Paris	13/10/2014
Directeur de l'innovation et du développement durable	Bouygues Immobilier	15/10/2014
Chef de projets et animatrice de l'atelier développement durable	SEM 92	20/10/2014
Adjoint directeur Ingénierie du DTGP	Dalkia	24/10/2014

Technicien	Dalkia	24/10/2014
Ingénieur	Dalkia	24/10/2014
Responsable pôle Stratégie et Conseil (téléphonique)	RFR Elements (bureau d'études environnement)	28/10/2014
Chargé de développement	Disney SAS (anciennement)	03/11/2014
Délégué général	ALEC Plaine de France	03/11/2014
Ingénieur	Natixis	10/12/2014
Directeur	Efficacity	15/01/2015
Support Manager (conversation téléphonique)	ArcelorMittal	15/01/2015
Journaliste	Mediapart	16/01/2015
Directrice (conversation téléphonique)	Ecopal	16/01/2015
Chef de projet aménagement	EPAFRANCE	23/01/2015
Chargée de mission	Energie 2020	02/02/2015
Responsable Environnement et risques technologiques	ArcelorMittal	02/02/2015
Chef d'exploitation	Dalkia	03/02/2015
Chargé d'études environnement	Port Autonome de Dunkerque	03/02/2015
Responsable d'agence	CCI de Dunkerque	05/02/2015
Chef de projets	Franck Boutte Consultants	10/02/2015
Directeur du développement EDF Territoires (téléphonique)	EDF	09/03/2015
Chef de projet incubateur projets énergie	Grand Lyon	31/03/2015
Directeur mission Vallée de la Chimie	Grand Lyon	31/03/2015
Responsable développement durable et responsable opérationnel du projet Lyon Smart Community	SPLA Lyon Confluence	01/04/2015

Directeur de l'immobilier d'entreprise Rhône-Alpes	Bouygues Immobilier	02/04/2015
Directeur général	Manaslu (bureau d'études énergie)	02/04/2015
Chef du pôle Réseaux et planification	Hespul	02/04/2015
Professeur	Université Lyon 3	03/04/2015
Chargé de mission	Innocold	15/04/2015
Directeur énergie	Ville de Dunkerque	15/04/2015
Enseignante	ULCO	15/04/2015
Responsable des travaux neufs	ArcelorMittal	16/04/2015
Directrice marketing Ile de France	Dalkia	05/06/2015
Président	Interxion	16/06/2015
Directeur de projet réseau de chaleur	EPPS	23/07/2015
DGA Aménagement	EPPS	23/07/2015
Directeur commercial	Cofely réseaux	24/08/2015
Directeur commercial adjoint	Cofely réseaux	24/08/2015
Chargé de projet	Cofely réseaux	02/09/2015
Architecte	Les Villes Concrètes	18/09/2015
Sénateur	Sénat	15/12/2015
Assistant parlementaire	Sénat	15/12/2015
Directeur innovation énergie et smart grid	Bouygues Immobilier	20/01/2016
Directeur	IFPEB	07/03/2016
Directeur (téléphonique)	Energie 2020	19/04/2016

Liste des visites de site accompagnées

Type	Lieu	Date
Chaufferie – Dalkia	Val d'Europe	24/10/2014
Data center La Courneuve – Toxic Tour	La Courneuve	25/01/2015
Cogénération – Dalkia	Dunkerque	03/02/2015
Ilot Hikari en construction – Bouygues/Manaslu	Lyon	02/04/2015
Chaînes d'agglomération – ArcelorMittal	Dunkerque	16/04/2015

Liste des séminaires professionnels (et académiques)

Titre	Organisateur(s)	Date(s)
Cycle « Quelles gouvernances locales de la transition énergétique » - « Des opérations d'aménagement aux politiques de planification urbaine et de transports : quelle contribution locale à la transition énergétique ? »	PUCA	22/10/2014
Cycle « Ville intelligente » - « La Smart City : consécration ou disparition de la ville des réseaux ? »	PUCA	26/01/2015
Cycle « Quelles gouvernances locales de la transition énergétique » - « Collectivités locales : quels leviers pour la distribution et la production locale d'énergie »	PUCA – LATTS	09/02/2015
Journées de clôture des Assises de l'Economie Circulaire	Ville de Paris	14-16/09/2015
Assises des énergies renouvelables en milieu urbain	DRIEE Ile de France – ADEME	22/09/2015
Rencontres de l'aménagement opérationnel	DHUP	06/10/2015

11èmes rencontre des réseaux de chaleur	Amorce	02/12/2015
Assises européennes de la transition énergétique	CUD – Bordeaux Métropole – ADEME	26-28/01/2016
Journée d'étude réseaux de chaleur et de froid : la chaleur fatale	FNCCR	20/04/2016
Journées d'étude « La fabrique de l'autonomie énergétique »	LATTS – PACTE – GAEL – EIVP	13-14/06/2016
Comité stratégique des réseaux de chaleur	SNCU	15/10/2015 01/04/2016 28/06/2016
Réunions du projet de recherche « Nouveaux modèles économiques des réseaux de chaleur »	Efficacity	Diverses réunions de février 2015 à juin 2016

Sommaire détaillé

Résumé 1

Thesis summary 2

Remerciements 3

Table des matières 5

Introduction générale 8

Entre post-réseau et hyper-connexion, quel futur pour la fourniture d'énergie à la ville ? 8

Une analyse sociomatérielle de systèmes énergétiques urbains 9

Organisation de la thèse 12

PARTIE 1 – Le réseau, mais autrement : de la remise en cause du système de fourniture d'énergie à l'urbain à la figure de la synergie énergétique 14

Chapitre 1 – Du post-réseau à l'hyper-connexion : la place du réseau dans le futur énergétique des territoires urbains en question 15

I. Le réseau dans les transitions énergétiques urbaines : un statut ambivalent 16

A. Du réseau au post-réseau, vers un changement de modèle pour la fourniture des services urbains ? 16

B. Rechercher l'adéquation locale entre productions et consommations : moins de centralisation mais plus de tuyaux ? 22

II. Mutualisations et récupérations : des outils pour l'évolution des systèmes énergétiques urbains promus dans les discours institutionnels 28

A. La récupération de chaleur fatale entre estimation et réglementation 29

B. La mutualisation énergétique comme principe d'optimisation 38

III. La ville comme un objet physique : une approche purement matérielle dans la littérature académique de l'urbain 44

A. Le système urbain comme un système énergétique : une approche par les flux 45

B. Du bâtiment à la ville : une approche par les activités 51

C. Distribution d'énergie et organisation des activités : une approche par le réseau 53

D. Des approches diverses pour une conclusion théorique et des recommandations communes 55

IV. Un objet spatialisé travaillé par le triptyque société, flux, technique 56

A. Un objet qui brouille les analyses de la coévolution des systèmes énergétiques et de la ville57

B. Elargir le regard : les approches sociotechniques des relations villes-énergie et l'écologie industrielle en appui 59

Conclusion 60

Chapitre 2 – Sociotechnique et socioécologie de l'urbain : comprendre le changement dans la co-construction des systèmes énergétiques et de la ville 62

I. Des systèmes sociotechniques aux flux : la construction d'un objet entre deux champs de recherche 62

A. De l'analyse des transitions énergétiques urbaines à l'écologie politique urbaine 63

B. De l'écologie industrielle aux symbioses urbaines 69

C. Un objet d'écologie industrielle et territoriale pour une approche d'inspiration sociotechnique : problématique de la recherche 74

II. Posture de recherche : qu'est-ce qu'une analyse sociomatérielle de l'urbain ? 76

A. Deux courants d'analyse du changement sociomatériel en discussion : *Large Technical Systems* et *Actor Network Theory* 78

1. *Large Technical Systems* (*approach*) et territoires 78

2. *Actor-Network Theory* et *urban assemblage* 80

B. Confrontation à la problématique : le choix d'une approche dynamique qui ne s'arrête pas aux frontières de la technique 84

Conclusion 87

Chapitre 3 – Efficacité, solidarité et croissance : quelles remises en cause des principes et effets de la mise en réseau de l'urbain ? 89

I. Du réseau centralisé aux synergies : trois hypothèses d'évolution du rapport entre villes et réseaux 89

A. Les logiques qui sous-tendent la mise en réseau : au-delà de l'efficacité technico-économique 90

B. La mise en lien du territoire urbain par le réseau : de la solidarité aux interdépendances 94

C. Les principes d'évolution du réseau : un rapport à l'espace empreint de stabilisation plutôt que de croissance 99

D. Synthèse de l'appareillage problématique et hypothétique de la thèse 103

II. Une approche en deux temps : des études de cas à la recherche de modèles de réorganisation 105

A. Des études de cas pour comprendre finement les recompositions sociomatérielles à une observation plus large 105

1. Pourquoi des études de cas ? 105

2. Choix des études de cas : une accumulation plutôt qu'une comparaison 107

3. Une observation plus large des stratégies d'acteurs : quels modèles en construction ? 110

B. Protocole de recherche : sources et organisation du matériau empirique 110

1. Définition du périmètre d'investigation et des sources 111

2. Organisation du matériau empirique 115

Conclusion 115

PARTIE 2 – Une analyse sociomatérielle de formes alternatives de mise en réseau de la ville 118

Chapitre 4 – Des minerais au réseau d'agglomération : la récupération de chaleur industrielle à Dunkerque 120

I. Un système technique hétérogène encadré par un système d'acteurs en recomposition 123

A. Une organisation tripartite sujette aux évolutions locales comme mondiales 123

B. Le système énergétique 127

1. Cuire puis refroidir : une source de chaleur industrielle 127

2. La production complémentaire et la distribution 131

II. La récupération en deux étapes : de l'indépendance énergétique à l'environnement, des intérêts mouvants pour la synergie 134

A. Une première captation marquée par un souci d'indépendance énergétique 135

B. Une seconde captation sous le signe des problématiques environnementales 141

III. Interpénétrations des systèmes techniques et équilibre métabolique du réseau 145

A. Partager un système technique 145

1. Répartir les matériels et les responsabilités 146

2. Organiser l'exploitation et la maintenance 148

B. Gérer la dynamique des productions de chaleur fatale 151

1. Des variations régulières dans la répartition des flux 151

2. Des répercussions sur l'économie et la spatialité du réseau 154

IV. Vers des échanges plus nombreux et plus diversifiés : le rôle de l'espace en question 158

A. Doubler le réseau et diversifier les sources 158

B. Des échanges de chaud aux échanges de froid : une inversion de la logique spatiale fortement mise en cause 174

Conclusion 178

Chapitre 5 – Des serveurs informatiques aux radiateurs : *data center* et réseaux de chaleur au Val d'Europe 180

I. Le Val d'Europe comme territoire en construction 182

A. Un territoire en construction sous l'égide d'une entreprise internationale 183

B. Le système énergétique 187

1. L'énergie du rafraîchissement : une chaleur contingente 188

2. La distribution et les sources complémentaires 191

II. L'exemplarité environnementale et le service public en confrontation 194

A. Des origines floues et à la paternité disputée, mais des intérêts clairs 194

B. Développer un réseau de chaleur privé 204

III. Exploiter une synergie face à une double incertitude : quand les tuyaux sont surdimensionnés 209

A. Travailler avec une « boîte noire » 210

B. Les difficultés d'une commercialisation dans l'inconnu 214

C. Exploiter un système surdimensionné 221

IV. Confronter et contourner les incertitudes par la concurrence spatiale des réseaux 223

A. Projeter le développement spatial d'un réseau face à une double incertitude 223

B. Coordonner les réseaux sur le territoire 226

Conclusion 232

Chapitre 6 - Du bâtiment à l'îlot, puis au quartier : la mutualisation énergétique à Lyon Confluence 235

I. Renouvellement urbain et mutualisation énergétique : une synergie dans un quartier aux enjeux complexes 236

A. La transformation d'un territoire en cœur de ville : de Lyon Confluence à l'îlot P 236

B. Le système énergétique de l'îlot 244

1. L'ambition de l'énergie « positive » 244

2. La mutualisation comme principe de conception 247

II. Une synergie comme moyen et non comme but : les îlots à énergie positive en perspective 250

A. Des objectifs énergétiques inscrits dans des dynamiques partenariales 250

B. Du bâtiment à l'îlot : le quartier en perspective 257

III. Quand tous les flux ne se valent pas : interdépendances thermiques et électriques à l'échelle de l'îlot et du quartier 264

A. La mutualisation comme optimisation technique plus que métabolique 265

B. Structure juridique *ad hoc* et souterrains partagés pour l'exploitation d'un système mutualisé 271

C. Autonomie, réseau local, réseau national et mutualisation : différentes échelles d'interdépendances en confrontation 276

IV. Planifier l'autoconsommation à l'échelle du quartier : la mutualisation et la gestion des flux en questions 280

A. Plus de mutualisation pour plus d'autonomie : organiser l'autoconsommation à l'échelle du quartier 281

B. Equilibrer productions et consommations en ville 283

C. Du *Community Energy Management System* à l'opérateur territorial 286

Conclusion 293

PARTIE 3 – Une transformation et ses limites : des réseaux de distribution aux réseaux d'« échange » 296

Chapitre 7 – Les synergies changent-elles la manière de mettre l'urbain en réseau ? Mise en perspective des études de cas 298

I. Initiation des synergies : des intérêts stratégiques autant qu'opportunistes qui s'accumulent plus qu'ils ne convergent 299

A. Des intérêts stratégiques ou opportunistes pour la synergie qui dépassent une vision technico-économique 300

B. Des processus d'intégration des intérêts hétérogènes, conditionnés par l'organisation territoriale préexistante 304

C. Planification et conflictualité : l'émergence des synergies comme une accumulation d'intérêts plutôt qu'une convergence 307

D. Le rôle des acteurs publics en questions : quand service public et optimisation métabolique se confrontent 311

II. Des systèmes instables à chaque bout des tuyaux : interdépendances de flux et d'infrastructures 315

A. Quatre couches du réseau pour quatre formes d'interdépendances 315

B. Des interdépendances aux instabilités : un réseau pris entre incertitudes et inconnues 322

C. Une répartition hétérogène des risques de l'instabilité : un déplacement vers l'aval de la chaîne d'approvisionnement 325

D. Des interdépendances matérielles plus diverses mais un faible effet solidarisant 329

III. Un rapport resserré à l'espace mais pas d'interaction directe entre planification spatiale et évolution du réseau 331

A. Une recherche de stabilisation du réseau toujours exogène 332

B. La continuité d'une logique d'extension du réseau mais sans logique de croissance des consommations : un processus de sélection spatiale 335

C. Malgré un rapport à l'espace renouvelé, une conception du système énergétique toujours soumise à la planification spatiale 338

D. La primauté du flux sur l'infrastructure : vers une logique de sélection spatiale et de mise en circulation de flux préexistants 340

Conclusion 343

Chapitre 8 – Des modèles de systématisation des synergies en construction et en questions 347

I. Le modèle du réseau de chaleur « ouvert » : hybridation entre centralisation et échanges multidirectionnels 349

A. Un réseau ouvert aux circulations de chaleur fatale : boucle d'eau tempérée et *open district heating* 350

1. Boucles d'eau tempérée et récupération de chaleur 350

2. Ouvrir un réseau existant aux échanges de chaleur : l'*Open District Heating* à Stockholm 354

B. Des modèles économiques en construction pour une décentralisation toute limitée 355

1. Une ouverture qui pèse marginalement sur le bilan métabolique et le partage du contrôle sur le réseau 356

2. Vers un modèle économique dual de l'opérateur énergétique ? 358

II. Le modèle du *peer-to-peer* de l'électricité : le réseau comme infrastructure de mutualisation décentralisée 360

A. *Peer-to-peer* de l'électricité : l'émergence d'échanges décentralisés 360

B. *Peer-to-peer*, proximité et utilisation du réseau 363

C. L'opérateur virtuel ou l'auto-organisation : vers la disparition de l'opérateur fournisseur d'énergie ? 367

III. Le modèle du « chauffage numérique » : repenser l'organisation des activités pour optimiser l'usage des flux 372

A. Décentraliser les infrastructures numériques pour en récupérer la chaleur 373

B. Une décentralisation métabolique forte pour une gestion centralisée inter-flux : vers l'émergence de nouveaux opérateurs multi-flux ? 376

Conclusion 379

Conclusion générale 383

Bibliographie 395

Table des figures 433

Table des tableaux 437

Table des encadrés 438

Liste des sigles et abréviations 439

Annexes 441

Liste des entretiens 441

Liste des visites de site accompagnées 444

Liste des séminaires professionnels (et académiques) 444

Sommaire détaillé 446