



HAL
open science

Pleins gaz sur l'hydrogène : trajectoire sociotechnique du déploiement territorial de l'hydrogène en France entre 2010 et 2020

Élise Muller

► To cite this version:

Élise Muller. Pleins gaz sur l'hydrogène : trajectoire sociotechnique du déploiement territorial de l'hydrogène en France entre 2010 et 2020. Sociologie. École des Ponts ParisTech, 2023. Français. NNT : 2023ENPC0014 . tel-04146867

HAL Id: tel-04146867

<https://pastel.hal.science/tel-04146867>

Submitted on 30 Jun 2023

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.

**Pleins gaz sur l'hydrogène :
trajectoire sociotechnique du déploiement
territorial de l'hydrogène en France entre 2010 et
2020**

Ecole doctorale Ville, Transports et Territoires (VTT)

Doctorat en sociologie

Thèse préparée au sein du Laboratoire Techniques Territoires et Sociétés
(LATTS)

Thèse soutenue le 7 mars 2023,
par **Elise MULLER**

Composition du jury :

Anne-Cécile DOUILLET Professeure des universités, CERAPS	<i>Rapporteur</i>
Thomas REVERDY Professeur des universités, PACTE	<i>Rapporteur</i>
Annabelle BRISSE Docteure, EIFER jusqu'au 31/12/2021 puis Hynamics	<i>Examinatrice</i>
Alain NADAÏ Directeur de recherche, CIRED	<i>Président</i>
François-Mathieu POUPEAU Directeur de recherche, LATTS	<i>Directeur de thèse</i>
Caroline GALLETZ Directrice de recherche, Université Gustave Eiffel	<i>Co-directrice de thèse</i>

*A la mémoire de mon grand-père Joseph Muller,
qui aurait été sans doute fier de voir son « clown » accomplir ce travail*

Remerciements

Le travail de thèse, bien qu'il soit souvent solitaire, est également le fruit de rencontres et de partages sans lequel le résultat ne serait pas le même. Je tiens donc à remercier toutes les personnes qui ont participé à ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma grande gratitude à François-Mathieu Poupeau et Caroline Gallez pour avoir accepté, il y a quelques années, d'encadrer mes recherches. Merci à tous les deux pour vos encouragements, votre bienveillance et votre grande disponibilité tout au long de ce chemin. Je mesure la chance que j'ai eu d'avoir une direction aussi disponible et à l'écoute, qui a su me mettre en confiance durant ces trois années de thèse.

Je remercie Annabelle Brisse et Benoit Boutaud pour leurs précieux conseils, les échanges constructifs et leur disponibilité pour répondre à mes questions.

Je tiens à remercier les membres du jury qui ont accepté de participer à la dernière étape de ce travail. Merci en particulier aux rapporteurs Anne-Cécile Douillet et Thomas Reverdy d'avoir accepté de lire le manuscrit.

Je remercie également toutes les personnes qui ont accepté de participer à mon enquête et qui m'ont accordé un peu de leur temps, sans eux ce travail n'aurait pas pu exister. En particulier, je remercie les personnels de la région Auvergne-Rhône-Alpes, de la ville de Moutiers et de la métropole de Saint-Etienne ainsi que ceux de l'Ademe pour m'avoir ouvert leur porte.

Merci à l'équipe administrative du LATTS pour leur aide, leur accompagnement et leur bonne humeur dans les couloirs du laboratoire. Un grand merci également aux doctorants qui ont été d'un soutien indispensable dans cette course de longue haleine. Merci à Jonathan, Victor, Emmanuelle, Matthias et Clarence pour m'avoir permis de me défouler lors de nos séances de footing à Champs-sur-Marne. Merci à Sofia, Servane, Constance, Youenn, Camille, Rina, Solène, François pour tous nos échanges mais aussi nos moments de détente et de partage. Je garderai un précieux souvenir de vous tous.

Toute cette aventure n'aurait pas pu être la même sans mes amis qui ont été d'un soutien infaillible même si nombreux d'entre eux ne comprenaient pas toujours ce que je faisais. Je remercie mes amis d'enfance, Marine, Marie, Magali, Margot, Lucile, Fanny, Manon, Julie et Louis pour être toujours à mes côtés. Un merci plus particulier à Leslie pour son écoute et sa capacité à me motiver même dans les moments les plus difficiles. Merci à tous mes amis

de l'ENS Cachan, qui m'ont donné goût à démarrer à mon tour une thèse pour suivre leur trace. Merci d'être toujours présents pour me changer les idées.

Je remercie également l'équipe de natation artistique des Mouettes de Paris. Les heures d'entraînement passées ensemble dans le bassin ont été salvatrices lors de cette dernière année de thèse pour m'aider à « oublier » la thèse.

Merci à mes parents pour leurs encouragements et leur courage pour avoir relu intégralement ce travail. A papa, merci de m'avoir toujours poussée dans mes ambitions et d'avoir cru en moi jusqu'à la fin. A maman, merci pour tout ce que tu fais depuis toujours pour rendre notre quotidien plus agréable et pour tout l'amour que tu me donnes. A mes grandes sœurs, Candice et Morgane, qui ont forgé mon caractère et sur qui je peux toujours compter.

Enfin, merci à Joris pour rendre ma vie plus agréable et pour avoir accepté de partager mes humeurs de thèse. Merci pour tout le soutien que tu m'as apporté chaque jour et ta patience. A présent, une nouvelle aventure guadeloupéenne commence ensemble.

Résumé

Depuis quelques années, l'hydrogène « vert » est présenté comme une « solution miracle » de la transition énergétique qui pourrait entraîner une « révolution industrielle et énergétique ». L'objectif de la thèse est de remettre en perspective l'idée d'une « révolution de l'hydrogène vert ». Il s'agit d'interroger les changements en termes d'infrastructures, de pratiques et de gouvernance que l'introduction de ce vecteur énergétique peut engendrer au niveau du système énergétique français.

Dans cette optique, la thèse s'attache à décrire le déploiement de l'hydrogène en France et dans les territoires depuis les années 2010 jusqu'au début de l'année 2022, à travers deux dimensions : la gouvernance multi-niveaux et les controverses sociotechniques. En considérant que la trajectoire de l'hydrogène est le fruit d'une construction technico-économique, la thèse étudie la manière dont les acteurs, à différents niveaux, appréhendent le sujet et les stratégies qui en découlent.

Pour rendre compte de notre analyse à l'interface entre approches sociotechnique et sociopolitique, nous avons recours à la notion de configuration sociotechnique. Ce concept décrit des assemblages d'éléments hétérogènes transcalaires plus ou moins stables autour desquels des réseaux d'acteurs se forment, donnant lieu à des conceptions différentes dans la manière de projeter son déploiement.

Cette thèse montre que l'hydrogène n'est pas porteur d'une « révolution » pour le secteur énergétique français. Les difficultés techniques et économiques rencontrées, les problématisations successives ainsi que la reprise en main du sujet par les acteurs traditionnels du secteur énergétique sont autant de facteurs qui participent à réduire les possibilités de transformation plus radicales.

Mots clés : hydrogène ; trajectoire ; gouvernance multi-niveaux ; controverses sociotechniques ; configurations sociotechniques ; système énergétique français

Abstract

For a few years, "green" hydrogen has been presented as a "miracle solution" for the energy transition that could lead to an "industrial and energy revolution". The objective of this thesis is to put the idea of a "green hydrogen revolution" into perspective. We question the changes in terms of infrastructures, practices and governance that the introduction of this energy vector can generate in the French energy system.

In this perspective, the thesis aims to describe the deployment of hydrogen in France and its territories from the 2010s to the beginning of 2022, through two scopes : multi-level governance and socio-technical controversies. Considering that the trajectory of hydrogen ensues of a technical-economic construction, the analysis studies the way in which actors, at different levels, address the subject.

Our analysis relies on sociotechnical and sociopolitical approaches and uses the concept of sociotechnical configuration. This concept describes assemblies of more or less stable transcalar heterogeneous elements around which networks of actors are formed, giving rise to conceptions in the way of projecting its deployment.

This thesis shows that hydrogen is not initiating the expected "revolution" for the French energy sector. The technical and economic difficulties encountered, the successive problematizations, as well as the takeover of the subject by the traditional actors of the energy sector, are as many factors that participate in reducing the possibilities of more radical transformation.

Keys words : hydrogen, trajectory, multi-level governance, sociotechnical controversis, sociotechnical configuration, French energy sector.

Avant-propos

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du dispositif de formation doctorale des ingénieurs des ponts, des eaux et des forêts. Elle a été financée par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour une durée de trois ans et trois mois (du 01/09/2019 au 01/12/2022). A ce titre, je remercie l'institution pour m'avoir permis de réaliser ce travail en toute liberté scientifique et dans de bonnes conditions.

Enfin, cette thèse a été effectuée dans le cadre d'un partenariat avec l'institut EIFER *European Institute for Energy Research*, laboratoire commun entre EDF et l'Université de Karlsruhe en Allemagne. L'institut de recherche a soutenu financièrement les terrains d'étude de la thèse et les besoins matériels en contrepartie de la rédaction de rapports annuels. Ce partenariat a permis des échanges réguliers d'information avec des chercheurs experts sur le sujet. Je remercie également l'institut EIFER pour leur soutien.

Sommaire

Introduction générale	20
------------------------------------	-----------

Chapitre 1 : L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?	76
---	-----------

Section 1 : Réémergence de l'hydrogène comme solution de stockage de la transition énergétique.....	78
---	----

1) L'hydrogène, une solution miracle éternellement émergente ?.....	78
---	----

1.1 L'hydrogène, un combustible idéal pour la politique énergétique française en temps de crise pétrolière	78
--	----

1.2 L'émergence d'une économie européenne de l'hydrogène dans les années 2000.....	82
--	----

2) L'hydrogène, un vecteur énergétique essentiel pour la transition énergétique ?	84
---	----

2.1 Le stockage énergétique : enjeu clé du développement des énergies renouvelables	85
---	----

2.2 La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau : levier de développement des énergies renouvelables ?.....	88
--	----

3) L'introduction de l'hydrogène dans les secteurs électriques et gaziers : quels changements ?	94
---	----

3.1 Les piles à combustible : produire de l'électricité à partir d'hydrogène .	94
--	----

3.2 Les enjeux du déploiement de l'hydrogène dans les secteurs du gaz et de l'électricité.....	96
--	----

Section 2 : L'émergence d'une approche territorialisée du déploiement de l'hydrogène	103
--	-----

1) Vers une gestion territoriale de l'hydrogène ?	103
---	-----

1.1 Des acteurs territoriaux identifiés comme incontournables	103
---	-----

1.2 La production d'hydrogène par électrolyse : un levier de décentralisation de la production d'énergie ?.....	109
---	-----

2)	La mise en œuvre d'une vision territoriale de l'hydrogène.....	112
	2.1. L'émergence de projets locaux de production d'hydrogène.....	113
	2.2 L'appropriation de l'hydrogène par les acteurs territoriaux.....	114
	Conclusion du chapitre	118

Chapitre 2 : Les écosystèmes locaux de mobilité hydrogène122

Section 1 : Construction et diffusion de la logique des écosystèmes locaux de mobilité hydrogène	123
--	-----

1)	L'hydrogène comme moyen de décarboner la mobilité.....	123
	1.1 Les véhicules électriques à hydrogène : quelle place face aux véhicules électriques à batterie ?.....	124
	1.2 La construction d'une stratégie française pour le déploiement de la mobilité hydrogène	130
	1.3 L'émergence d'initiatives territoriales de mobilité hydrogène	137

1)	Les écosystèmes de mobilité hydrogène, une approche de l'hydrogène qui mobilise	141
	2.1 Les écosystèmes hydrogène : un concept flou saisi par plusieurs acteurs de manière différente.....	141
	2.2 Les collectivités territoriales, acteurs clés des écosystèmes territoriaux ?	146

Section 2 : Atterrissage territorial de la logique écosystémique à travers l'exemple du projet zero emission valley	153
---	-----

1)	Le projet Zero Emission Valley : la construction d'une ambition régionale pour la mobilité hydrogène.....	153
	1.1 La construction d'une représentation régionale de l'hydrogène	154
	1.2 Amorcer le marché de la mobilité hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes	160
	1.3 La SAS Himpulsion, acteur central du projet ZEV	164
2)	Mobiliser un large réseau d'acteurs : un enjeu majeur pour la réussite du projet ZEV	166
	2.1 Travail d'intéressement et d'enrôlement des acteurs territoriaux	166

2.2 Des jeux politiques qui viennent redessiner l'assemblage sociotechnique	170
2.3 A la recherche d'un modèle économique robuste : adaptations et recadrages	175
Conclusion du chapitre	181

Chapitre 3 : La construction de hub hydrogène régionaux.....186

Section 1 : Éléments de controverses du système électrique	188
1) La politique énergétique sous Nicolas Hulot : l'épineuse question de la réduction du nucléaire dans le mix énergétique français	188
1.1 Neutralité carbone et réduction du nucléaire : deux objectifs contradictoires ?.....	188
1.2 Le plan Hulot : reflet de l'emprise des acteurs du secteur électrique	194
1.3 Une vision différente pour les gaziers	200
2) Garantir un prix compétitif à l'hydrogène : de l'hydrogène « vert » à l'hydrogène « bas-carbone »	202
2.1 Favoriser l'hydrogène renouvelable ou l'hydrogène décarboné ?	203
2.2 Quelle échelle de production pour l'hydrogène ?	209
Section 2 : Émergence de la logique des hubs hydrogène régionaux	217
1) 1) Structurer des filières hydrogène à l'échelle régionale	217
1.1 Identification du rôle des Régions dans le déploiement de l'hydrogène en France	219
1.3 Structurer la production d'hydrogène vert à l'échelle régionale.....	225
2) Quel rôle des Régions dans la gouvernance multi-niveaux de l'hydrogène ? .	228
2.1. Des Régions stratégiques ?.....	228
2.2. Les Régions, actrices ou agents du déploiement de l'hydrogène en France ?.....	234
Conclusion du chapitre	242

Chapitre 4 : Les bassins industriels hydrogène	246
Section 1 : Émergence d'une problématisation technologique et industrielle de l'hydrogène.....	248
1) Le développement d'une filière française de l'hydrogène : entre massification et industrialisation	248
1.1 Baisser les coûts de production par électrolyse de l'eau	248
1.2 Alliances entre acteurs du secteur de l'énergie et de l'industrie : construction d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène.....	250
1.3 Montrer le potentiel technologique et industriel d'une filière française de l'hydrogène.....	256
2) Une reprise en main par l'État.....	265
2.1 L'hydrogène, une réponse politique à un problème industriel ?.....	265
2.2 La nouvelle stratégie nationale : être producteur mondial d'hydrogène vert en s'appuyant sur le mix énergétique français.....	269
Section 2 : La difficile mise en œuvre de la nouvelle vision de l'hydrogène : divergences et rivalités entre secteurs, échelles et acteurs	281
1) Une gouvernance étatique qui reflète des points de vue divergents	281
1.1 Une nouvelle gouvernance étatique de la filière hydrogène	281
1.2 Construire l'offre et la demande : reflet d'une intervention étatique en silo	286
2) Une vision industrielle du déploiement de l'hydrogène portée par les acteurs de l'énergie et de l'industrie suscitant des zones de tensions.....	296
2.1 Déployer l'hydrogène à l'échelle de bassins industriels.....	297
2.2 Quelle cohabitation possible avec les écosystèmes territoriaux ?	307
Conclusion du chapitre	314
 Conclusion générale	319
Bibliographie	336
Annexes	355

Table des figures

Figure 1 : chaîne de valeur de l'hydrogène.	26
Figure 2 : Synthèse du raisonnement de la thèse.....	65
Figure 3 : fonctionnement d'une pile à combustible de type PEMFC.....	81
Figure 4 : comparaison des technologies de stockage de l'énergie électrique en fonction de la capacité énergétique et de la constante de temps.	88
Figure 5 : schéma de fonctionnement d'un électrolyseur.	91
Figure 6 : Taux de CO2 émis par kilogramme d'hydrogène produit en fonction des modes de production.	93
Figure 7 : la chaîne de valeur du procédé « Power-to-Power »	95
Figure 8 : chaîne de valeur du procédé Power-to-gaz.	97
Figure 9 : Schéma du couplage entre les réseaux électrique et gazier.....	97
Figure 10 : les sept rôles de l'hydrogène dans la transition énergétique d'après l'AFHYPAC.	102
Figure 11 : photo d'un véhicule full hydrogen développée par Toyota.	125
Figure 12 : fonctionnement d'un véhicule électrique à hydrogène.	126
Figure 13 : borne de recharge hydrogène développée par Air Liquide.....	126
Figure 14 : comparaison des différentes technologies de véhicules en fonction de leur taux d'émission et de leur autonomie. Source : McKinsey (2010).....	130
Figure 15 : membres du consortium H2 Mobilité France en 2014.	133
Figure 16 : proposition d'une stratégie nationale pour le déploiement de la mobilité hydrogène.....	136
Figure 17 : carte des zones d'implantation des infrastructures du projet ZEV en juin 2019.	163
Figure 18 : rôle le SAS dans le projet ZEV.....	165
Figure 19 : Rôle des différentes parties prenantes du projet ZEV.	180
Figure 20 : schéma du concept de Power-to-gas-to-power et les rendements associés.	199
Figure 21 : Les usages de l'hydrogène à horizon 2030 - 2035 selon RTE. Source : RTE, 2020	199
Figure 22 : Cartographie des projets répondant à l'AMI national.	224
Figure 23 : taux d'apprentissage des technologies de l'hydrogène.	250
Figure 24 : représentation de la chaîne de valeur par une coalition d'acteurs industriels dans le cadre du Pacte Productif.....	259
Figure 25 : organes de gouvernance étatiques.	285

Figure 26 : Graphique pour identifier les zones d'influence en fonction de la distance et de la capacité des stations de distribution par rapport à la zone de production.	299
Figure 27 : cartographie des sept bassins hydrogène identifiés par l'étude de France Hydrogène.....	301
Figure 28 : planification et spatialisation du déploiement de l'hydrogène en France selon les acteurs gaziers.....	304
Figure 29 : planification du déploiement de l'hydrogène à court, moyen et long termes...	305
Figure 30 : projet de pipeline de la région Auvergne-Rhône-Alpes.	311
Figure 31: répartition des différents de production de l'hydrogène en France.....	355

Table des tableaux

Tableau 1 : caractéristiques générales du secteur électricité et de l'alternative "énergies renouvelables".	45
Tableau 2 : Typologie des instruments d'action publique. Source : Lascoumes & Le Galès, 2004, p. 361	62
Tableau 3 : les différents types d'instruments mobilisés pour le déploiement de l'hydrogène. Réalisation : auteure	63
Tableau 4 : récapitulatif des données de thèse issues des différents terrains d'étude.	71
Tableau 5 : caractéristiques de la problématisation de référence de l'hydrogène. Réalisation : auteure	119
Tableau 6 : caractéristiques de la première configuration sociotechnique et de la problématisation de référence. Réalisation : auteure	184
Tableau 7 : récapitulatif des scénarios de bilan prévisionnel.	192
Tableau 8 : les différentes couleurs de l'hydrogène en fonction des modes de production.	204
Tableau 9 : les compétences régionales relatives aux domaines concernant l'hydrogène. Réalisation : auteure à partir des données de l'association Régions de France.	218
Tableau 10 : Plan Hydrogène Occitanie publié en juin 2019.	220
Tableau 11 : caractéristiques de la deuxième configuration sociotechnique. Réalisation : auteure	244
Tableau 12 : évolution des membres impliqués dans le CSF NSE lors de la signature du contrat en mai 2019 et en novembre 2021.	256
Tableau 13 : Présentation des actions ciblées par le plan France Relance en 2020.	268
Tableau 14: axes de la nouvelle stratégie nationale hydrogène en 2020.	271
Tableau 15 : récapitulatif des différences entre les appels à projets de 2018 et 2020.	291
Tableau 16 : caractéristiques des trois configurations sociotechniques de l'hydrogène et de la problématisation de référence. Réalisation : auteure	316

Table des abréviations

AAP	Appel à projets
AIE	Agence internationale de l'énergie
AMI	Appel à manifestation d'intérêt
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ANR	Agence nationale de la recherche
AFHYPAC	Association française de l'hydrogène et des piles à combustible
AFH2	Association française de l'hydrogène
AOT	Autorité organisatrice des transports
AREC	Agence régionale de l'énergie et du climat
ATEE	Association technique énergie et environnement
AURA	Auvergne-Rhône-Alpes
BPI	Banque pour l'investissement
CCG	Cycle combiné gaz
CCS	Carbon Capture and Storage
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CGE	Conseil général de l'économie
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CGDD	Commissariat général au développement durable
CNH	Conseil national de l'hydrogène
CNI	Conseil national de l'industrie
CO ₂	Dioxyde de carbone
CRE	Commission de régulation de l'énergie
CSF NSE	Contrat stratégique de filière Nouveaux systèmes énergétiques
C2I	Conseil de l'innovation
DGE	Direction générale des entreprises
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGRI	Direction générale de la recherche et de l'innovation
EDF	Electricité de France
EGI	Etats généraux de l'industrie
ENR	Energie renouvelable
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale
EPR	Réacteur pressurisé européen
FCH JU	Fuel cells hydrogen joint undertaking
GEN IV	Generation IV

GES	Gaz à effet de serre
GDF	Gaz de France
GRDF	Gaz réseau distribution France
H2MF	Hydrogène Mobilité France
H ₂	Hydrogène
IFP	Institut français du pétrole
IPCEI	Important project of common european interest
LTEPCV	Loi relative à la transition énergétique et pour la croissance verte
MESRI	Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation
MH2	Montpellier horizon hydrogène
MIE	Mécanisme pour l'interconnexion en Europe
MTE	Ministère de la transition écologique
NOTRe	Loi portant sur la Nouvelle organisation territoriale de la république
OPESCT	Office parlementaire et scientifique des choix technologiques
PAN-H	Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustibles
Phyrénées	Association de Production d'hydrogène renouvelable écologique éolien et solaire
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
PIIEC	Projet important d'intérêt européen commun
PV	Panneau photovoltaïque
P2G	Power-to-gas
P2G2P	Power-to-gas-to-power
REPOS	Région à énergie positive
RTE	Réseau de transport d'électricité
SAS	Société par actions simplifiées
SEM	Société d'économie mixte
SGPI	Secrétariat général pour l'investissement
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SPL	Société publique locale
SRI	Schéma régional de l'innovation
TAC	Turbine à combustion
TER	Transport express régional
TCO	Total cost of ownership, coût total de possession
ZEV	Zero Emission Valley
ZNI	Zone non interconnectée

Introduction générale

« C'est maintenant qu'il faut agir. Le défi climatique nous impose d'investir dans des innovations à haut risque et de mettre fin au "surcoût écologique" associé à la commercialisation des nouvelles technologies. J'ai hâte que ces technologies soient mises sur le marché. Le partenariat UE-Catalyst nous rapproche un peu plus de notre objectif : faire de l'Europe le premier continent neutre sur le plan climatique et le premier continent en matière d'innovation climatique. Aux États membres et aux entreprises, entre autres, de se lancer dans la course à l'innovation climatique ! »

Mme Ursula von der Leyen, présidente de la Commission européenne le 2 novembre 2021

« La neutralité carbone sera l'une des choses les plus difficiles que l'humanité ait jamais accomplies. L'atteindre nécessitera de nouvelles technologies, de nouvelles politiques et de nouveaux partenariats entre le secteur privé et le secteur public, à une échelle sans précédent. »

Bill Gates, le 2 novembre 2021

En 2021, lors de la conférence des parties à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, la Commission européenne, la Banque européenne d'investissement et le célèbre fondateur du fonds d'investissement Breakthrough Energy, Bill Gates, ont signé un partenariat pour stimuler les investissements dans les technologies jugées comme essentielles pour répondre aux enjeux climatiques. Ce partenariat permet de mobiliser jusqu'à 820 millions d'euros entre 2022 et 2026 afin d'investir dans de nouvelles solutions technologiques pour atteindre les objectifs climatiques fixés par l'Union européenne à horizon 2030¹. Quatre secteurs sont identifiés pour faire l'objet de soutiens

¹ Commission européenne. (2021, 2 novembre). *Communiqué de presse du 2 novembre 2021, La Commission, Breakthrough Energy Catalyst et la Banque européenne d'investissement font avancer leur partenariat dans le domaine des technologies climatiques.* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_21_5586 (Consulté le 31/08/2022)

massifs publics et privés : l'hydrogène propre, les carburants durables pour l'aviation, le captage direct de l'air² et le stockage d'énergie de longue durée. Ces quatre domaines technologiques, et plus particulièrement l'hydrogène, qui est l'objet même de cette thèse, reflètent une certaine conception dans la manière d'appréhender les problèmes climatiques. Il s'agit de considérer que des réponses technologiques nous permettent de maintenir nos consommations énergétiques actuelles tout en réduisant les effets sur le climat. Ainsi, pour les membres signataires de ce partenariat, se dessine la nécessité de mettre en œuvre « *une révolution technologique mondiale* » grâce à des innovations pionnières, comme l'hydrogène « vert », pour répondre aux enjeux écologiques³. Dans le discours qu'il prononce, lors de la signature du partenariat, l'ancien fondateur américain de Microsoft insiste fortement sur le besoin d'investir pour soutenir le développement de nouvelles technologies innovantes afin de répondre à la crise environnementale. La vision qu'il expose est de considérer que des solutions technologiques, déjà existantes ou nouvelles, vont permettre d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre. Grâce au développement de technologies dites « vertes » c'est-à-dire qui permettent de réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement, Bill Gates développe ainsi l'idée qu'il serait possible de maintenir les activités et modes de vie actuels, tout en réduisant les conséquences sur l'environnement.

L'idée selon laquelle il est possible de résoudre la crise climatique grâce à des progrès technologiques est présente dans le discours de plusieurs hommes politiques. En témoigne, par exemple, le plan France 2030 du Président Emmanuel Macron, présenté en octobre 2021, dans lequel ce dernier défend l'idée d'investir massivement sur quelques technologies clés pour répondre aux enjeux environnementaux et énergétiques. L'hydrogène vert fait partie des « innovations de rupture » qui vont permettre de « *produire différemment de l'énergie et de l'électricité et à commencer à contribuer justement à ce monde où on produit mieux, et plus décarboné*⁴ », et pour lequel l'Etat prévoit un investissement de plus de 9 milliards d'euros d'ici 2030. Il s'agit donc de produire mieux, tout en satisfaisant les consommations. Le chef du gouvernement français fait donc le pari que les technologies apporteront les réponses nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et atteindre la neutralité carbone à horizon 2050, tout en engendrant des retombées économiques et sociales positives.

La place des technologies discutée

Si le rôle des technologies est omniprésent dans les discours de personnalités politiques mais aussi d'hommes d'affaires à la tête de multinationales, il reste néanmoins critiqué.

² Le captage direct de l'air est le captage du CO₂ présent dans l'air ambiant.

³ Op. Cit.

⁴ Discours du président de la République à l'occasion de la présentation du plan France 2030 le 12 octobre 2021.

Conceptualisée par Evgeny Morozov (2014) avec la notion de « solutionnisme technologique », cette confiance revient à considérer que les technologies peuvent répondre à tous les problèmes⁵. Ce positionnement « techno-solutionniste⁶ » est associé à l'idée qu'une croissance verte est possible c'est-à-dire, selon la définition de l'OCDE, de « promouvoir la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et services environnementaux dont dépend notre bien-être⁷ ».

Cette croyance dans la technique n'est pas seulement présente pour les enjeux environnementaux mais pour l'ensemble des problèmes sociaux, économiques, industriels que les sociétés peuvent rencontrer. Jacques Ellul, professeur de droit à Bordeaux et philosophe, adopte, dans plusieurs de ses ouvrages, une posture critique vis-à-vis de la technique et la façon dont celle-ci est régulièrement érigée en tant que solution face aux problèmes sociétaux. Selon lui, la sacralisation de la technique par les hommes est responsable de la destruction de l'environnement et de la morale. Si certains points de la pensée de Ellul peuvent être critiquables, il n'en reste pas moins que cet auteur dénonce la démesure technologique et les effets que celle-ci peut avoir sur notre environnement. « *Chaque progrès technique est destiné à résoudre un certain nombre de problèmes. Ou, plus exactement : en face d'un danger, d'une difficulté précis, limités, on trouve forcément la réponse technique adéquate. Ceci provient de ce que c'est le mouvement même de la technique, mais répond aussi à notre conviction profonde, générale dans les pays développés, que tout peut être ramené à des problèmes techniques.* » (Jacques Ellul, 1989, p. 112).

Parmi les technologies sur lesquelles beaucoup d'hommes politiques ou d'industriels misent pour résoudre les problèmes énergétiques et climatiques, l'une d'entre elles concerne le déploiement de l'hydrogène dit « vert ».

⁵ <https://www.leaders.com.tn/article/33246-l-economisme-le-solutionnisme-technologique-et-la-pensee-en-silo-cadenassent-les-reflexions-sur-la-transition> (Consulté le 31/08/2022)

⁶ France culture. *Ecologie : pourquoi la technologie ne nous sauvera pas ?*, 15 mai 2019, 34 min. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-grande-table-idees/ecologie-pourquoi-la-technologie-ne-nous-sauvera-pas-1472275> (Consulté le 31/08/2022).

⁷ <https://www.oecd.org/fr/croissanceverte/quest-cequelacroissanceverteetcommentpeut-elleaideraassurerundeveloppementdurable.htm#:~:text=La%20croissance%20verte%20signifie%20promouvoir,dont%20dépend%20notre%20bien-être.> (Consulté le 31/08/2022).

L'hydrogène vert, solution miracle de la transition énergétique ?

« Révolution industrielle⁸ », « révolution énergétique⁹ », « vecteur passerelle¹⁰ », levier « incontournable¹¹ » de la transition énergétique, « clé de voute¹² », accélérateur de la transition énergétique, etc., autant de qualificatifs pour désigner l'hydrogène comme une solution de la transition énergétique dont on ne peut se passer. Tant dans le discours d'acteurs politiques que dans ceux d'acteurs privés, l'hydrogène est présenté comme un levier indispensable pour atteindre les objectifs fixés en matière de transition énergétique et de neutralité carbone. Il est considéré comme un vecteur permettant le passage du monde actuel au monde de demain. Un monde décarboné, indépendant des énergies fossiles grâce à l'introduction et au déploiement de nouvelles énergies et vecteurs énergétiques.

L'hydrogène, à travers ces discours, est présenté comme un vecteur énergétique¹³ qui permettrait justement de faire le lien entre ces deux mondes. Véritable « couteau suisse » des futurs mix énergétiques, l'hydrogène est perçu comme une solution pour de nombreux secteurs. L'engouement est tel qu'il apparaît, en 2022, presque inconcevable de ne pas l'inclure si l'on souhaite parvenir à construire ce « monde qui vient¹⁴ » et à « accélérer¹⁵ » et réussir la transition énergétique tant annoncée par les politiques.

Cette technologie, annoncée comme porteuse d'une « révolution », génère toutefois des controverses. Certains dénoncent une stratégie de diversion et d'écoblanchiment¹⁶ et montrent que le développement de l'hydrogène s'inscrit davantage dans une logique industrielle qu'écologique¹⁷. Des associations comme Négawatt, ou la fondation Nicolas Hulot pour la nature et l'homme, attirent l'attention sur le fait que l'hydrogène ne constitue pas une solution miracle¹⁸ et que son déploiement doit respecter certaines conditions¹⁹ afin d'éviter des externalités environnementales négatives.

⁸ Intervention de Barbara Pompili au Conseil national de l'hydrogène, le 25 février 2021.

⁹ Ibid.

¹⁰ AFHYPAC. (2018). *L'hydrogène, enjeu national, défis territoriaux*, p. 3.

¹¹ Ibid.

¹² Négawatt. (2017). *Synthèse du scénario Négawatt 2017—2050*. p. 4

¹³ Un vecteur énergétique n'existe pas en tant que tel, contrairement à une source d'énergie naturelle. Il est produit à partir de sources d'énergie et permet de transporter l'énergie. Par exemple, l'électricité ou les carburants sont des vecteurs énergétiques.

¹⁴ Edito de Pascal Mauberger, président de l'AFHYPAC : *L'hydrogène en France en 2015*, 2015.

¹⁵ Op. cit.

¹⁶ <https://www.revolutionpermanente.fr/Greenwashing-gaz-a-effet-de-serre-L-hydrogene-est-il-vraiment-une-energie-verte> (Consulté le 10/11/2022)

¹⁷ <https://reporterre.net/L-hydrogene-trop-gourmand-en-energie-pour-etre-ecologique> (Consulté le 10/11/2022)

¹⁸ Négawatt. (2020). *Note de positionnement septembre 2020 : Développer l'hydrogène : Pourquoi et comment ?*

¹⁹ Fondation Nicolas Hulot pour la nature et l'homme. (2020). *Les conditions de déploiement de l'hydrogène en France*

L'objectif de la thèse est, tel que nous pouvons le formuler provisoirement, de questionner cette « révolution » de l'hydrogène « vert » tant annoncée et d'interroger les changements techniques, politiques, institutionnels, organisationnels qui peuvent être induits par l'introduction de ce vecteur énergétique dans le système énergétique français. Il s'agit également de montrer les intérêts, les interrogations, les débats et les controverses que le déploiement de l'hydrogène suscite à différents niveaux en France.

Dans un premier temps, nous définissons ce qu'est l'hydrogène « vert » et ce que nous entendons par « révolution » de l'hydrogène « vert ». Dans un deuxième temps, nous nous appuyons sur une revue de la littérature sur l'hydrogène en sciences sociales afin de spécifier notre problématique de thèse. Enfin, nous mobilisons différents travaux académiques qui s'intéressent aux recompositions du système énergétique français pour préciser nos questionnement, axes de recherche et cadre théorique.

VERS UNE REVOLUTION DE L'HYDROGENE VERT ?

Dans l'optique d'analyser la « révolution » de l'hydrogène « vert », il convient de définir ce qui est entendu par hydrogène « vert », les usages qui lui sont associés et les formes d'intérêt que ce vecteur énergétique suscite dans le monde et en France à différents niveaux.

L'hydrogène « vert » : éléments de définition

Ce qui rend l'hydrogène particulièrement intéressant est sa capacité à stocker l'énergie électrique sous forme de gaz, qui peut être valorisé de différentes manières. Les applications visées sont multiples : la mobilité avec le développement de véhicules électriques à hydrogène, la production d'énergie électrique grâce à une pile à combustible pour des zones non reliées au réseau, l'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz ou encore le secteur de l'industrie en utilisant l'hydrogène en tant que matière première.

Bien que la molécule de dihydrogène, composée de deux atomes d'hydrogène (H_2) et communément appelée hydrogène, soit l'élément chimique le plus abondant de l'univers, elle est très rare à l'état naturel. De ce fait, l'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais un « vecteur énergétique » qu'il convient de produire grâce à différents procédés (cf. figure 1). En 2022, les méthodes de production font appel à des procédés chimiques dont la plupart ont recours à des énergies fossiles. La production mondiale d'hydrogène est à plus de 95 % issue d'énergies fossiles (gaz naturel, hydrocarbures, charbon) émettant, selon le procédé utilisé²⁰, entre 10 et 20 kg de CO_2 pour 1kg d'hydrogène produit. La méthode la plus courante étant le vaporeformage de gaz naturel suivi de la gazéification du charbon et de l'oxydation partielle d'hydrocarbures²¹. Cette production carbonée de l'hydrogène suscite néanmoins de nombreux débats au regard des ambitions concernant l'accroissement de son utilisation dans nos sociétés. Si l'hydrogène présente de nombreux avantages en termes d'applications, il reste nécessaire de décarboner sa production avant de le déployer massivement.

Dans cette perspective, d'autres procédés de production n'ayant pas recours aux énergies fossiles font l'objet d'une attention particulière par les pouvoirs publics et les industriels. L'un d'entre eux suscite un certain intérêt en France et en Europe : l'électrolyse de l'eau. L'électrolyse n'est pas seulement un moyen de décarboner la production d'hydrogène. Son utilisation permettrait aussi une meilleure valorisation des énergies renouvelables ainsi qu'une plus grande flexibilité des systèmes électriques. Cependant, cette méthode de production de

²⁰ AFHYPAC, Mémento de l'hydrogène. Fiche 1.3. Production et consommation de l'hydrogène.

²¹ Pour plus de détails sur ces différents procédés chimiques, voir Annexe 1.

l'hydrogène n'en reste pas moins peu utilisée en 2022. Cette technologie fait l'objet de nombreuses controverses freinant ainsi son déploiement à une plus large échelle. Les coûts associés au développement des technologies de l'hydrogène nécessitent des investissements massifs des acteurs privés et des pouvoirs publics.

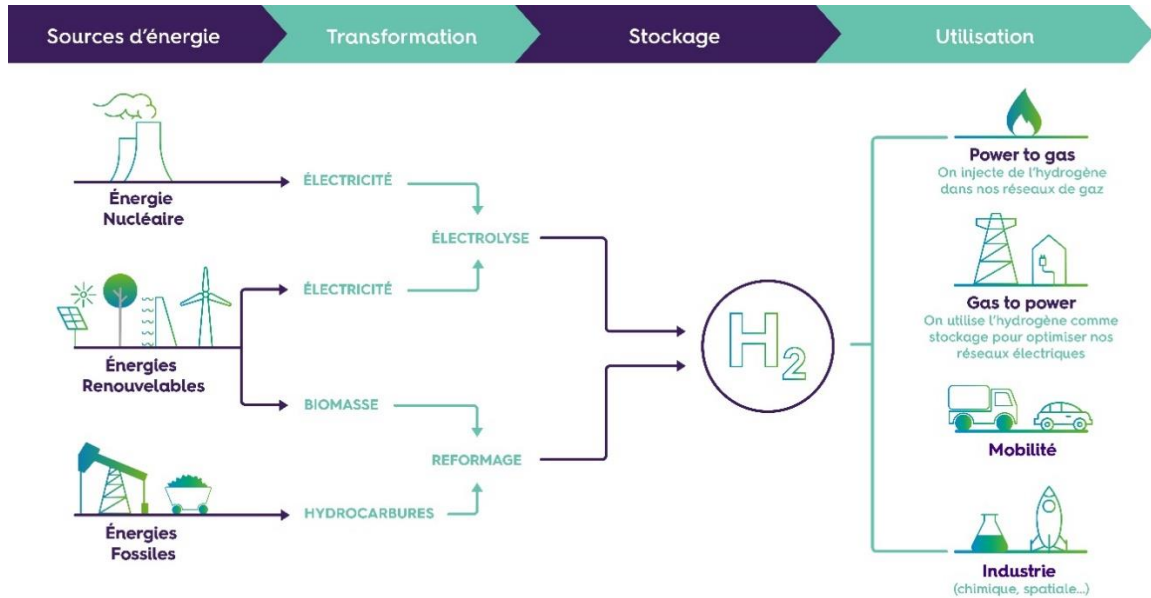


Figure 1 : chaîne de valeur de l'hydrogène.
Source : GRT Gaz et Terega, 2021

Un engouement de plus en plus marqué pour l'hydrogène « vert » dans le monde

Au cours des deux dernières années, de nombreux États (Allemagne, France, Portugal, Finlande, etc.) ont élaboré des plans d'action ambitieux en faveur de l'hydrogène. En juin 2020, l'Allemagne publie sa stratégie nationale pour l'hydrogène, pour laquelle 9 milliards d'euros sont mobilisés. Le pays prévoit la production de 5 GW d'hydrogène issu d'énergies renouvelables à horizon 2030 et le double à horizon 2040. Pour y parvenir, la stratégie allemande s'appuie sur une production nationale d'hydrogène mais surtout sur l'importation d'hydrogène renouvelable depuis des pays de l'Europe du Sud ou de l'Afrique du Nord, où les sources renouvelables sont abondantes. L'Espagne, le Portugal, la Grande-Bretagne, la Finlande, l'Italie et la France imitent alors l'exemple de l'Allemagne et publient également, dans les mois qui suivent, des stratégies nationales hydrogène. La plupart de ces plans d'action nationaux projettent à horizon 2030 des objectifs en termes de production d'hydrogène renouvelable ou décarboné, de développement de la mobilité hydrogène et de décarbonation de l'industrie. Face à l'engouement de plusieurs pays et régions, l'Union

européenne publiée le 8 juillet 2020 une stratégie hydrogène fixant des objectifs à atteindre à court et moyen termes. Pour accompagner cette nouvelle feuille de route, une plateforme *Clean Hydrogen Alliance* est créée afin de faciliter la coopération et la coordination entre les différents acteurs publics et privés présents sur la chaîne de valeur de l'hydrogène.

La dynamique n'est pas seulement européenne mais aussi mondiale. Certains pays asiatiques comme la Chine, le Japon ou la Corée du Sud mettent en place des objectifs ambitieux à horizon 2030 ou 2040 et misent notamment sur la production en série des équipements et composants nécessaires au déploiement de ce vecteur²². Les pays du Sud comme le Chili ou le Maroc ambitionnent de s'appuyer sur leurs ressources énergétiques renouvelables (solaire et éolien) pour produire massivement de l'hydrogène renouvelable et l'exporter. Ils affichent ainsi des objectifs très ambitieux en termes de production d'hydrogène renouvelable dès 2025, afin de répondre à la demande croissante en hydrogène décarboné des pays du Nord. À titre d'exemple, le Chili projette une production de 5 GW d'hydrogène vert issu principalement d'énergie solaire dès 2025 et une multiplication par 5 de la production pour 2030. Les investissements concernant l'hydrogène sont de plus en plus importants avec, déjà, une augmentation de l'enveloppe budgétaire prévue par certains États à peine quelques mois après la publication de leur stratégie²³.

L'analyse des stratégies mondiales de l'hydrogène met en lumière l'idée que l'hydrogène n'est pas perçu de la même façon et s'inscrit dans des projets énergétiques, économiques, industriels disparates. Ce n'est pas seulement entre les nations que l'appropriation de l'hydrogène s'avère être divergente mais également au sein d'un même pays, où les acteurs à différents niveaux projettent à travers ce vecteur énergétique des conceptions et des idées différentes.

Le déploiement de l'hydrogène est donc socialement construit. Les trajectoires dans lesquelles il s'inscrit ne sont pas uniques et dépendent de facteurs économiques, sociaux, politiques propres aux systèmes d'acteurs qui s'en emparent. Nous considérons que les choix technologiques ne sont pas « neutres » mais qu'ils sont révélateurs de la manière dont un problème peut être défini et du contexte dans lequel il se construit. Il ne s'agit pas de s'intéresser uniquement aux décisions prises à l'échelle nationale mais de prendre en compte l'ensemble des dynamiques présentes au niveau des territoires qui participent à la construction du déploiement de l'hydrogène.

²² <https://www.france-hydrogene.org/lhydrogene-dans-le-monde/> (Consulté le 18/08/2022).

²³ En France, le président Emmanuel Macron a annoncé en octobre 2021 soit un an après la publication de la stratégie nationale, une enveloppe budgétaire supplémentaire de 1,9 milliard d'euros pour l'hydrogène en plus des 7,2 milliards déjà prévus dans la stratégie de 2020.

Développement de l'hydrogène vert en France : quel rôle des territoires ?

En France, l'intérêt pour l'hydrogène ne fait que croître depuis plusieurs années. Deux stratégies nationales ont déjà été publiées, la première en juin 2018 par le ministre de la Transition Écologique, Nicolas Hulot, et la seconde en septembre 2020 par les ministres de l'Économie, Bruno Le Maire, et de la Transition Écologique, Barbara Pompili. Ces plans d'action ont donné lieu à la mise en place de dispositifs de financements et de soutien pour favoriser l'émergence de projets hydrogène et leur développement à une plus large échelle.

Le mot « territoire » est omniprésent dans les stratégies françaises de l'hydrogène et les différents modèles de déploiement élaborés impliquent fortement les acteurs territoriaux. On parle alors « d'écosystèmes territoriaux hydrogène », « de hubs territoriaux hydrogène », ou encore « de territoires hydrogène », sans que cela ne donne lieu à une définition précise. Ces différents termes, selon les acteurs interrogés, renvoient à des représentations différentes et à des périmètres variés (aéroports, ports, villes, zones industrielles, régions, etc.) sur la manière d'appréhender le déploiement de l'hydrogène en France. La stratégie française cherche à associer les acteurs territoriaux (collectivités territoriales, acteurs économiques, acteurs parapublics, etc.) pour contribuer à la construction d'une filière hydrogène française sans définir précisément leurs rôles.

Cet engouement pour l'hydrogène était déjà présent à l'échelle territoriale avant même que l'État ne s'intéresse réellement au sujet. Les Régions sont rapidement désignées par certains acteurs industriels et nationaux comme un échelon pertinent pour mailler leur territoire en infrastructures au regard de leurs nouvelles compétences institutionnelles (chef de file de la transition énergétique, des transports ferroviaires, des formations, des fonds européens, etc.). Dans ce contexte, plusieurs Régions se mobilisent fortement sur le sujet questionnant de fait leur rôle dans la régulation d'une filière émergente de l'hydrogène. En 2022, la majorité des régions françaises ont publié des feuilles de route hydrogène dans lesquelles des objectifs sont fixés pour la prochaine décennie.

De la même manière, d'autres échelons (métropoles, syndicats d'énergie, communautés d'agglomérations, etc.) s'intéressent aussi à l'hydrogène et investissent ce domaine pour mettre en œuvre des projets sur leur territoire. Chaque année de plus en plus de projets sont élaborés par les acteurs publics et privés, à différents niveaux, illustrant leur volonté de participer au déploiement d'une filière française de l'hydrogène.

Ainsi, ce vecteur énergétique séduit les territoires par sa capacité à pouvoir être produit et utilisé localement pour décarboner les usages. Pour certains acteurs territoriaux, l'hydrogène peut être perçu comme un levier de décentralisation de l'énergie, voire même un moyen d'accéder à une autonomie énergétique grâce au stockage des énergies renouvelables.

L'hydrogène devient ainsi un objet fortement convoité, une sorte de « promesse technoscientifique » (Joly, 2015) qui viendrait résoudre de nombreux défis énergétiques et environnementaux aussi bien nationaux que locaux.

Déconstruire la promesse de l'hydrogène « vert » en France et dans les territoires

L'intérêt pour l'hydrogène n'est pas nouveau et a déjà fait l'objet de périodes d'engouement et de désintérêt, comme nous le verrons par la suite. Néanmoins la manière dont il est appréhendé et problématisé évolue en fonction des périodes et des contextes dans lequel il s'inscrit. La brève analyse des stratégies nationales de l'hydrogène dans le monde nous a permis de mettre en exergue le fait que l'hydrogène peut être intégré dans des politiques énergétiques, économiques et industrielles différentes les unes des autres.

Depuis une dizaine d'années, compte tenu des problématiques liées à la transition énergétique l'hydrogène fait l'objet d'un regain d'intérêt à différentes échelles. Ce sont des milliards d'euros qui sont investis en faveur de son développement et de nombreux acteurs parient sur sa capacité à résoudre des problèmes énergétiques, climatiques mais aussi économiques et industriels. L'hydrogène devient ainsi une sorte de solution miracle que l'on cherche à tout prix à mettre en œuvre dans l'espoir de répondre aux enjeux de transition énergétique.

Plusieurs acteurs lui associent un caractère « révolutionnaire » en considérant que son déploiement générerait de nombreux changements énergétiques, économiques et politiques allant jusqu'à évoquer le passage à une « économie de l'hydrogène²⁴ ». Ils expriment l'idée d'un « changement de paradigme²⁵ » grâce à l'hydrogène, dans le sens où il ne s'agit pas seulement d'apporter des modifications d'un point de vue technique mais également dans la manière de produire et de consommer. C'est pourquoi l'idée même de « rupture » est utilisée pour indiquer le passage d'un état à un autre, où de multiples bouleversements dans nos façons de faire sont attendus. A l'opposé, pour d'autres acteurs, l'hydrogène est considéré comme une solution technologique qui permettrait le maintien de nos modes de vie actuels sans nécessiter de profonds changements de nos systèmes économiques et énergétiques.

Cette « révolution » n'est pas seulement pensée comme participant d'un verdissement du secteur énergétique. Elle est aussi parfois présentée comme une opportunité pour les territoires, à l'instar des énergies renouvelables, de renforcer leur rôle au niveau du système énergétique. En effet, la possibilité d'avoir une production décentralisée de l'hydrogène, proche des usages permettant aux territoires de stocker l'énergie électrique et de la restituer

²⁴ Rifkin, J., & Guilhot, N. (2002). *L'économie hydrogène : Après la fin du pétrole, la nouvelle révolution économique*. Éd. la Découverte.

²⁵ Interview de Lucien Mallet président de l'entreprise H2V, pour le magazine hydrogenium, septembre 2018.

ultérieurement questionne sur les effets produits au niveau de la gouvernance du système énergétique.

Au regard de ces constats, la thèse cherche à remettre en perspective l'idée d'une « révolution » de l'hydrogène « vert ». **Dans quelle mesure cette « révolution » de l'hydrogène vert a-t-elle lieu en France ? Comment se traduit-elle au niveau des territoires ? Quels sont les changements qu'elle engendre au niveau du système énergétique français ?**

Dans l'optique de répondre à ces questions, nous considérons que le terme de « révolution de l'hydrogène » peut être analysé à travers deux dimensions.

La première renvoie à l'idée que l'hydrogène « vert » entrainerait un changement de paradigme, c'est-à-dire un changement dans la manière de penser le système énergétique en termes de « techniques, de pratiques, de règles et de sens » (Raineau, 2011).

La seconde concerne la dimension « organisationnelle » du système énergétique. Plus particulièrement, elle interroge la capacité de cette « révolution de l'hydrogène vert » à engendrer la mise en place d'une nouvelle forme de gouvernance énergétique.

Pour ce faire, nous souhaitons explorer la manière dont les acteurs, depuis une dizaine d'années, se saisissent de l'hydrogène et projettent son déploiement en France et dans les territoires en réponse aux enjeux de transition énergétique.

UNE APPROCHE CONSTRUCTIVISTE ET MULTI-NIVEAUX DU DEPLOIEMENT DE L'HYDROGENE EN FRANCE

Afin de spécifier davantage notre positionnement de recherche, nous nous appuyons, dans un premier temps, sur une revue de la littérature en sciences sociales sur l'hydrogène. Cette dernière nous permet de mettre en exergue les dimensions qui n'ont pas été étudiées par les différents auteurs et que nous souhaitons intégrer dans notre approche.

L'hydrogène, un objet encore peu étudié en sciences sociales

Si l'hydrogène fait l'objet d'une abondante production scientifique dans les domaines des sciences de l'ingénieur, de la chimie et de la physique, le développement de ce vecteur énergétique est encore peu appréhendé par les sciences sociales.

En science économique, plusieurs auteurs étudient les facteurs technico-économiques qui influencent la construction d'une filière de l'hydrogène décarboné (Bento, 2010, Damette et al., 2020). Damette et al. (2020) montrent qu'il n'existe pas un modèle unique de déploiement mais que le développement dépend d'arbitrages concernant la vitesse de mise en œuvre, les coûts et la rentabilité. Ainsi, plusieurs incertitudes demeurent concernant l'avènement d'une économie de l'hydrogène (Damette et al., 2020).

Néanmoins, si, pour ces auteurs, le passage d'une économie fondée sur les énergies fossiles à l'hydrogène n'est pas si évident et soulève plusieurs questionnements, l'objet technique hydrogène en tant que tel n'est pas interrogé. Ces travaux, tout comme ceux en sciences de l'ingénieur, abordent généralement l'hydrogène de manière neutre, c'est-à-dire que la dimension politique dans la formulation d'une solution technique n'est pas prise en compte. Ces recherches adoptent, de fait, un point de vue éminemment technique et solutionniste, sans interroger les représentations construites autour de l'objet hydrogène. Dans ces travaux, les questions de gouvernance sont évoquées uniquement comme des moyens de mettre en œuvre une solution, dont la pertinence n'est pas interrogée. Hisschemöller et al. (2006), par exemple, s'intéressent à différents modèles de gouvernance et à la manière dont ces derniers peuvent favoriser une transition plus ou moins rapide et plus ou moins radicale vers une économie de l'hydrogène.

En ce qui concerne notre démarche, nous adoptons un positionnement qui est inverse, puisque c'est à partir de l'analyse des modalités de déploiement et de gouvernance émergentes aux échelles nationale et locale que nous interrogeons les « solutions » en cours de développement.

Nous ne considérons pas l'objet hydrogène comme étant un objet technique défini et stable, mais plutôt comme un objet en cours de définition par une pluralité d'acteurs et d'éléments dont nous analysons les interactions.

Interroger le lien entre acteurs et déploiement de l'hydrogène

Certains auteurs ont souhaité prendre en compte d'autres paramètres que ceux des économistes et se sont penchés davantage sur le lien entre innovation et politique en s'intéressant à la diffusion des technologies liées à l'hydrogène, plus particulièrement à celles des piles à combustible (Suurs et al., 2009, Simoncini, 2018, Picard & Rey, 2019). En s'inspirant de l'approche développée des systèmes technologiques d'innovation (Technology Innovation System TIS), l'objectif pour ces auteurs est de s'intéresser aux acteurs, aux réseaux et aux institutions qui influencent la diffusion d'une nouvelle technologie. Suurs et al. (2009) s'intéressent, sur la période 1980 – 2007, aux différents moteurs et barrières intervenant dans la diffusion des piles à combustible aux Pays-Bas. Ils montrent qu'en fonction des différentes phases, acteurs, technologies qui entrent en jeu, ces éléments viennent redéfinir le système sociotechnique autour des piles à combustible.

Simoncini (2018), dans sa thèse, retrace l'histoire des piles à combustible des années 1950 au début des années 1980 en France. En adoptant une approche socio-historique, il montre les différents systèmes d'acteurs qui se sont intéressés à cette technologie et la manière dont ils influencent la façon d'appréhender les piles à combustible. En s'appuyant sur les notions de « *réseau social* » et de « *collectif de pensée* », Simoncini décrit les différentes fonctions qui ont été attribuées aux piles à combustible et les controverses qui ont émergé concernant leur développement.

De la même manière, Picard et Rey (2019) s'intéressent à la diffusion de cette technologie en France dans les années 2010 et focalisent leur étude sur les chercheurs et leurs attentes, « *expectations* », vis-à-vis des industriels et des pouvoirs publics (Picard & Rey, 2019). Les auteurs montrent qu'en l'absence d'une prise en compte des différents systèmes de représentation, des points de blocage émergent, ce qui constitue un frein non négligeable pour le développement d'une technologie (Picard & Rey, 2019).

La complexité du sujet de l'hydrogène et la pluralité d'acteurs qu'il mobilise nécessitent des espaces de coordination et d'articulation entre les intérêts de chacun afin de parvenir à cadrer

son déploiement. La question du rôle des acteurs publics, à différents niveaux, renvoie à leur capacité à piloter et coordonner le développement de ce vecteur. Ainsi, des auteurs se sont focalisés sur les politiques publiques européennes de l'hydrogène et la manière dont elles sont construites (Bleischwitz & Bader, 2010, Ante 2015). Galich Ante (2015), dans sa thèse en science politique, montre que la construction des politiques européennes de l'hydrogène résulte d'une co-construction entre un groupe d'experts issus du monde industriel et des acteurs de la Commission européenne. L'auteur retrace les différentes périodes qui ont marqué les actions européennes en faveur de l'hydrogène et l'évolution des représentations construites autour de ce vecteur énergétique. Il montre également le rôle clé de certains « entrepreneurs politiques », à l'interface entre l'expertise et le politique, qui parviennent à influencer les représentations construites pour faire le lien entre les problématiques de chacun. Ante met en avant le rôle du politique dans la construction de représentations de l'hydrogène ainsi que son caractère « flexible », sur lequel jouent les « entrepreneurs politiques » pour répondre aux enjeux actuels.

Néanmoins, l'analyse menée par cet auteur s'en tient aux échelles nationales et européennes et la mise en œuvre concrète de ces politiques publiques dans les territoires n'est pas abordée. Par ailleurs, si ces différents travaux montrent le caractère flexible de l'hydrogène à travers les différents systèmes d'acteurs et les formes de représentations qui peuvent émerger, ils ne s'intéressent pas à l'introduction de l'hydrogène dans le secteur énergétique ni aux modifications qu'il peut apporter. Ces auteurs n'interrogent pas l'idée de considérer l'hydrogène en tant que solution de la transition énergétique.

La prise en compte des territoires et des enjeux de transition énergétique

Depuis quelques années, quelques chercheurs en sociologie se sont intéressés à l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique et l'image « révolutionnaire » qui peut lui être associée. Esdras Ngounou Takam (2021) met en avant le caractère transformationnel que l'hydrogène peut avoir au niveau du secteur énergétique. L'auteur s'appuie sur les « potentialités » offertes par les technologies de l'hydrogène pouvant être considérées comme « disruptives » et permettant une « réappropriation » de l'énergie. Il montre que les technologies de production et de distribution de l'hydrogène peuvent entraîner des modifications dans la manière de percevoir l'énergie, en la faisant passer d'une « valeur d'usage » à une « valeur d'échange », générant « des rapports différents aux ressources énergétiques comme marchandises ». Ces changements de perception pourraient avoir des conséquences aux niveaux politique, géopolitique, économique et social.

Dans cette optique, selon l'auteur, de telles modifications ne peuvent s'effectuer de manière descendante mais prendront naissance dans les territoires et dans les pratiques. Il est, en cela,

suivi par Turmel (2021), qui estime que, pour éviter les écueils du passé rencontrés dans la mise en œuvre de projets énergétiques, l'hydrogène doit être appréhendé de manière différente et constituer « un socle de changement social, environnemental et économique ». Ce dernier estime que pour éviter une « inacceptabilité sociale » de l'hydrogène, il est nécessaire de mettre en place des démarches de « co-construction » dans les territoires. Il ne s'agit pas de reproduire les modèles précédents mais plutôt de s'en saisir « comme une révolution dépassant les paradigmes technico-économiques dans lesquels se sont enlisées certaines technologies par le passé au détriment de leurs plus-values environnementales » (Turmel, 2021). Pour autant, ces « potentialités » restent encore hypothétiques et dépendent de la manière dont les acteurs vont se saisir de cette technologie dans les années à venir (Ngounou Takam, 2021).

Partant de ces potentialités de l'hydrogène, d'autres auteurs ont questionné les formes d'appropriation de l'hydrogène à l'échelle locale. Dany Lapostolle étudie des projets démonstrateurs hydrogène en Bourgogne-Franche-Comté. Il montre que ceux-ci restent soumis aux cadrages technico-économiques classiques faisant appel aux acteurs et processus décisionnels traditionnels. Ainsi, les projets hydrogène ne constituent pas « une démarche alternative de trajectoire de transition » (Lapostolle, 2021). Dans le même registre, Rudy Amand (2021) mène une étude socio-anthropologique en Normandie sur l'émergence du sujet au niveau régional et sur la participation citoyenne à l'élaboration de projets hydrogène. À travers son ouvrage, il montre que la prise en main par le Conseil départemental et le Conseil régional participe à une « dépolitisation » de l'hydrogène et à l'abandon progressif de faire de l'hydrogène un vecteur de territorialisation. Il en résulte une prise en charge du sujet par les acteurs dominants du système énergétique, qui présentent l'hydrogène comme un moyen de substitution qu'ils tentent de faire adopter aux usagers. Il n'est alors pas question d'inscrire l'hydrogène dans une démarche de co-construction de projets territorialisés mais plutôt de le faire accepter socialement en perpétuant les démarches technocratiques traditionnelles. Cette capacité des acteurs dominants à se saisir de l'hydrogène pour faire perdurer des logiques d'actions traditionnelles est également soulevée par Aude Cranois (2017). L'auteur montre, dans sa thèse sur l'électromobilité, à travers l'exemple de deux projets de mobilité hydrogène dans la Manche et l'Aveyron, que l'introduction de ce vecteur constitue une stratégie de « conservation des pouvoirs et des positions » qui ne vient pas perturber ceux déjà existants.

Takam (2021) met en avant la possibilité de faire de l'hydrogène un levier de changement de paradigme énergétique c'est-à-dire modifier la manière de produire, de consommer et le fonctionnement du système énergétique. Néanmoins, d'autres auteurs (Amand, Lapostolle, 2021) montrent les limites de cette capacité à se saisir de l'hydrogène comme un vecteur de changements à l'échelle territoriale. Dans notre cas, nous souhaitons également remettre en

perspective l'idée que l'hydrogène est porteur de bouleversements pour le système énergétique.

Positionnement de la thèse

Afin d'interroger la « révolution » de l'hydrogène « vert » et analyser la trajectoire de son déploiement en France et dans les territoires, **notre approche s'appuie sur deux dimensions : la gouvernance multi-niveaux et les controverses sociotechniques.**

Penser le déploiement de l'hydrogène dans une perspective multi-niveaux

Si quelques études de cas ont été menées à l'échelle régionale et départementale, les dynamiques nationales ne sont peu, voire pas, prises en compte. Amand (2021), dans son ouvrage, retrace la construction de la stratégie régionale normande et ses effets sur le territoire. Cependant, dans l'approche qu'il développe, les dynamiques nationales uniquement intégrées en tant qu'éléments de contexte, sans interroger leur articulation avec les stratégies territoriales. À ce propos, une compréhension plus fine des orientations énergétiques nationales nous semble être un critère important pour bien saisir l'ensemble des enjeux et des décisions concernant l'hydrogène à différents niveaux.

Plusieurs auteurs considèrent que l'intervention des pouvoirs publics est nécessaire pour permettre une baisse des coûts de l'hydrogène et le développement d'un marché de l'hydrogène (Moliner et al., 2016, Dammet et al., 2019). Cependant, peu d'études récentes s'intéressent à la gouvernance multi-niveaux mise en place autour de l'hydrogène. Meunier et Ponssard (2020) insistent sur la nécessité de mettre en œuvre des actions coordonnées par les acteurs publics, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle globale, afin d'obtenir un effet d'entraînement sur le déploiement de l'hydrogène. Enfin, pour certains, l'enjeu réside également à la capacité à mobiliser et coordonner l'ensemble des secteurs impliqués : « La clef de la réussite sera moins la quantité d'argent public mis sur la table, que la capacité à faire entrer en synergie tous ces acteurs venus d'horizons différents. » (De Perthuis, 2020).

Cette question de l'articulation entre les échelles d'action publique, peu abordée dans les travaux existants sur l'hydrogène, est centrale dans ce travail de thèse. Nous considérons qu'il est nécessaire de prendre en compte les dynamiques existantes à différents niveaux pour comprendre comment les acteurs publics et privés s'intéressent à l'hydrogène. Nous adoptons une focale d'analyse multi-niveaux, en articulant l'étude des réseaux d'acteurs et des programmes ou plans hydrogène à l'échelle nationale et celle de la mise en œuvre concrète

de projets ou d'expérimentations autour de l'hydrogène dans les territoires. L'objectif n'est pas d'adopter une vision centrée uniquement sur l'État ou sur les collectivités territoriales, mais de questionner leurs interactions et leurs influences réciproques afin de comprendre la manière dont ces mobilisations croisées construisent ou non des représentations et des configurations stabilisées autour de l'hydrogène.

Rendre compte des controverses sociotechniques du déploiement de l'hydrogène

En outre, si certains de ces auteurs s'intéressent à la manière dont l'hydrogène est approprié, ils ne font pas de la technique un élément principal de leur analyse. Ils ne cherchent pas à décrire finement toute la complexité des technologies de l'hydrogène et des choix techniques qui peuvent être pris en termes de production, de distribution ou d'usage. Au contraire, cette thèse fait de la technique une composante de notre questionnement afin de comprendre les interactions et inter-influences entre l'objet hydrogène et les systèmes sociotechniques qu'il mobilise. Il ne s'agit pas seulement d'analyser les modifications que l'hydrogène peut provoquer dans les rapports avec l'énergie, comme le montre Takam (2021), mais de comprendre en quoi le déploiement de ce vecteur implique des modifications au niveau du système énergétique français et comment ce dernier influence en retour la manière dont l'hydrogène est appréhendé.

Partant du constat que l'appropriation et le déploiement d'une technologie varient en fonction des acteurs qui les portent et de la vision qu'ils en ont, nous considérons que l'hydrogène est un objet malléable, c'est-à-dire flexible en fonction des enjeux, des acteurs et des contextes dans lequel il est intégré. Rumpala (2013) évoque cette idée avec la notion de « *potentialisme technologique* », en montrant que la manière dont va se développer une nouvelle technologie n'est pas liée à ses caractéristiques propres mais à la façon dont les acteurs la définissent et la transforment.

Dans cette optique, nous considérons que le déploiement de l'hydrogène, à l'échelle nationale et territoriale, est le fruit d'une construction issue de choix techniques, politiques et économiques dans laquelle de nombreux acteurs interviennent. De la même manière, les choix relatifs à l'hydrogène ne sont pas neutres, mais porteurs d'une vision de la transition énergétique que nous souhaitons questionner dans la thèse. Plus spécifiquement, nous souhaitons interroger à quels changements de l'offre et des usages de l'énergie le développement de l'hydrogène est associé, dans la continuité ou en rupture avec les choix ou pratiques précédentes. Nous questionnons également les modifications apportées au niveau de la gouvernance du système énergétique et le rôle des territoires dans le déploiement de ce vecteur.

La thèse cherche à analyser le déploiement de l'hydrogène en France, en contexte de transition énergétique et à différentes échelles. Il s'agit d'étudier les différents choix qui ont été opérés et de comprendre les formes d'articulation, de conflit, de coalition à différents niveaux qui en résultent. En retraçant la trajectoire de l'hydrogène, nous souhaitons décrypter les tâtonnements, les essais-erreurs, les jeux constants de visions qui se dessinent autour de cet objet. Enfin, nous nous intéressons également aux enjeux et aux controverses associés à l'introduction de l'hydrogène dans le système énergétique français.

Thèse défendue

Si à première vue, l'hydrogène peut être perçu comme porteur d'une « révolution », il convient de se questionner sur cette représentation construite. L'engouement pour l'hydrogène depuis plusieurs années et le recours à des termes parfois utopiques nécessitent de prendre du recul et de s'interroger sur les ambitions sous-jacentes.

C'est d'ailleurs là le paradoxe que nous souhaitons montrer dans la thèse. Dans les années 2010, la logique développée par certains acteurs autour d'un déploiement local de l'hydrogène laisse envisager un changement de paradigme énergétique. Néanmoins, la mise en œuvre concrète de ces logiques révèle rapidement que l'hydrogène n'est pas saisi comme un moyen d'apporter de profonds changements, qu'il s'agisse de la manière d'appréhender le système énergétique ou de la gouvernance mise en place.

À partir des lectures et de notre propre analyse, nous souhaitons formuler la thèse suivante, que nous tenterons de démontrer : **La trajectoire de l'hydrogène en France et dans les territoires ne reflète pas une volonté de faire de l'hydrogène un objet de « révolution » mais plutôt un objet de « substitution » aux énergies fossiles permettant de maintenir le système énergétique dominant.**

Dans cette perspective, la thèse analyse les mobilisations autour de l'hydrogène à différentes échelles et cherche à caractériser le changement dont elles sont *a priori* porteuses, tant en termes d'infrastructures, de pratiques, de gouvernance et d'organisation que dans la façon de penser et d'envisager la transition énergétique.

La thèse s'inscrit dans les travaux qui portent sur les recompositions du système énergétique français engendrées par l'introduction de nouvelles technologies de l'énergie à l'instar des énergies renouvelables. Dans cette optique, la thèse mobilise l'hydrogène comme un analyseur des changements possibles du système énergétique français. Pour ce faire, deux axes de recherche vont guider notre réflexion et notre dialogue avec une littérature plus large que celle que nous avons mentionnée sur l'hydrogène.

INTERROGER LES CHANGEMENTS INDUITS PAR LE DEPLOIEMENT DE L'HYDROGENE AU NIVEAU DU SYSTEME ENERGETIQUE FRANÇAIS

Tout d'abord, afin d'analyser en quoi l'hydrogène peut engendrer des modifications au sein du système énergétique français, il convient d'étudier plus finement le fonctionnement de ce dernier et ses spécificités.

L'analyse des particularités françaises nous amène à préciser les deux axes de recherche sur lesquels notre réflexion s'appuie pour interroger la « révolution de l'hydrogène vert » dans le contexte énergétique français. Il s'agit, dans un premier temps, de considérer que les politiques de transition peuvent aussi bien donner lieu à des « *espaces de remise en cause* » d'un système dominant que venir le renforcer (Hourcade & Van Neste, 2019). Dans cette optique, nous interrogeons les « chemins » de transition dans lesquels l'hydrogène s'intègre illustrant la volonté d'en faire un vecteur de transformation plus ou moins radicale du secteur énergétique français.

Enfin, dans un second temps, nous souhaitons nous focaliser sur la gouvernance du système énergétique français et les changements qui peuvent y être apportés notamment en terme de décentralisation. Nous questionnons également le rôle des territoires et plus particulièrement des Régions dans le déploiement de l'hydrogène.

Un modèle énergétique français centralisé dépendant du nucléaire et de réseaux historiques

Pour comprendre la manière dont le modèle énergétique français s'est construit et décrire un peu plus précisément ses caractéristiques, nous souhaitons revenir brièvement sur quelques faits historiques et décisions qui ont marqué les secteurs de l'électricité et du gaz en France.

En ce qui concerne le mix énergétique français, c'est-à-dire les sources d'énergies primaires utilisées pour les besoins énergétiques, celui-ci dépend majoritairement du nucléaire. A titre d'exemple, en 2020 la part du nucléaire dans la production d'électricité s'élève à 67 %. Cette large place qu'occupe le nucléaire comme source énergétique provient des choix antérieurs de politique énergétique marquée par un programme électronucléaire massif lancé dans les années 1970. En effet, la crise pétrolière des années 1970 entraîne « un plan d'accélération à

outrance de la nucléarisation de la France » en présentant le nucléaire comme un « garant de la grandeur industrielle » et de souveraineté énergétique (Topçu, 2013). Ce plan d'accélération porté par le Premier ministre Pierre Messmer vise à atteindre un taux de 70 % de production d'énergie nucléaire à horizon 1985 puis vise progressivement un taux de 100 %. Topçu (2013) montre que la prise de décision concernant la nucléarisation massive de la France reste aux mains d'un « cercle restreint d'experts » composé principalement de hauts fonctionnaires issus des grands corps de l'État, du Centre d'Énergie Atomique (CEA)²⁶ et de EDF. L'omniprésence de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique français ainsi que le poids des entreprises nationales comme Électricité de France, Réseau de Transport (RTE) et leur proximité avec la sphère politique influencent fortement les orientations nationales énergétiques. L'organisation du secteur électrique s'appuie donc sur des infrastructures de production centralisées reliées aux réseaux de distribution et de distribution gérés et opérés par les entreprises publiques et dans lesquelles l'État intervient fortement durant plusieurs décennies.

Alain Gras développe la notion de « macro-système technique (MST) » pour mettre en avant les formes de pouvoirs qui organisent les flux structurés en réseau (Gras, 1990). Il définit les macro-systèmes techniques comme « des ensembles composés d'objets techniques liés par des réseaux d'échange » et qui reposent sur trois composantes : « un objet industriel (la centrale électronucléaire), une organisation de la distribution des flux (le réseau électrique) et une entreprise de gestion commerciale pour assurer l'offre et la demande (EDF) » (Gras, 1997, p. 4). Dans la même perspective, Coutard (1999) à travers la notion de « large technical system », exprime l'idée que les systèmes énergétiques ne doivent pas être considérés d'un point de vue uniquement technique mais comme des systèmes sociotechniques ayant une dimension politique et sociale dont les réseaux en sont « l'architecture nerveuse » (Coutard, 1999, Boutaud, 2016, p32).

Ainsi, le système électrique français repose sur une production d'électricité majoritairement nucléaire et une logique de grands réseaux pilotés à l'échelle nationale par un groupe d'acteurs restreint. Cependant, la montée des enjeux climatiques et environnementaux participe à la remise en cause de ce modèle français jugé technocratique et centralisé.

²⁶ Le Centre d'énergie atomique (CEA) est un organisme public de recherche spécialisé dans le domaine de l'énergie, de la défense, des technologies de l'information, etc. Il est créé en 1945 par le général de Gaulle dans l'optique d'utiliser le nucléaire pour des applications militaires et industrielles.

Les enjeux liés à la transition énergétique génèrent de nombreux débats et controverses concernant les réponses à apporter. Des contestations apparaissent remettant en cause le modèle historique du système énergétique et plus particulièrement celui du secteur électrique.

Premier axe : Poursuivre ou repenser le système énergétique français avec l'hydrogène ?

En étudiant les recompositions que l'hydrogène peut susciter au niveau du système énergétique, c'est également la perception de la transition énergétique qui peut être questionnée. En effet, le concept de transition énergétique étant une notion floue, la manière dont elle est appréhendée peut se révéler différente d'un acteur à un autre. L'analyse de la trajectoire de l'hydrogène nous permet ainsi d'interroger différentes visions de la transition énergétique dans lesquelles ce vecteur énergétique peut s'inscrire.

Les nouvelles technologies de l'énergie sont saisies, par certains acteurs, comme un levier pour repenser la forme même du réseau électrique, son fonctionnement et les sources de production associées. Nous montrerons que le développement des énergies renouvelables a été porteur d'une volonté d'apporter des transformations radicales au système traditionnel.

Des trajectoires de transition différentes

En 1972, le rapport Meadows, ou rapport du Club de Rome, développe l'idée que croissance économique et protection de l'environnement ne sont pas compatibles et qu'il est nécessaire de freiner la première pour pouvoir protéger la seconde. L'augmentation de la demande énergétique mondiale engendre une pression sans précédent sur le système énergétique confronté à la raréfaction des énergies fossiles et au réchauffement climatique (Duruiseau, 2016). Partant de ce constat, les modèles économiques et énergétiques traditionnels sont remis en cause, avec l'idée que de profonds changements doivent être apportés pour répondre aux enjeux climatiques.

Il en découle alors deux concepts majeurs largement mobilisés et débattus depuis plusieurs décennies par les sphères politiques et académiques pour donner une direction à suivre (Duruiseau, 2016). Il s'agit du concept de développement durable et de celui de transition énergétique. Le développement durable, défini dans le rapport Brundtland en 1987, correspond à un développement qui concilie les enjeux sociaux, économiques et

environnementaux, répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Cette définition reste néanmoins assez floue, entraînant des appropriations assez variées en fonction des acteurs qui s'en saisissent. De cette idée de changer notre modèle de développement vers un modèle plus durable émanent des questionnements sur la durabilité de nos systèmes énergétiques venant amorcer l'idée d'une nouvelle transition énergétique (Duruisseau, 2016). Pour plusieurs auteurs, bien que l'histoire ait connu plusieurs formes de transitions énergétiques, celle qui est inscrite dans les documents politiques ou dans les études scientifiques à la fin des années 1990 apparaît différente des précédentes (Smil, 2010, Defeuilley, 2014). Dans le contexte de la lutte contre le réchauffement climatique, elle renvoie à une mutation considérée comme indispensable pour faire face au changement climatique.

Alors que les transitions énergétiques précédentes résultaient d'évolutions sociotechniques accompagnant l'émergence et le développement d'une nouvelle source énergétique, la notion actuelle fait référence à un ensemble de changements nécessaires à l'avènement d'un système énergétique plus durable, moins dépendant (ou plus du tout) des énergies fossiles, et dans lequel les consommations énergétiques ont été réduites grâce à une meilleure efficacité énergétique ou au développement de pratiques plus sobres. Il s'agit de privilégier une approche dite « *low carbon economy* » grâce à l'essor des énergies renouvelables et une maîtrise des consommations ainsi que des transformations qui recouvrent aussi bien des changements de stratégie que l'arrivée de nouveaux acteurs (Defeuilley, 2014).

Le terme de transition énergétique est souvent associé à celui de trajectoire afin de donner le sentiment d'une voie à suivre pour atteindre un objectif final (neutralité carbone, maîtrise de la consommation, développement des énergies renouvelables, etc.). L'idée de trajectoire de transition est considérée comme un moyen « *de saisir les problèmes pour les rendre gouvernables en montrant que des choix sont possibles* » (Rumpala, 2010). Cependant, la manière d'y parvenir dépend fortement des acteurs qui s'en saisissent et de la place qu'ils accordent aux dimensions techniques, économiques et sociales dans les orientations. Il en résulte que différentes visions peuvent être associées à la notion de transition et que chaque modèle ou « *chemin de transition* » (Geels, 2007) renvoie à des principes et des valeurs divergentes.

L'hydrogène, vecteur de quelle transition énergétique ?

Partant du principe que différentes formes de transition sont possibles, la manière de répondre aux enjeux climatiques, énergétiques, environnementaux n'est donc pas unique. Il en résulte que différentes visions peuvent être associées à la notion de transition et que chaque modèle ou « chemin de transition » (Geels, 2007) renvoie à des principes et des valeurs divergentes. Des chercheurs en sciences sociales ont tenté de préciser les différentes

notions données au concept de transition et sur lesquelles nous souhaitons nous appuyer pour la thèse.

Buessler (2020) montre que trois grandes sources de tension peuvent être relevées entre ces différentes formes de transition : la gouvernance de la transition, c'est-à-dire la place accordée aux différents acteurs publics et privés dans les décisions stratégiques, la temporalité de la transition et la place accordée aux technologies.

Le mot transition ne désigne donc pas une seule voie possible. Si les notions de « transition énergétique », de « transition durable », ou encore de « transition écologique » sont omniprésentes aussi bien dans les discours politiques que dans les stratégies des acteurs économiques, le recours systématique à ce terme pour justifier les objectifs stratégiques fixés interroge sur le véritable sens qui lui est donné. En effet, la notion de transition énergétique par « sa malléabilité » permet à une pluralité d'acteurs de s'en saisir et de lui donner un sens variable (Quenault, 2020). Le mot transition apparaît ainsi comme une « notion-écran » où aucune définition précise n'est donnée, impliquant ainsi des approches variables dans la manière de la considérer (Aykut et al., 2017).

« La transition énergétique sert de paravent commode permettant de justifier des orientations et des stratégies politiques très contrastées, voire frontalement opposées, qui, tout en se réclamant du développement durable, peuvent aller à contresens des Objectifs de développement durable (ODD) qui fondent l'Agenda 2030 de la communauté internationale. » (Quenault, 2020)

Parmi les diverses définitions données à la transition durable, deux approches opposées émergent. La première s'inscrit dans une approche économique néoclassique où l'économie demeure la préoccupation principale, avec l'idée de poursuivre sur la voie d'une croissance infinie. Cette approche « technico-économiste » donne lieu à une « lecture analytique des problèmes » en considérant qu'à chaque problème environnemental une solution technique et économique peut être apportée (Boutaud, 2005). Selon cette approche dite de « durabilité faible », toute ressource naturelle peut donc être substituée par une ressource construite. À l'opposé, la « durabilité forte » relève d'une approche écosystémique où l'environnement est la principale préoccupation et où les ressources naturelles ne sont pas considérées comme substituables. Il ne s'agit pas de mettre seulement en place une nouvelle solution technique pour résoudre les différents problèmes mais de repenser les systèmes sociotechniques dans leur ensemble.

Ces visions opposées de la durabilité se retrouvent dans celles de la transition énergétique où on oppose « transition faible » et « transition forte » (Duruiseau, 2016). La transition énergétique dite faible ne vient pas perturber fortement le système énergétique existant, mais vient au contraire le renforcer. Les logiques actuelles de marché et de croissance ne sont pas

remises en cause et le mot d'ordre n'est plus une « adaptation » des systèmes, mais plutôt une « atténuation » de ces derniers pour réduire leur impact carbone (Quenault, 2020). La transition énergétique faible ne s'inscrit donc pas dans une dynamique de « rupture » avec les systèmes énergétiques actuels, mais plutôt dans leur continuité en adaptant les technologies disponibles. Il n'est pas question de changements majeurs de nos façons de faire ni de nos modes de vie. À l'opposé, la notion de transition forte nécessite des modifications non seulement au niveau du mix énergétique, mais également dans nos manières de consommer et de produire pour s'inscrire dans un modèle plus durable. L'urgence climatique appelle à des mutations à tous niveaux afin d'adopter des modes de faire plus soutenables, moins dépendants des énergies fossiles et moins consommateurs. Dans cette perspective, les enjeux de la transition énergétique ne peuvent donc être résolus par l'introduction simple de solutions technologiques mais font appel à une « profonde refonte des systèmes sociotechniques énergétiques » afin d'atteindre les objectifs fixés (Jaglin & Verdeil, 2013). Duruisseau (2016) introduit le concept de « transition énergétique-rupture » qui renvoie à l'idée d'une transition forte à celui de « transition énergétique-substitution » qui renvoie à celle d'une transition faible.

« Les transitions énergétiques-ruptures correspondent à des transitions énergétiques majeures couplant des substitutions énergétiques multiples à des ruptures de grande ampleur du système sociotechnique dominant alors que les transitions énergétiques-substitutions se réduisent à des substitutions énergétiques associées à des réajustements mineurs du système sociotechnique qui reste inscrit dans le système énergétique dominant. » (Duruisseau, 2016, p. 75).

Cette idée de rupture rejoint celle de Pierre Veltz (2022) qui utilise le concept de « bifurcation » pour montrer l'ampleur des défis auxquels les sociétés doivent faire face. Cette bifurcation ne peut se faire, selon l'auteur, qu'en adoptant un nouveau modèle économique plus sobre et plus « humano-centré » c'est-à-dire en mettant les questions sociales au cœur des réflexions (Veltz, 2022).

La transition ne suit cependant pas une trajectoire linéaire, dans la mesure où elle est souvent reconfigurée par les acteurs qui s'en emparent. Selon le « chemin » emprunté, les nouvelles technologies développées pourront être porteuses à la fois de changements ou de renforcement des systèmes existants. Ainsi, comme le formule Evrard à propos des énergies éoliennes, « une même technologie peut s'inscrire dans des projets de société différents et incarner des transitions énergétiques opposées » (Evrard, 2013).

Afin d'illustrer la façon dont certaines technologies de l'énergie peuvent venir contester le modèle énergétique français et s'inscrire dans une volonté de « rupture », nous nous appuyons sur l'analyse menée par Aurélien Evrard dans le cas des énergies renouvelables.

Des alternatives possibles au système énergétique français dominant

L'introduction des énergies renouvelables, dans le milieu des années 2000, a été perçue comme une potentielle rupture des systèmes sociotechniques. Leur caractère décentralisé ainsi que l'intermittence et la variabilité de la production laissent penser que le recours à ces nouvelles énergies engendrerait des modifications du régime dominant. Aurélien Evrard (2013) analyse le développement des énergies renouvelables en France et interroge la vision construite par quelques acteurs d'une vision des énergies renouvelables comme un moyen s'inscrivant dans une logique de « transition énergétique-rupture » pour le secteur électrique français (Duruiseau, 2016).

En introduisant le concept « d'alternative de politique publique », l'auteur montre comment l'arrivée des énergies renouvelables dans le système électrique français était initialement associée à l'image de « rupture » entraînant de profonds changements du modèle conventionnel. Une « alternative » est définie par l'auteur comme « un ensemble cohérent de propositions, construit autour de représentations communes, d'arrangements institutionnels et de configurations d'acteurs spécifiques, qui vise non seulement à promouvoir une solution particulière, mais également à transformer le secteur dans lequel celle-ci s'insère », ici celui du système électrique (Evrard, 2013, p. 73). Une « alternative de politique publique » se caractérise donc par des dimensions cognitives, institutionnelles et sociales avec l'introduction de nouveaux acteurs dans le système conventionnel (Evrard, 2013). Elle est le fruit d'une construction sociale où les acteurs qui en définissent les contours viennent contester le régime dominant. Le « choix d'une source d'énergie » apparaît comme un « choix de société » dans la mesure où il reflète des dimensions politiques, économiques, sociales qui ne sont pas neutres (Raineau, 2011).

Pour mieux comprendre les changements dont sont porteurs les énergies renouvelables, il convient de définir le point de départ, c'est-à-dire de dresser les principales caractéristiques du régime dominant du secteur électrique. Pour cela, l'analyse de Aurélien Evrard (2013) caractérise le secteur électrique « conventionnel » en étudiant les représentations, les institutions et les acteurs. L'auteur présente le secteur électrique français comme un système reposant sur une production centralisée fondé sur une économie de l'offre où l'objectif est d'avoir une électricité en abondance et à un prix abordable. Les sources d'énergie sont peu diversifiées avec une place prépondérante au nucléaire. Ce modèle de production et distribution place alors quelques acteurs dans une situation de monopole suivant une organisation unique : une production d'électricité en très grande quantité (centrale nucléaire par exemple) et un acheminement par les réseaux de transport et les réseaux de distribution.

Le déploiement des énergies renouvelables présente donc, *a priori*, des caractéristiques assez différentes du modèle traditionnel français, c'est pourquoi la notion « *d'alternative* » permet de

rendre compte des modifications en termes d'infrastructures, de gouvernance et de représentation que cela peut engendrer.

Les représentations construites autour des énergies renouvelables remettent en cause ce modèle. Les énergies renouvelables (vent et solaire) sont par essence décentralisées, ce qui donne lieu à privilégier une production locale proche des usages. Cette vision décentralisée se traduit par l'introduction d'une pluralité d'acteurs et une diversité de modèles de production possibles. « L'alternative » promeut le passage d'une approche par l'offre avec une production d'électricité en abondance à une approche par la demande en prenant en compte des critères environnementaux et en repensant nos consommations.

*Tableau 1 : caractéristiques générales du secteur électricité et de l'alternative "énergies renouvelables".
Source : Errard, 2013*

	Secteur de l'électricité	Alternative «énergies renouvelables»
Dimension cognitive et normative	Critères économiques, économies d'échelles, approche par l'offre, source d'énergie dominante	Critères environnementaux, usage raisonné des ressources naturelles, approche par la demande, diversification des sources d'énergie
Dimension institutionnelle	Système centralisé, organisation monopolistique	Système décentralisé, multiples unités de production
Acteurs	Un ou quelques acteurs dominants	Acteurs multiples, producteurs indépendants

Si au départ les énergies renouvelables semblent, par essence, favoriser une production décentralisée avec des formes de projets multiples, peu à peu ces formes initiales se voient reconfigurées en fonction des acteurs qui s'en saisissent. Laurence Raineau (2011) considère que l'un des freins rencontrés dans l'établissement d'un modèle alternatif, comme celui des énergies renouvelables, vient notamment du fait que ces acteurs continuent d'appliquer les façons de faire traditionnelles du système conventionnel. Autrement dit, ils ne remettent pas en cause le fonctionnement du système centralisé, « conçu pour les énergies fossiles » et considèrent les énergies renouvelables comme des énergies de substitution qui devraient se conformer aux modes d'organisation et de fonctionnement du système existant (Raineau, 2011). Dans une perspective où la logique de l'offre (c'est-à-dire de réponse systématique à la demande) n'est pas remise en cause, les énergies renouvelables variables ne peuvent s'imposer face au confort qu'offre une production robuste, stable et abondante issue de sources fossiles et nucléaire.

« Penser le développement des énergies renouvelables quasi exclusivement sur un mode centralisé (centrale solaire, éolienne, etc.) fige notre monde des possibles, bloquant nos représentations et, finalement, les possibilités d'innovations, aussi bien techniques que sociales ou institutionnelles » (Raineau, 2011).

Finalement, Aurélien Evrard (2013) montre que ce modèle alternatif ne parvient pas à s'imposer face au modèle conventionnel et qu'il est même retraduit et repensé à l'aune des caractéristiques du modèle traditionnel. L'alternative de politique publique est dissoute et reformulée par le secteur dominant. La filière de l'éolien offshore en est un parfait exemple avec la prise en charge par des grands groupes d'énergéticiens qui mettent en œuvre des projets d'envergure et participent à une dynamique de recentralisation de la production et appliquent les mêmes logiques industrielles que pour les projets d'énergies fossiles (Evrard & Pasquier, 2017). Les changements observés sont finalement marginaux et ne provoquent pas le bouleversement annoncé du modèle traditionnel.

Les controverses autour de la place que peuvent jouer les technologies dans la transition illustrent l'idée que la transition énergétique peut faire l'objet de réponses différentes de la part des pouvoirs publics. En témoigne, par exemple, le dernier rapport de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), publié en 2022, qui illustre différents scénarios possibles pour atteindre une neutralité carbone à horizon 2050. Dans le document, appelé *Transition(s) 2050*, l'agence montre quatre scénarios envisageables dont chacun présente des caractéristiques assez différentes²⁷.

Dans chacun des scénarios présentés par l'Ademe, l'hydrogène tient une place différente. Dans certains cas, il suscite un fort intérêt et détient une part importante dans le mix énergétique futur tandis que, dans d'autres cas, il est concurrencé par d'autres technologies et ne fait pas l'objet d'un déploiement massif. L'hydrogène s'inscrit alors tant dans des scénarios qui visent des comportements plus sobres, comme les scénarios 1 et 2, que dans ceux qui s'appuient majoritairement sur les innovations technologiques (scénario 3). Si, en 2022, l'hydrogène attire l'attention d'un nombre croissant d'acteurs et ne cesse de faire parler de lui, la manière dont son déploiement est envisagé reste soumise au rôle qui lui est donné en fonction des formes de transition énergétique envisagées.

²⁷ ADEME. (2022). *Transition(s) 2050 : Choisir maintenant, agir pour le climat*. Synthèse du rapport (p. 23). <https://librairie.ademe.fr/cadic/6529/transitions2050-synthese.pdf?modal=false>.

En retraçant la trajectoire du déploiement de l'hydrogène, nous souhaitons interroger la manière dont le déploiement de l'hydrogène vient perturber le « *paradigme énergétique français* » défini par l'auteur comme un modèle centralisé, reposant majoritairement sur le nucléaire et aux mains de quelques acteurs dominants (Evrard, 2013).

Cette perturbation peut se traduire par des changements des logiques économiques, institutionnelles, cognitives et structurelles sur lesquelles le système énergétique repose. En effet, en retraçant la trajectoire de l'hydrogène et les décisions concernant les infrastructures, le fonctionnement, la production et les usages qui sont prises, c'est également le « projet de société » de transition énergétique lui-même qui peut être questionné (Raineau, 2011).

Elle peut également se traduire par une décentralisation du système énergétique et l'arrivée de nouveaux acteurs dans un système autrefois entièrement fermé et piloté par l'État et quelques acteurs (EDF, CEA, etc.). L'introduction de l'hydrogène produit de manière décentralisée pourrait alors venir renforcer cette dynamique et entraîner des recompositions au niveau de la gouvernance énergétique française.

Second axe : Interroger le rôle de l'État et des territoires dans le déploiement de l'hydrogène

Le recours à l'hydrogène comme vecteur de stockage pourrait favoriser le développement des énergies renouvelables et, ce faisant, permettre une plus grande décentralisation de la production énergétique. Dans cette optique, d'autres formes de régulation pourraient apparaître avec une gestion à l'échelle territoriale, locale, voire individuelle, comme le prédisent certains auteurs²⁸.

De nombreux acteurs, à différents niveaux, s'intéressent à l'hydrogène et mettent en place différentes initiatives. Si le déploiement de l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique n'en est encore qu'à ses balbutiements en France, il convient de s'interroger sur le rôle que ces acteurs territoriaux pourraient jouer dans sa mise en œuvre.

Pour comprendre les différents rôles joués par les pouvoirs publics impliqués dans le déploiement de l'hydrogène, nous souhaitons revenir sur la gouvernance des politiques énergétiques en France et les dynamiques de territorialisation.

²⁸ Rifkin, J., Chemla, F., & Chemla, P. (2012). *La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*. LLL, les Liens qui libèrent.

La gouvernance du système énergétique français : dynamiques de décentralisation et de recentralisation

Jusque dans les années 1990, le positionnement étatique était plutôt régi par une intervention forte de ce dernier dans les politiques sociales et économiques (Chevallier, 2004). Cette période était alors marquée par des nationalisations avec un rôle « positif » de l'État pour garantir les intérêts publics face aux intérêts privés et assurer une redistribution des revenus grâce à un fort degré de centralisation de l'action publique (Majone, 1996, Boutaud, 2016). Dans les années 1990, une nouvelle figure de l'État semble émerger et témoigne ainsi du déclin de « l'État-providence ». L'accroissement du rôle de l'Union européenne, la libéralisation du secteur de l'énergie et les privatisations sont autant de causes qui participent à la remise en cause du modèle de l'État. Dans ce contexte, la notion « d'État-providence » se substitue celle « d'État-régulateur », dont le rôle est d'assurer les équilibres économiques et de marché en définissant des règles et des normes et en intervenant pour régler les conflits et les tensions existantes (Chevallier, 2007).

La prise en compte des enjeux territoriaux laisse apparaître une nouvelle figure, celle de « l'État territorial » (Duran et Thoenig, 1996). L'État territorial correspond à une forte déconcentration et décentralisation de l'action publique et illustre de « nouvelles formes d'institutionnalisation où le territoire devient le principal lieu de définition des problèmes » (Faure & Négrier, 2019). La gestion publique territoriale ne correspond donc plus à « la déclinaison verticale de mesures standardisées conçues et mises en œuvre par des administrations d'État puissantes » mais plutôt à une organisation horizontale où interviennent de multiples acteurs publics et privés à différents niveaux (Epstein, 2015). Les territoires deviennent ainsi un élément central des réflexions et les collectivités territoriales témoignent d'une volonté d'être de plus en plus impliquées dans la gestion de l'énergie à leur échelle.

Les différentes réformes institutionnelles confèrent ainsi aux collectivités territoriales de nouvelles capacités d'actions dans la gouvernance énergétique. Ces dernières témoignent d'une volonté d'intervenir directement dans la gestion de l'énergie. Dans cette optique, de nouveaux outils sont mis en place pour répartir et partager le pilotage des stratégies énergie-climat. La loi Grenelle II introduit les schémas régionaux climat, air, énergie (SRCAE) et les plans climat territoriaux²⁹ (PCEI) pour renforcer l'implication des territoires dans l'élaboration des stratégies (Poupeau, 2013). La montée des enjeux de transition énergétique et les objectifs qui en découlent renforcent le rôle des collectivités territoriales dans la politique énergétique. En plus de leurs capacités de planification, ces dernières se voient également conférer des moyens d'intervention directs dans le pilotage de projets énergétiques

²⁹ PCET devenu PCEAT, plan climat énergie air territoriaux depuis la loi LTECV

en prenant part dans le capital de sociétés de projet de production d'énergies renouvelables (Poupeau & Boutaud, 2021).

Malgré la remise en cause de la gestion centralisée de l'énergie suscitée par le développement des énergies renouvelables et l'émergence d'une gouvernance territoriale de l'énergie, l'État ne se cantonne pas à un simple rôle de coordinateur. L'énergie représentant depuis toujours un pilier important en matière de politique industrielle et économique, l'État semble ne pas vouloir délaïsser sa gestion au profit des collectivités territoriales (Poupeau, 2013). Pour certains auteurs, l'accroissement du rôle des acteurs territoriaux pose le pouvoir central à réinventer des modalités d'action afin de se maintenir dans le jeu. Epstein (2005) à travers l'exemple de la rénovation urbaine, montre comment l'État en s'appuyant sur différents leviers d'intervention réussit à imposer ses choix en matière de pilotage de l'action publique locale. L'auteur introduit le terme de « gouvernement à distance » pour désigner comment, par le biais d'instruments (appels à projets, etc.), l'État central continue d'interférer dans la gouvernance territoriale (Epstein, 2015). Dans le cas de l'énergie, à travers l'exemple des schémas régionaux, Poupeau (2013) montre que ces dispositifs sont un moyen pour l'État de réaffirmer sa légitimité d'intervention. « La territorialisation de la politique énergétique participe ainsi de la volonté de maintenir un pilotage centralisé de l'action publique, – et c'est là qu'une convergence peut être observée avec le « gouvernement à distance » -, où l'association (recherchée) des acteurs locaux est conçue en termes d'activation, de relais et de déclinaison d'une stratégie nationale, au service d'un État central qui n'a pas renoncé à son leadership. » (Poupeau, 2013, p. 469).

Une impossible territorialisation de l'énergie ?

Poupeau (2013) montre toutefois que la territorialisation ne peut être réduite qu'à un processus de « gouvernement à distance », au sens défini par Epstein c'est-à-dire un retrait de l'État local en faveur d'une réaffirmation d'un pilotage centralisé, dans la mesure où les acteurs locaux restent fortement mobilisés. L'auteur considère alors qu'une nouvelle forme de gestion publique territoriale voit le jour, dans laquelle les enjeux de développement durable, les questions de proximité et de transversalité ainsi que l'intervention des citoyens sont davantage pris en compte (Poupeau, 2013). Dans le même registre, Evrard et Pasquier (2018), en s'appuyant sur l'exemple de l'éolien offshore, montrent l'émergence d'une forme « d'hybridation de gouvernance » des politiques énergétiques. Les auteurs analysent comment le développement de la filière, au départ considéré comme vecteur de décentralisation, va être finalement porteur de « concentration industrielle et de centralisation des décisions ». Par diverses procédures (appel d'offre, organisation de débats, appels à projets), l'État va reprendre la main sur le développement des projets éoliens en mer en

cadran à la fois les lieux d'implantation et en choisissant les lauréats des futurs projets. Des consortiums d'industriels vont mobiliser leur rapprochement avec les territoires uniquement pour façonner un projet répondant aux attentes de l'appel à projets (Evrard & Pasquier, 2018). Les acteurs locaux ne sont toutefois pas inactifs dans ces processus. En réponse aux pressions exercées par l'État, ils mettent en œuvre des stratégies leur permettant de s'appropriier les projets et de les intégrer à leur vision du développement territorial. Ils négocient à la fois avec les services centraux de l'État, les industriels et entre eux où des représentations divergentes s'affrontent (Evrard & Pasquier, 2018). Une forme « hybride » de la territorialisation mêlant « une volonté de maintenir une forme de pilotage centralisée par l'État » et « une forme de mobilisation des acteurs locaux » (Evrard et Pasquier, 2018) apparaît dans le développement des énergies renouvelables.

Dans le cas de l'éolien en mer, Evrard et Pasquier (2018) montrent que cette mobilisation des acteurs locaux repose surtout sur l'échelon régional et la capacité des Conseils régionaux et de leur président d'être moteurs sur le sujet au niveau local. Depuis plusieurs années, les compétences transférées aux Régions concernant le pilotage de la transition énergétique laissent penser que cet échelon administratif détient une place majeure dans les politiques énergétiques. Plusieurs auteurs questionnent néanmoins leur véritable rôle dans la transition énergétique.

Néanmoins, malgré quelques changements dans la gestion publique de l'énergie, plusieurs auteurs dénoncent l'impossible décentralisation de la régulation de l'énergie en France (Aykut & Evrard, 2017 ; Poupeau, 2020). Certains montrent que la transition énergétique française n'a pas permis d'impulser de changements notables mais révèle plutôt une démarche « orchestrée » par les acteurs dominants historiques. Ces positionnements des acteurs historiques dominants témoignent finalement d'une volonté de mobiliser les enjeux liés à la transition énergétique pour exprimer l'idée que « tout doit changer pour que rien ne change » dans la gestion de l'énergie (Aykut & Evrard, 2017). Poupeau (2020) interroge l'impossible décentralisation du secteur électrique français et dresse ainsi un état des lieux des formes de régulation qui se dessinent en France. Ils montrent que ce secteur semble divisé entre deux dynamiques, avec d'un côté, une mobilisation en faveur du maintien d'un système centralisé portée par les acteurs industriels et de l'énergie ainsi que le ministère de l'Industrie et de l'autre côté, une dynamique de décentralisation portée entre autres par des associations de collectivités territoriales, quelques partis politiques et l'Ademe (Poupeau, 2020).

Quel rôle des Régions dans le déploiement de l'hydrogène ?

Le rôle des Régions est questionné, depuis plusieurs années, dans différents domaines de politiques publiques (Pasquier, 2004, Barone, 2008). A titre d'exemple, Romain Pasquier

(2004, 2012) interroge la « capacité politique » des Régions à se mobiliser pour renforcer leur rôle dans la gouvernance « polycentrique » qui prend forme à l'échelle européenne. En étudiant le cas de plusieurs régions, il définit alors la « capacité politique territoriale » comme étant « un processus de définition d'intérêts, d'organisation et de coordination de l'action collective qui permet à des institutions et à des groupes d'acteurs publics et/ou privés de réguler des problèmes collectifs sur un territoire donné » (Kernalegenn & Pasquier, 2018). Il montre que les formes de mobilisation sont différentes d'une Région à une autre et dépendent de caractéristiques politiques, institutionnelles, économiques, culturelles, etc. qui leur sont propres (Kernalegenn & Pasquier, 2018).

Depuis quelques années, avec la montée en puissance des problèmes climatiques et énergétiques, les Régions sont présentées comme « un échelon stratégique optimal » pour répondre aux enjeux environnementaux et pour dialoguer les orientations prises sur le sujet avec les services de l'État (Bertrand & Richard, 2013). François Bertrand et Elsa Richard (2013) retracent la trajectoire de l'intégration des enjeux climatiques dans les politiques régionales. Ils montrent que les premières politiques régionales relatives au climat relèvent de dynamiques ascendantes sur la base de volontariat avant d'être généralisée par l'État à travers des textes législatifs (Grenelles de l'environnement). Les auteurs estiment que la prise en compte de ces enjeux dans les politiques régionales modifie les systèmes d'acteurs sans toutefois donner lieu à de véritables changements dans les « contenus des politiques d'aménagement et les logiques actuelles de planification de l'espace » (Bertrand & Richard, 2013).

Camille Chanard (2011) dans sa thèse s'intéresse aux politiques énergétiques régionales. Elle montre que ces échelons des moyens pour agir dans de nombreux secteurs relatifs à l'énergie (mobilité, aménagement, etc.), grâce à leurs compétences institutionnelles mais aussi à leur capacité à inciter les acteurs territoriaux avec des aides financières. Néanmoins, l'intégration de réflexions sur le système énergétique territorial dans les politiques sectorielles régionales reste encore peu développée et les formes de soutien financier très différentes d'une Région à une autre.

En 2015, la loi NOTRe³⁰ induits des changements institutionnels et de nouvelles compétences énergie-climat sont conférées aux Régions. Cette dynamique met l'accent sur la capacité d'action des Régions à intervenir dans les politiques énergétiques et climatiques. Ces dernières deviennent chef de file des politiques de « climat, qualité de l'air, énergie et développement durable du territoire », disposent d'outils de planification à travers les

³⁰ LOI n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (1), 2015-991 (2015)

schémas régionaux et ont des compétences en matière de maîtrise d'énergie (Poupeau & Boutaud, 2021).

Noé Gerardin (2018) dans sa thèse interroge le rôle des Régions dans les politiques énergie climat et plus particulièrement leur positionnement vis-à-vis de l'État et des collectivités infrarégionales. Il questionne la capacité de cet échelon à se positionner en tant que leader des politiques environnementales. En s'appuyant sur le cas de la région francilienne, il montre que cette montée en charge de l'échelon régional révèle ainsi, dans certains cas, un « gain de centralité » c'est-à-dire l'occupation d'une place de plus en plus centrale dans les politiques énergétiques et climatiques (Gerardin, 2018). Pour autant, leur rôle dans la planification énergétique semble toutefois limité (Poupeau, 2013). L'analyse des schémas régionaux climat, air, énergie, révèle finalement une situation de « partage » du rôle central entre État et Régions (Poupeau, 2013, Gerardin, 2018).

En interrogeant les attentes concernant le rôle de chef de filât, qui est conféré aux Régions sur ces questions depuis 2014, Noé Gerardin (2018) montre que c'est avant tout une idée de « coordination de l'action publique locale » qui est entendue. Il montre que l'usage de ce rôle peut se révéler être stratégique dans la mesure où, comme l'illustre le cas francilien, la Région s'appuie sur cette notion pour légitimer des « actions volontaires sortant de tout cadre juridique ». L'auteur estime que le rôle de chef de file peut alors s'apparenter à celui de leader sans toutefois que les Régions ne détiennent de contrainte vis-à-vis des échelons infrarégionaux.

La mise en cohérence et la coordination entre les différentes initiatives territoriales posent souvent question. Camille Chanard (2011) estime que les Régions, par leur positionnement à l'interface entre national et local, peuvent endosser un rôle de coordinateur entre l'ensemble des initiatives présentes sur son territoire. Néanmoins, des difficultés juridiques et politiques à mobiliser l'ensemble des échelons infrarégionaux peuvent venir remettre en question leur capacité à coordonner les actions (Poupeau & Boutaud, 2021). De ce fait, l'affirmation de leur rôle, en tant que chef de file de la transition énergétique, ne semble pas si évident.

Dans ce contexte, nous verrons que les Régions sont très souvent identifiées, par plusieurs acteurs, comme des échelons stratégiques dans le déploiement de l'hydrogène. A cet effet, nous souhaitons interroger la place qu'elles occupent, leur positionnement et leur capacité d'action sur le sujet.

Ainsi, ces axes de recherche nous permettent de préciser nos questionnements concernant la « révolution de l'hydrogène vert » et les différentes dimensions que nous souhaitons analyser.

Afin de répondre aux questionnements soulevés, nous mobilisons différents concepts théoriques. Dans l'optique d'étudier la construction technico-économique et les changements sociotechniques à l'œuvre autour du développement de la filière hydrogène en France et de son déploiement territorial, nous nous appuyons sur la sociologie des sciences et des techniques (STS). De plus, la sociologie de l'action publique nous donne des outils conceptuels pour analyser les différents acteurs, les alliances et jeux de pouvoir et les logiques d'actions divergentes qui interviennent sur le sujet.

CADRE THEORIQUE : MOBILISER LA SOCIOLOGIE DES SCIENCES ET TECHNIQUES ET LA SOCIOLOGIE DE L'ACTION PUBLIQUE

De nombreuses recherches en sciences sociales s'intéressent à la notion de transition énergétique et au développement de nouvelles technologies de l'énergie. Pour analyser les « processus de transition durables » et les formes de réponses apportées, un cadre analytique multidisciplinaire, appelé *Transition Studies*, a vu le jour depuis quelques années (Picard & Tanguy, 2017). Bien que notre analyse porte sur la transition énergétique et interroge les changements sociotechniques engendrés par l'introduction de l'hydrogène, nous ne souhaitons pas nous inscrire dans ce courant de recherche. En effet, nous considérons que les approches développées, et plus particulièrement celle de la *Multi-level perspective* (MLP) ne nous permettent pas de rendre compte des dynamiques étudiées. Pour comprendre pourquoi nous ne mobilisons pas ce cadre analytique, nous souhaitons décrire brièvement les principes d'une des approches, celle de la *Multi-level perspective*, et les critiques qui lui sont adressées. L'analyse des critiques nous permet ainsi de mieux spécifier notre positionnement et les concepts théoriques que nous souhaitons mobiliser par la suite.

Le courant de recherche *Transition Studies* vise à analyser les transformations sociotechniques à l'œuvre pour répondre aux enjeux de durabilité. Il est notamment marqué par l'approche multiniveau, en anglais *Multi-level perspective*, qui s'intéresse aux « transitions technologiques » (Geels, 2002). Cette approche cherche à décrire l'émergence d'innovation technique et leur intégration dans un système sociotechnique dominant en s'appuyant sur trois niveaux articulés pour comprendre le processus de transition. Le premier niveau concerne les niches c'est-à-dire les lieux où émergent les innovations technologiques. Le deuxième niveau est celui des régimes sociotechniques dans lesquels un ensemble de règles et de normes sont établies qui définissent et régulent les systèmes techniques. Le troisième niveau est celui du paysage sociotechnique qui se situe à une échelle macroscopique et intègre les contextes politiques, culturels, environnementaux. L'idée est de montrer comment ces trois niveaux s'inter-influencent provoquant ainsi des changements et pressions endogènes.

Si cette approche a fait l'objet d'un intérêt croissant lors de la dernière décennie, elle a également été la source de nombreuses critiques (Shove & Walker, 2007, Rutherford & Coutard, 2014, Audet, 2016). L'une des principales limites identifiées concerne l'absence de dimensions spatiales et politique du changement. En effet, l'approche multiniveau se heurte à un manque de prise en compte de la dimension territoriale et de son caractère parfois un peu « hors-sol ». Certains auteurs dénoncent alors une approche « technocentriste » qui s'applique davantage pour expliquer des politiques publiques nationales ou internationales ne permettant pas de rendre compte des dynamiques territoriales qui peuvent voir le jour

(Audet, 2016). De plus, cette approche est également critiquée pour son caractère apolitique qui ne permet pas d'analyser les formes de pouvoir et la manière dont les individus ou organisations influencent les processus de transition (Shove & Walker, 2007).

Afin d'éviter de mener une analyse hors sol et descendante du déploiement de l'hydrogène, il nous semble important d'étudier la manière dont les acteurs à différents niveaux se saisissent du sujet et les actions qui sont mises en œuvre. Dans la perspective de rendre compte des enjeux multiscalaires, nous nous appuyons sur la notion d'assemblages sociotechniques pour décrire les processus de déploiement de l'hydrogène à l'œuvre. De plus, en vue d'analyser les logiques d'actions et les jeux d'acteurs qui prennent forme, nous mobilisons la sociologie de l'action publique et plus particulièrement l'approche inter-organisationnelle de la gouvernance multi-niveaux. Enfin, nous proposons de définir la notion de *configuration sociotechnique* afin de rendre compte de l'évolution de la trajectoire de l'hydrogène tout en analysant des dynamiques techniques et politiques à différents niveaux.

Analyser les processus sociotechniques autour de l'hydrogène

L'étude des sciences et des techniques part du principe que le développement d'une technologie ne peut pas être expliqué soit par des raisons purement sociales ou purement techniques mais qu'il est nécessaire de comprendre comment le social et le technique s'influencent. Ainsi, pour analyser concrètement les relations entre technique et social, plusieurs notions existent (Nadaï, Labussière, 2018) telles que celles « d'assemblages » (Latour, 2005), ou « d'agencements » (Callon, 2008), de « systèmes sociotechniques » (Akrich, 1989) ou encore de « réseaux sociotechniques » (Hughes, 1986). Si les échelles étudiées ne sont pas identiques, toutes renvoient néanmoins à la même idée : la technologie n'est pas uniquement constituée d'éléments techniques mais elle est composée d'un ensemble d'éléments divers de nature différente (artefacts techniques, pratiques sociales, acteurs, etc.).

S'appuyer sur la théorie de l'acteur-réseau pour décrire la constitution d'alliances autour de l'hydrogène

Les chercheurs du centre de sociologie de l'innovation des Mines (Callon, Latour et Akrich) analysent les processus d'émergence des technologies. À travers la sociologie de la traduction ou la théorie de l'acteur-réseau, ils défendent l'idée que la diffusion d'une innovation technique va être principalement liée à la constitution de réseaux sociotechniques. Ces réseaux qu'ils définissent comme un ensemble « d'éléments hétérogènes d'actants humains

et non-humains » sont au cœur de leur analyse. Ils montrent que les innovations technologiques ne se diffusent pas en raison de leurs qualités intrinsèques, mais grâce aux réseaux d'actants qui se forment autour d'elles. C'est par la création de réseaux, la confrontation de points de vue et l'établissement de compromis sociotechniques que les innovations technologiques vont réussir à prendre forme.

Le modèle de l'acteur-réseau considère que le processus de diffusion d'une innovation suit un modèle tourbillonnaire qui est non linéaire. Ce processus de « traduction » se décompose en quatre étapes, non nécessairement successives qui participent chacune à la création et au renforcement de réseau sociotechnique. Pour éclairer nos propos et rendre le processus de traduction plus intelligible, nous nous appuyons sur l'exemple de Michel Callon concernant les coquilles Saint-Jacques de Saint Brieux. L'article retrace « la constitution progressive d'un savoir scientifique » sur l'élevage des coquilles Saint-Jacques à Saint Brieux dans les années 1970 (Callon, 1986, p178). L'auteur montre comment des chercheurs sont parvenus à construire un réseau d'acteurs et de connaissances pour « maîtriser la culture des coquilles Saint-Jacques » afin de parvenir à accroître la production (Callon, 1986, p178).

La première étape de la traduction concerne le processus de « problématisation », c'est-à-dire la formulation d'un problème et de définitions autour d'un objet technique. Il ne s'agit pas seulement de soulever quelques interrogations mais également de trouver une manière de résoudre le problème. Dans cette optique, les acteurs à l'initiative de la problématisation identifient alors ceux qui doivent participer à sa résolution, tout en se positionnant eux-mêmes comment étant incontournables dans le processus. Callon (1986) montre comment trois chercheurs en revenant d'un voyage au Japon et souhaitant améliorer l'exploitation des coquilles Saint-Jacques s'interrogent sur la transposition des méthodes nippones d'élevage des coquilles Saint-Jacques dans la baie de Saint-Brieuc. La formulation de départ du problème est relativement simple (comment les larves de coquilles Saint-Jacques se fixent-elles ?), elle ne suffit toutefois pas à constituer à elle seule l'étape de problématisation. En posant cette interrogation, les chercheurs définissent également un programme de recherche à mettre en place pour y répondre. Ils incluent alors trois éléments jugés comme nécessaires à sa réalisation, les marins-pêcheurs de Saint-Brieuc, les collègues scientifiques et les coquilles Saint-Jacques de la baie et insistent sur leur nécessaire implication au programme de recherche pour parvenir à leur objectif. De cette manière, la phase de problématisation délimite un système d'alliances « entre des entités dont elle définit l'identité ainsi que les problèmes qui s'interposent entre elles et ce qu'elles veulent » (Callon, 1986, p185).

L'ensemble des acteurs présents dans ce système d'alliances construit néanmoins sa propre perception du problème et de sa résolution. Ces différentes conceptions peuvent ainsi générer des luttes dans la manière d'appréhender le problème. La deuxième étape de la traduction consiste donc en un processus « d'intéressement » au cours duquel des acteurs

appelés « médiateurs » dans l'exemple de Callon les trois chercheurs, cherchent à stabiliser les définitions définies dans la problématisation, tout en prenant en compte les intérêts des autres acteurs afin qu'ils rejoignent le système d'alliances et adhèrent au programme de recherche proposé par les chercheurs. Pour cela, des « dispositifs d'intéressement » d'ordre technique, financier, politique sont mis en œuvre. Par exemple, pour les collègues scientifiques les trois chercheurs s'efforcent de multiplier les séminaires et présentations pour montrer que les connaissances scientifiques sur le sujet sont faibles afin de les motiver à intégrer le système d'alliances. Un intéressement est alors considéré comme réussi lorsqu'il parvient à valider la problématisation initiale tout en réfutant les autres et à stabiliser le système d'alliances (Callon, 1986).

La troisième étape est celle de « l'enrôlement » c'est-à-dire l'attribution d'un rôle au sein du système d'acteurs. Callon définit l'enrôlement comme étant un intéressement réussi durant lequel les phases de négociations et de transactions entre acteurs permettent d'établir le rôle de chacun (Callon, 1986).

Enfin, la quatrième phase est celle de la mobilisation des alliés, c'est-à-dire la désignation de porte-paroles afin de représenter et diffuser la problématisation du sujet pour mobiliser d'autres acteurs pour renforcer le système d'alliances. Toutes ces étapes constituent un processus de traduction, dans la mesure où il s'agit de parvenir à réunir un ensemble de visions hétérogènes autour d'un objet technique et de faire adhérer un maximum d'acteurs autour d'une vision commune. L'acteur-réseau désigne ainsi la constitution d'un réseau sociotechnique défini par un ensemble d'entités et qui est reconfiguré à travers les différentes épreuves que constitue la traduction.

« Ce qui fait le succès d'une innovation, la robustesse d'une connaissance, ce ne sont pas tant les propriétés intrinsèques de cette innovation ou d'un fait technique, mais bel et bien la longueur et la robustesse du réseau, le fait qu'il mobilise un large ensemble d'acteurs ; ainsi « l'innovation, c'est l'art « d'intéresser » un nombre croissant d'alliés qui vous rendent de plus en plus forts » (Akrich et al., 1988) ».

Au cours de la thèse, ce sont les réseaux qui se construisent autour des technologies l'hydrogène que nous souhaitons analyser et les processus d'intéressement et d'enrôlement visent à les rendre plus robustes. Nous questionnons ainsi les stratégies, les négociations et les dispositifs mis en œuvre par les différents acteurs autour de l'objet technique. Nous nous intéressons en particulier aux différentes problématizations de l'hydrogène qui évoluent au cours du temps en analysant leur émergence, leur diffusion et leur remise en cause ainsi que les contextes économique et politique dans lesquels elles s'inscrivent.

La théorie de l'acteur-réseau fait néanmoins l'objet de critiques (Pestre, 2006, Lamy, 2007). En effet, quelques auteurs dénoncent l'idée de considérer le rôle des humains et non humains

comme étant équivalents au sein du réseau (Collin et al., 2016). Les auteurs de la sociologie de la traduction ne prennent pas en compte les formes de pouvoir ni les asymétries existantes en termes de ressources. Cela donne lieu à ce que certains auteurs appellent une explication « plate des phénomènes sociaux » qui ne rend pas compte des différentes échelles ni des différentes dimensions (politiques, institutionnelles, contextuelles) qui interviennent dans le développement ces innovations (Collin et al., 2016).

Malgré l'existence de critiques concernant la théorie de l'acteur-réseau, nous mobilisons cette dernière comme une boîte à outils qui nous permet d'étudier le développement des technologies de l'hydrogène et de comprendre les systèmes d'alliances qui se forment autour de ces dernières. Pour rendre en compte les jeux de pouvoirs, cette approche sera complétée par une analyse de la dimension politique du déploiement de l'hydrogène, que nous décrirons plus loin. De plus, afin de considérer les différentes échelles en jeu autour de l'hydrogène, nous souhaitons nous appuyer la notion « d'assemblage sociotechnique ».

Décrire les technologies de l'hydrogène comme des assemblages sociotechniques de l'énergie

Alain Nadaï et Olivier Labussière (2015) considèrent que « les processus de déploiement technologique qui sous-tendent la transition énergétique sont des processus multiscalaires qui convoquent une grande diversité d'échelles spatiales, du planétaire au local » et nécessitent la prise en compte de nouvelles échelles pour l'étude de ces dynamiques (Labussière & Nadaï, 2015, p. 133). Il s'agit de sortir des approches souvent centrées sur l'échelle nationale pour se focaliser davantage sur les territoires et leurs actions. Dans cette optique, les auteurs décrivent les nouvelles technologies de l'énergie comme des « assemblages sociotechniques aux frontières mouvantes » c'est-à-dire comme étant des combinaisons d'éléments hétérogènes (Labussière & Nadaï, 2015)

En considérant les technologies comme des « assemblages d'éléments hétérogènes », ces auteurs, à travers l'étude d'un projet d'éolien en mer, empruntent au philosophe Gilbert Simondon (1958), la notion de « milieu associé » pour montrer comment la technologie se compose et recompose le milieu marin (Nadaï & Labussière, 2014). Le milieu associé étant défini comme « un pôle d'échange permanent entre objet technique et son environnement » (Simondon, 1958), ils montrent les différents « assemblages » sociaux, juridiques, administratifs nécessaires pour permettre au projet et à son milieu de prendre forme (Nadaï & Labussière, 2014).

L'idée de considérer les technologies de l'énergie comme des assemblages sociotechniques permet de s'intéresser à l'« efficacité » des technologies (Labussière & Nadaï, 2018). En effet, la performance d'une technologie n'est pas dictée par avance, elle va dépendre du chemin emprunté par celle-ci et des assemblages qui la constituent. Le processus n'est pas linéaire ni

prédéfini par avance et il est toujours possible que les technologies émergentes suivent un autre chemin via l'implication de nouveaux acteurs avec des capacités d'actions différentes. D'après Labussière, les nouvelles technologies énergétiques « disposent d'une plus ou moins grande modularité qui les situe au carrefour de plusieurs types de développements possibles et donc de trajectoires de transition ». (Labussière, 2014).

Pour pouvoir identifier ces « carrefours » et les différents chemins possibles, il est nécessaire, pour les auteurs, de suivre les « épreuves » en analysant « l'action en train de se faire » (Labussière & Nadaï, 2018). Il s'agit donc « d'ouvrir les boîtes noires » (Latour, 1992) pour comprendre les processus en cours avant qu'ils ne soient stabilisés. Cette approche pragmatique se situe à une échelle micro, celle d'un projet, et vise à interroger chaque obstacle et difficulté rencontrés ainsi que les solutions apportées lors de la mise en œuvre de celui-ci. Cette approche permet ainsi de décrypter les changements et les réajustements au niveau des assemblages sociotechniques que constitue un projet « chacune des solutions retenues face aux blocages constitue une matrice qui recompose la capacité d'expression des assemblages et l'espace de leur possible ». (Debourdeau et Nadaï, 2012).

Dans notre analyse, nous mobiliserons la notion d'assemblage sociotechnique dans la mesure où elle nous permet de décrire la manière dont les technologies de l'hydrogène sont agencées en tant qu'un ensemble d'éléments techniques et d'acteurs présents à différentes échelles. En s'appuyant sur cette notion, notre démarche cherche à rendre compte des interactions transcalaires existantes autour du déploiement de l'hydrogène.

De plus, la notion d'assemblage est également porteuse d'une dimension politique, dans la mesure où les assemblages « contribuent à composer politiquement le monde commun » en distribuant des rôles, des statuts et des responsabilités aux acteurs qui le composent (Barbier & Nadaï, 2015). C'est notamment cette dernière dimension que nous souhaitons questionner dans la partie suivante.

Analyser la gouvernance multi-niveaux de la filière de l'hydrogène

Considérant que les acteurs détiennent des formes de pouvoir et des ressources différentes pour influencer la définition des enjeux et des stratégies de déploiement de l'hydrogène en France, nous avons souhaité enrichir notre grille d'analyse en nous tournant vers la sociologie de l'action publique. En mobilisant cette littérature académique, nous souhaitons nous focaliser sur les acteurs et les stratégies d'action mises en œuvre ainsi que les formes de coopération ou de conflits qui peuvent émerger. Il s'agit de compléter l'approche sociotechnique par une analyse sociopolitique centrées sur les logiques de pouvoir et

d'interroger le poids de l'action des pouvoirs publics dans le développement des technologies de l'hydrogène.

Mobiliser la sociologie de l'action collective pour analyser les systèmes d'acteurs

Une des particularités de l'hydrogène est son caractère intersectoriel et transversal qu'il nous semble important de prendre en compte dans l'analyse de l'action publique qui se construit. L'hydrogène s'inscrit dans des politiques énergétiques, industrielles, d'aménagement du territoire, économiques, etc. et mobilise plusieurs échelles, ce qui en fait un objet d'autant plus complexe.

Pour étudier les interactions entre acteurs, nous faisons le choix de mobiliser la sociologie de l'action publique qui permet de sortir d'une conception centrée sur l'État dans la production de politiques publiques, en adoptant « une conception en termes de construction collective de l'action publique » à différents niveaux et avec des acteurs variés (Hassenteufel, 2011). De fait, pour comprendre la construction d'un modèle de déploiement de l'hydrogène, sa diffusion et les épreuves auxquelles il est confronté, nous adoptons une analyse centrée sur les acteurs, les interactions et leurs contextes participant à cette action collective.

En considérant l'action publique comme « une construction collective d'acteurs en interactions », l'objectif est de penser les acteurs comme étant « stratégiques » et d'analyser les jeux de pouvoir existants (Hassenteufel, 2011, Poupeau, 2017). L'analyse des jeux d'acteurs induits par des relations de pouvoir et des règles implicites telles que décrites par la sociologie des organisations (Crozier et Friedberg, 1977) permettra d'identifier les enjeux, les ressources et les stratégies mobilisés par chaque acteur (individuel ou collectif) et de comprendre comment des coalitions se forment (Hassenteufel, 2011). Poupeau (2017) considère que cette approche interorganisationnelle permet de sortir d'une conception « monolithique » de l'État ou des collectivités territoriales et de les appréhender à travers des systèmes d'acteurs mobilisés par des logiques différentes qui dépassent les frontières institutionnelles. En analysant les acteurs, leurs ressources et leurs intérêts ainsi que les « relations d'interdépendances », il s'agit de comprendre la manière dont une pluralité d'acteurs publics et privés participe à l'action collective qui se construit.

Cette approche nous permet de penser le caractère multi-niveaux de l'action publique autour du déploiement de l'hydrogène et de montrer comment au fur et à mesure de la construction du modèle de déploiement de l'hydrogène, des acteurs ont tenté d'imposer leur vision. Nous tenterons de mettre en lumière les différentes visions qui peuvent émerger au sein de l'administration étatique, des territoires ou des acteurs privés. Pour cela, nous nous intéressons aux relations et aux interactions entre ces acteurs ainsi que les différentes

ressources économiques, techniques ou politiques dont les différents acteurs disposent pour imposer la vision qu'ils ont de l'hydrogène.

Enfin, l'hydrogène étant un sujet complexe qui mobilise plusieurs secteurs différents (énergie, industrie, économie, mobilité, innovation, etc.) et dont l'action est « en train de se faire », il nous semble nécessaire de prêter attention aux mécanismes mis en œuvre pour coordonner et réguler l'ensemble des acteurs.

Analyser les dispositifs d'action publique pour comprendre les formes de cadrage émergentes autour de l'hydrogène

Dans la perspective de créer un cadre favorable au déploiement de l'hydrogène, les pouvoirs publics ont recours à différents dispositifs d'action publique. Ainsi, nous nous appuyons sur la notion d'instruments d'action publique afin d'analyser l'intervention des pouvoirs publics nationaux et régionaux dans le cadrage d'une nouvelle filière.

L'analyse de l'action publique par les instruments fait l'objet d'une littérature abondante en sciences sociales donnant lieu à différentes définitions de cette notion. Nous nous appuyons ici sur celle donnée par Pierre Lascoumes et Patrick Le Galès, qui considèrent les instruments étant un « dispositif à la fois technique et social qui organise des rapports sociaux spécifiques entre la puissance publique et ses destinataires en fonction des représentations et des significations dont il est porteur » (Lascoumes & Le Galès, 2004, p. 13).

Dans la lignée des travaux de Christopher Hood, qui propose une typologie des instruments en fonction des ressources mobilisées, ces auteurs élaborent une nouvelle classification des instruments d'action publique (cf tableau 2). Ils identifient alors cinq types d'instruments. Pour chaque type identifié, ils montrent les « rapports politiques organisés », c'est-à-dire le rapport entre gouvernant et gouvernés que celui induit et les types de légitimité sur lesquelles il repose pour justifier sa mobilisation.

Tableau 2 : Typologie des instruments d'action publique. Source : Lascoumes & Le Galès, 2004, p. 361

Type d'instrument	Type de rapport politique	Type de légitimité
Législatif et réglementaire	État pédagogue	Imposition d'un intérêt général par des représentants mandatés
Économique et fiscal	État redistributeur	Recherche d'une utilité collective – Efficacité sociale et économique
Traditionnel et incitatif	État mobilisateur	Recherche d'engagement direct
Informatif et communicationnel	Démocratie du public	Explicitation des décisions et responsabilisation des acteurs
Normes et standards <i>Best Practices</i>	Ajustements au sein de la société civile – Mécanismes de concurrence	Mixte: scientifico-technique et démocratiquement négociée ; et/ou concurrence, mécanisme du marché

Un des enjeux de la filière hydrogène étant de parvenir à trouver un modèle économique viable à la production d'hydrogène décarboné, plusieurs instruments sont mis en œuvre pour influencer les niveaux de l'offre et de la demande. L'objectif est de faciliter le développement des technologies pour permettre le passage à l'échelle grâce à l'intervention des pouvoirs publics et à un investissement des acteurs privés. Cette idée d'avoir recours à des soutiens publics pour structurer une filière nous conduit à analyser les mécanismes qui sont mis en œuvre par la puissance publique pour aider et faciliter la création d'un marché de l'hydrogène décarboné. Callon (2013) considère que le marché ne peut pas être vu comme une interface où se rencontrent offre et demande mais plutôt comme un assemblage d'éléments hétérogènes ayant une capacité d'action qu'il définit par la notion « d'agencements marchands » (Callon, 2013). Béatrice Cointe (2016) définit les instruments de tarifs d'achats des énergies renouvelables comme des agencements sociotechniques permettant de rendre compte à la fois de la construction des marchés et des politiques publiques.

« Plutôt que de choisir de considérer les instruments de transition énergétique soit comme des instruments économiques, soit comme des instruments politiques, on peut alors s'intéresser à la manière dont ils organisent conjointement les technologies, les politiques et l'économie de la production et de la consommation d'énergie » (Cointe, 2016, p. 4).

Dans notre cas, nous mobilisons la notion d'instruments afin d'interroger les formes d'intervention des pouvoirs publics mais aussi pour analyser la traduction, à travers ces dispositifs, des différentes visions du déploiement de l'hydrogène que les pouvoirs publics peuvent avoir. Nous considérons ces dispositifs d'action publique comme étant des révélateurs de rapports de force dans le cadrage et l'institutionnalisation d'un marché de l'hydrogène. L'analyse des différents mécanismes mis en œuvre pour l'hydrogène nous

permet d'étudier les différentes formes de cadrage existantes pour structurer une (ou des) filière(s) de l'hydrogène et d'interroger la capacité des acteurs territoriaux à s'approprier et à proposer des ajustements de ces instruments.

Dans le cas de l'hydrogène, des dispositifs sont mis en place tant au niveau national (les appels à projets nationaux, les garanties d'origine et de traçabilité, le mécanisme de soutien par compléments de rémunération), qu'au niveau des acteurs économiques et des collectivités territoriales, qui, par différents moyens incitent et participent à la mise en économie de l'hydrogène. Ainsi, nous considérons que le cadrage de l'hydrogène s'appuie sur les quatre premiers types d'instruments décrits ci-dessus et que nous résumons dans le tableau suivant (cf tableau 3).

Tableau 3 : les différents types d'instruments mobilisés pour le déploiement de l'hydrogène. Réalisation : auteure

Type d'instrument	Exemple dans le cas de l'hydrogène
Législatif et réglementaire	Décret et ordonnance définissant la terminologie de l'hydrogène (échelle nationale)
Economique et fiscal	Subventions, bonus écologique pour les véhicules hydrogène (échelle nationale et régionale)
Traditionnel et incitatif	Appels à projets (échelle nationale et régionale)
Informatif et communicationnel	Evènements dédiés à l'hydrogène (essai de véhicule, salons, journées d'étude, etc.) (échelle nationale et régionale)

Décrire la trajectoire de l'hydrogène : une approche par les configurations sociotechniques

Notre approche cherche à décrire la trajectoire de l'hydrogène et à rendre compte de l'évolution des problématiques associées au cours de la période 2010 – 2022. Si la notion de « modèle » permet de décrire les caractéristiques des différentes visions développées et leur traduction concrète dans les territoires, ce concept ne nous donne pas la possibilité de mettre en avant le caractère instable et dynamique de cette trajectoire. En effet, nous considérons que la notion de « modèle » renvoie à des processus établis, ce qui ne correspond pas à ce que nous avons observé pour les mobilisations autour de l'hydrogène.

Dans cette perspective, afin de rendre compte des dimensions dynamiques, transcalaires et hésitantes du déploiement de l'hydrogène, nous mobilisons la notion de configuration. Une configuration, telle qu'elle est définie par Norbert Elias (1981), renvoie à « une conception fondamentalement relationnelle de la société » et aux formes d'interdépendances entre les individus (Duvoux, 2022). En considérant que les relations qui constituent la vie sociale sont concurrentielles et s'apparentent à un jeu, Norbert Elias définit alors la notion de configuration comme étant une forme de stabilisation de ces relations, « un équilibre des forces ». Autrement dit, l'auteur définit le terme de configuration comme étant : « la figure globale toujours changeante que forment les joueurs ; elle inclut non seulement leur intellect, mais toute leur personne, les actions et les relations réciproques. [...] Cette configuration forme un ensemble de tensions » (Elias, 1981, p 157).

Dans cette perspective, nous considérons que le concept de configuration renvoie à « un équilibre mobile des forces », c'est-à-dire un système d'acteurs provisoirement stable (Déchaux, 1995). Les configurations sont donc un ensemble de jeux d'acteurs plus ou moins stables dans la mesure où les relations et interactions sont toujours en cours de négociation et de restructuration. En mobilisant une telle notion, l'objectif est de mettre en lumière le côté « tâtonnant » et dynamique de l'action collective.

Il ne s'agit pas seulement de décrire des systèmes d'acteurs plus ou moins stabilisés, mais de construire cette notion à l'interface entre des approches sociotechniques et sociopolitiques. Nous considérons que le concept de configuration renvoie également à la dimension sociotechnique des technologies de l'hydrogène et permet de décrire les assemblages transcalaires d'éléments hétérogènes plus ou moins stables qui le composent. Nous définissons une configuration sociotechnique par la coexistence de deux éléments : une problématisation de l'objet hydrogène à laquelle est associée une vision de son déploiement ; l'appropriation de cette vision par un ensemble d'acteurs qui mettent en œuvre des projets et des stratégies à différentes échelles.

Lorsque nous évoquons une configuration de l'hydrogène à une période donnée, cela ne signifie pas qu'il existe une seule vision du déploiement mais plutôt que cette dernière suscite un intérêt particulier auprès d'acteur qui se mobilisent pour la mettre en avant. Ainsi, plusieurs configurations sociotechniques de l'hydrogène peuvent coexister, mais le changement d'une configuration à une autre sera caractérisé par celle qui occupe une position dominante, durant une période donnée.

Ces configurations seront au cœur de notre analyse afin d'étudier la manière dont elles sont remises en question et reconfigurées au gré de nouveaux éléments techniques et politiques. En nous attachant à suivre l'évolution des configurations qui émergent, nous adoptons ainsi une analyse multi-échelles et dynamique du déploiement de l'hydrogène en France. L'objectif de la thèse est donc de décrire les différentes configurations sociotechniques qui émergent

autour du déploiement de l'hydrogène en France et de questionner pour chacune d'entre elles leurs dimensions politiques, institutionnelles et sociales afin d'interroger leur caractère « révolutionnaire » par rapport au modèle énergétique dominant.

Récapitulatif de la démarche de thèse

La Figure 2 ci-dessous résume l'approche adoptée pour la thèse en s'appuyant sur l'objectif principal de la thèse, les différents axes de recherche et les outils conceptuels utilisés pour y répondre.

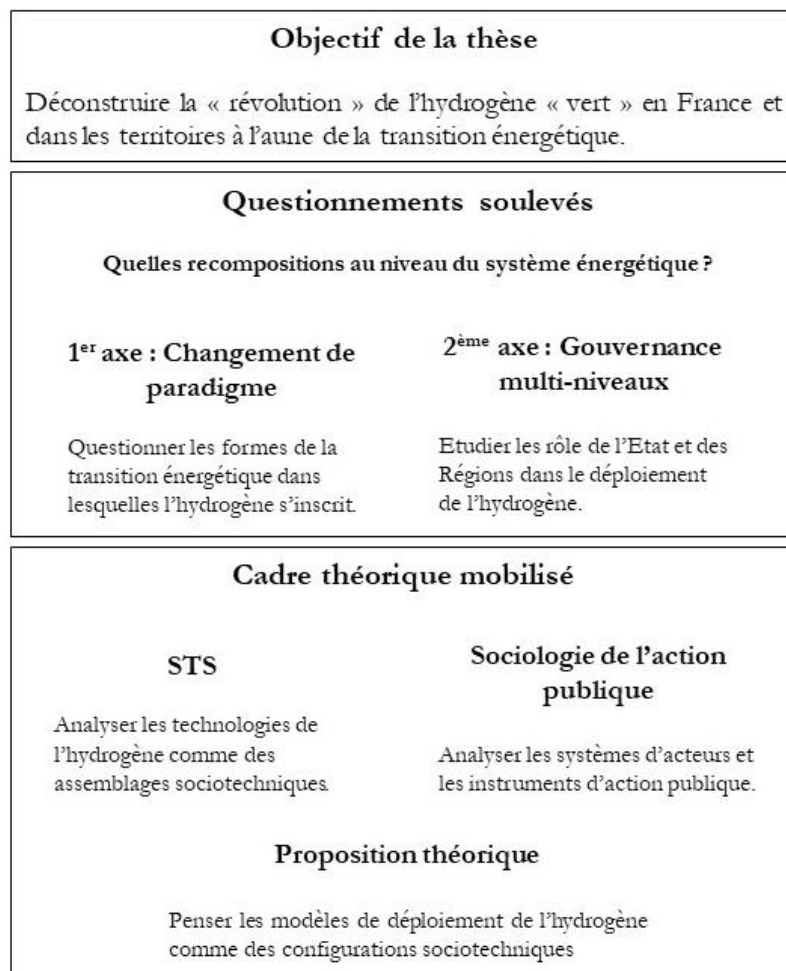


Figure 2 : Synthèse du raisonnement de la thèse.

METHODOLOGIE ET ORGANISATION DE LA THESE

Nous rappelons que notre démarche s'appuie sur une approche sociotechnique et multi-niveaux. A cet effet, nous avons mené plusieurs terrains d'étude à l'échelle nationale et régionale.

En septembre 2019, lors du démarrage de la thèse, les dynamiques étant plus visibles et plus importantes à l'échelle régionale qu'à l'échelle nationale, nous avons souhaité nous concentrer, dans un premier temps, aux Régions. Dans cette optique, nous avons sélectionné deux régions où des projets hydrogène étaient mis en place et pour lesquels les Conseils régionaux étaient impliqués. Si plusieurs Régions pouvaient répondre à ces critères³¹, notre sélection s'est portée sur l'Auvergne-Rhône-Alpes et l'Occitanie pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces deux régions témoignaient publiquement d'un fort intérêt pour l'hydrogène avec un investissement important dans des projets de mobilité hydrogène. En outre, le sujet hydrogène dans ces deux régions n'était pas nouveau. Des expérimentations publiques ou privées avaient déjà été mises en œuvre au cours des dix dernières années grâce à un tissu d'acteurs industriels et académiques territoriaux dynamiques sur le sujet.

La région Auvergne-Rhône-Alpes et le projet Zero Emission Valley : saisir les enjeux du déploiement de l'hydrogène

Afin de questionner les enjeux techniques, économiques et sociaux liés au déploiement de l'hydrogène, nous avons souhaité suivre la mise en œuvre d'un projet. Dans cette optique, une initiative a particulièrement retenu notre attention : le projet *Zero Emission Valley* (ZEV) en Auvergne-Rhône-Alpes. Ce projet était en cours de réalisation et nous intéressait particulièrement par son envergure et son déploiement régional. Il était souvent érigé comme un modèle à suivre par de nombreux acteurs régionaux et extrarégionaux. De plus, de multiples acteurs étaient parties prenantes tels que la région Auvergne-Rhône-Alpes, des acteurs privés ainsi que plusieurs collectivités infrarégionales. Cela représentait ainsi une opportunité de pouvoir analyser le rôle des différents acteurs dans la mise en œuvre d'un tel projet et plus particulièrement de l'articulation entre les collectivités territoriales et la Région.

Pour ce terrain en Auvergne-Rhône-Alpes, nous avons participé à différentes réunions de travail du projet. Nous avons suivi l'avancement du projet dans deux villes d'implantation,

³¹ Les Régions Normandie, Bourgogne-Franche-Comté, Occitanie et Auvergne-Rhône-Alpes étaient alors présélectionnées dans la mesure où elles affichaient des ambitions régionales sur le sujet.

Saint-Étienne et Moutiers en assistant de manière régulière aux comités techniques pendant plusieurs mois.

En prenant part aux réunions techniques, cela nous a permis de saisir les difficultés et situations de blocages qui interviennent tout au long du projet et la manière dont les différents acteurs parviennent, ou non, à les résoudre. La mise à disposition de documents techniques (modèles d'affaires, dossier de candidature à des appels à projets, étude pour la production d'hydrogène, etc.) a été autant de sources d'informations précieuses sur lesquelles s'appuie l'analyse. Ces documents nous ont permis d'étudier de façon assez fine les différents choix technico-économiques qui ont été pris par les porteurs de projet et de mieux saisir l'ensemble des enjeux auxquels ils font face. L'étude de ce projet nous a également permis d'établir de nombreux contacts avec une multiplicité d'acteurs qui y prenaient part de près ou de loin (agents locaux des collectivités territoriales, agents du conseil régional, société de projet du projet, acteurs économiques ciblés comme clients, financiers du projet, etc.) et d'élargir ainsi notre analyse.

Afin de prendre en compte l'intégration de ce projet au sein de dynamiques régionales plus larges, nous avons également analysé la construction et la mise en œuvre de la stratégie régionale hydrogène. Pour cela, nous avons pris part à un groupe de travail interne au Conseil régional regroupant les différentes directions impliquées sur le sujet ainsi que des acteurs extérieurs (pôles de compétitivité). Ces séances d'observation ont débuté au début de l'année 2021 et ont pris fin à l'automne 2021.

La participation à des groupes de travail pour le projet ZEV et la stratégie régionale nous ont permis d'avoir une première représentation des systèmes d'acteurs qui prenaient forme autour de l'hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes. Ces systèmes d'acteurs ont pu ensuite être affinés lors des entretiens semi-directifs pour mieux comprendre les points de vue divergents et les enjeux politiques, sociaux, économiques liés à l'hydrogène. Lors des entretiens, nous interrogeons leur intérêt pour l'hydrogène, la vision qu'ils avaient de l'hydrogène et la manière dont ils projetaient son déploiement. Nous questionnons également le rôle des différents acteurs et les relations qu'ils entretenaient avec les différentes parties prenantes.

En résumé, le premier terrain en Auvergne-Rhône-Alpes a fait l'objet d'entretiens semi-directifs (36) auprès d'un panel d'acteurs diversifiés (agents de collectivités territoriales, acteurs économiques du territoire, pôle de compétitivité, etc.) concernant le projet ZEV mais également la stratégie régionale hydrogène, de séances d'observation à des réunions de travail organisées par la Région avec ses partenaires (10 réunions), de séances d'observation à des comités techniques du projet Zero Emission Valley (11 réunions) et de réunions d'information organisées par la Région ou ses partenaires (4 réunions).

Un terrain en Occitanie pour valider ou nuancer les premiers résultats de thèse

Compte tenu des modifications calendaires dues à la crise de la Covid-19 ainsi que de certaines contraintes temporelles par le dispositif de thèse³², nous avons été obligés de revoir nos ambitions initiales. En effet, nous envisagions, au départ, d'étudier deux régions Auvergne-Rhône-Alpes et Occitanie et de suivre un projet pour chacune d'elle. Nous avons donc fait le choix de mener le terrain Occitanie une fois le terrain d'Auvergne-Rhône-Alpes terminé et de manière moins approfondie que le premier. Ce terrain a donc été réalisé au cours du second semestre 2021 et n'a donc pas le même statut que les deux autres menés en Auvergne-Rhône-Alpes et à l'échelle nationale. Il ne constitue pas un de nos terrains principaux mais nous a permis toutefois d'apporter des éléments complémentaires à ceux d'Auvergne-Rhône-Alpes. Les données de ce terrain sont donc mobilisées afin de venir renforcer ou au contraire apporter de la nuance sur les observations et résultats tirés de notre premier terrain en région.

Pour cela, nous nous appuyons sur des entretiens semi-directifs (17) menés auprès des acteurs impliqués sur le sujet en région Occitanie (conseil régional, agences régionales, énergéticiens, pôles de compétitivités, métropoles, etc.). Nous avons également pu participer à des journées régionales sur le sujet hydrogène organisées, en novembre 2019, par la Région et ses partenaires.

Analyser les dynamiques à l'échelle nationale pour questionner l'action publique à différents niveaux

L'objectif de ce terrain a été d'interroger la vision étatique de l'hydrogène qui se construisait ainsi que celle des principaux industriels actifs sur le domaine (énergéticiens, gaziers, équipementiers, etc.).

Dans un premier temps, nous avons interrogé de nombreux acteurs au sein des services de l'État qui ont participé, de près comme de loin, à l'élaboration et à la mise en œuvre des deux stratégies nationales publiées en 2018 et en 2020. Ces entretiens nous ont permis d'avoir une cartographie des acteurs étatiques impliqués sur le sujet hydrogène et de leur rôle dans le pilotage de la stratégie.

Pour approfondir l'action de l'État et mieux saisir la manière dont ce dernier souhaite décliner les objectifs fixés sur le territoire, nous nous sommes focalisés sur les dispositifs d'accompagnement nationaux, mis en place en 2018 et en 2020. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux appels à projets pilotés par l'Ademe et pour lesquels nous

³² Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'un premier poste en tant qu'Ingénieure des Ponts, des Eaux et des Forêts. Ce dispositif permet le financement de la thèse pour une durée de trois ans stricte non extensible.

avons participé à quelques commissions nationales des aides³³ (CNA) de l'Ademe au cours de l'année 2021. Ce terrain nous a permis d'analyser les visions des acteurs de l'État concernant le déploiement territorial de l'hydrogène mais aussi leurs attentes vis-à-vis de ces derniers. Cela nous a également permis d'étudier la manière dont les acteurs territoriaux répondent à ces dispositifs.

Nous avons également participé à des réunions de concertation organisée par le ministère de la Transition Écologique au cours de l'année 2020 et 2021 pour la rédaction d'un décret et d'une ordonnance sur l'hydrogène. Ces réunions d'échange, qui réunissaient un panel d'acteurs très divers, ont été une source de données riche. De nombreux débats ont pu être analysés durant l'avancement de ces textes réglementaires ainsi que le positionnement d'acteurs publics et privés sur des sujets très concrets liés au déploiement de l'hydrogène.

Afin de comprendre les différentes sources de motivations et les intérêts, nous avons également mené plusieurs entretiens auprès des acteurs privés (industriels, fédérations de professionnelles, etc.). Pour cela, nous avons dans un premier temps ciblé les entreprises fortement visibles sur le sujet soit dans la presse soit au sein de l'association française de l'hydrogène (France Hydrogène, ex-AFHYPAC). Durant les entretiens, nous interrogeons notamment leur implication sur le sujet hydrogène, leur interaction avec les services de l'État et les collectivités territoriales ainsi que leurs attentes vis-à-vis de ces dernières. Nous avons également analysé de nombreux rapports publiés par des acteurs de l'énergie ou de l'industrie afin d'interroger leur vision et leur positionnement vis-à-vis de l'hydrogène.

Finalement, ce terrain au niveau national entre acteurs étatiques et acteurs privés est constitué de 57 entretiens dont 10 entretiens avaient déjà été réalisés pendant le stage précédant la thèse en 2019 mais que nous mobilisons pour notre analyse. Pour compléter ces données, une analyse fine d'un corpus de rapports institutionnels sur l'hydrogène a également été conduite.

Au total, notre analyse s'appuie sur un corpus de 110 entretiens³⁴ et des notes d'observation réalisées durant les réunions auxquelles nous avons pu participer en région et au niveau étatique. La majorité des entretiens ont été retranscrits dans leur intégralité. Ces entretiens ont été majoritairement réalisés soit par téléphone soit par visioconférence en raison du contexte sanitaire ne nous permettant pas de pouvoir les conduire en présentiel durant les périodes de confinement ou de restrictions. Cette configuration à distance nous a permis d'avoir accès à un plus grand nombre de personnes enquêtées et de participer à des réunions

³³ Cette instance, composée de multiples acteurs (agents de l'État, associations, etc.), vise à valider les projets, retenus et instruits par l'Ademe,

³⁴ Parmi ces 110 entretiens, une dizaine ont été réalisés lors du stage effectué de mars 2019 à juillet 2019. Nous les intégrons néanmoins au corpus de la thèse puisqu'ils ont été mobilisés dans l'analyse et la rédaction.

de travail par visioconférence plus facilement. Néanmoins, si ces modalités d'enquête à distance ont facilité la conduite des entretiens, nous avons eu l'impression qu'il était parfois plus difficile de sortir du discours institutionnel des enquêtés et d'avoir accès à des informations moins officielles par rapport à un entretien en face-à-face.

Tableau 4 : récapitulatif des données de thèse issues des différents terrains d'étude.

	Auvergne-Rhône-Alpes	National	Occitanie
Entretiens menés	36	57	17
Observations non participantes	<p>Comités techniques du projet ZEV : 11</p> <p>Réunions de travail interne région : 9</p> <p>Webinaires organisés sur le sujet hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes : 4</p>	<p>Consultations organisées par le ministère de la Transition Écologique : 4</p> <p>Réunion du groupe de travail « Territoires » de l'association française de l'hydrogène (AFHYPAC) : 1</p> <p>Commission nationale des aides de l'Ademe : 5</p> <p>Webinaires, conférences : 3</p> <p>Salons dédiés à l'hydrogène : 2</p>	<p>Journée dédiée à l'hydrogène en Occitanie : 1</p> <p>Webinaire organisé par la Région Occitanie : 1</p>
Autres données	<p>Documents techniques, financiers, économiques du projet ZEV.</p> <p>Analyse de la feuille de route H2 de la Région et des dispositifs de soutien.</p>	<p>Analyse des stratégies nationales (2018 et 2020) et du cahier des charges des appels à projets de l'Ademe.</p> <p>Rapports parlementaires et institutionnels publiés sur le sujet.</p>	<p>Analyse du plan d'actions régionale et du cahier des charges des appels à projets régionaux.</p>

Organisation de la thèse

La thèse cherche à décrire la construction technico-économique du déploiement de l'hydrogène en fonction des acteurs qui s'en saisissent, mais également du contexte socioéconomique dans lequel il s'inscrit. L'objectif, en suivant cette évolution, est d'interroger l'idée de considérer l'hydrogène comme solution de transition énergétique et d'étudier les changements induits au niveau du système énergétique.

La thèse est divisée en quatre chapitres et revient sur les dynamiques existantes à l'échelle nationale et territoriale entre les années 2010 et 2022. À travers la mise en lumière des différentes problématisations et configurations sociotechniques transcalaires, les différents chapitres reviennent sur les controverses, les obstacles et les acteurs qui ont marqué la trajectoire du déploiement de l'hydrogène.

Le premier chapitre se focalise sur la période des années 2010 – 2012 et retrace l'émergence, rapidement contrariée, d'une vision de l'hydrogène comme facteur clé de la transition énergétique, selon une conception que nous expliciterons. Dans une première section, les différents modes de production et les usages principaux de l'hydrogène sont présentés afin de mieux comprendre les enjeux que son déploiement soulève au niveau du système énergétique. Il s'agit de mettre en lumière les changements que peut entraîner le développement de l'hydrogène comme solution de stockage des énergies renouvelables aussi bien dans le secteur électrique que gazier. Une nouvelle vision de l'hydrogène se développe avec l'idée que son déploiement doit s'effectuer à l'échelle locale au plus près des usages. Il en résulte une identification du rôle des territoires et plus particulièrement des collectivités territoriales jugées comme nécessaires pour permettre le déploiement de l'hydrogène. Ainsi, l'hydrogène est présenté, par plusieurs acteurs, comme une technologie de « rupture », porteuse de modifications au niveau des systèmes techniques et des modes de gouvernance.

Dans cette optique, ce premier chapitre nous permet de retracer la construction d'une vision « révolutionnaire » de l'hydrogène, telle qu'elle est alors imaginée par certains acteurs. En considérant cette première problématisation comme un point de référence, les chapitres suivants viennent interroger l'appropriation de cette dernière et montrent comment elle est modifiée et remise en cause par plusieurs acteurs issus de secteurs variés (industrie, énergie, mobilité) à différents niveaux (national, régional, local, etc.).

Le deuxième chapitre s'intéresse à la manière dont l'hydrogène suscite un fort engouement auprès d'acteurs territoriaux et d'acteurs issus de la mobilité à partir des années 2014. Il est

identifié à la fois comme un moyen de stockage des énergies renouvelables mais aussi comme une solution de décarbonation des transports. Plusieurs acteurs économiques (énergéticiens, équipementiers automobiles) s'associent à des collectivités territoriales pour mettre en place des premiers projets démonstrateurs. L'implication de certains acteurs du domaine automobile donne lieu à la construction d'une nouvelle configuration sociotechnique de l'hydrogène. Ces derniers développent un modèle de déploiement pour les véhicules et stations à hydrogène dit « écosystèmes locaux de mobilité hydrogène » et promeuvent cette logique auprès des collectivités territoriales et de l'État. Ce deuxième chapitre analyse donc l'émergence de la configuration dite « écosystèmes de mobilité locaux hydrogène » et sa concrétisation au sein de quelques territoires. Cette problématisation de l'hydrogène rencontre toutefois de nombreuses réticences et se heurte à des freins économiques et politiques qui réduisent sa capacité de diffusion à une large échelle.

Le troisième chapitre analyse les controverses existantes sur le sujet hydrogène et comment elles viennent remettre en question la capacité de stockage de l'hydrogène. Les orientations énergétiques nationales prises dans les années 2017 – 2018 ainsi que la construction du plan hydrogène du ministre de la Transition Écologique Nicolas Hulot illustrent des visions fortement divergentes dans la manière de problématiser l'hydrogène. À cela s'ajoute l'arrivée de nouveaux acteurs au sein du système d'alliances qui vient perturber la démarche adoptée précédemment. Dans ce contexte, l'hydrogène est de moins en moins mis en avant pour sa capacité de stockage d'énergies renouvelables mais davantage pour sa capacité de décarbonation de la mobilité lourde et de l'industrie. Il en résulte une volonté de massifier les usages et d'avoir recours à des unités de production de plus en plus grandes pour baisser les coûts de l'hydrogène. Ces dynamiques donnent lieu à un délaissement petit à petit du caractère « local » de l'hydrogène mis en avant dans les précédentes configurations.

Si l'État reste encore en retrait concernant le sujet, les Régions quant à elles témoignent d'un fort intérêt pour le sujet. La deuxième partie de ce chapitre se focalise sur les stratégies régionales hydrogène et le rôle de cet échelon administratif dans le déploiement de ce vecteur énergétique. Ce chapitre montre comment l'hydrogène apparaît alors pour les Régions être un potentiel levier pour se positionner comme chef de file sur ce domaine et piloter le maillage en infrastructures sur leur territoire. Des logiques descendantes envers les collectivités infrarégionales (dont les EPCI) voient le jour questionnant la véritable appropriation des acteurs locaux du sujet hydrogène. Ainsi, l'ensemble de ces dynamiques nationales et régionales participent à remettre en cause le modèle d'écosystèmes de mobilité locaux donnant lieu à une nouvelle configuration autour de la logique dit de « hubs régionaux hydrogène ».

Enfin, le quatrième chapitre montre comment l'intérêt porté à l'hydrogène a fait l'objet d'un renforcement au tournant de l'année 2019 – 2020. Les dynamiques existantes autour de ce vecteur se sont multipliées tant au niveau européen, national que régional. Une nouvelle problématisation formulée par des acteurs issus du monde de l'énergie et de l'industrie émerge. L'hydrogène est alors présenté comme un vecteur de réindustrialisation et comme un futur garant de la souveraineté énergétique et technologique nationale. C'est donc la vision d'une filière industrielle qui se construit avec la promotion de retombées économiques et sociales que cela peut générer. Du point de vue étatique, en regard d'un contexte de crise économique, social et sanitaire, l'hydrogène apparaît alors comme une solution à de multiples problèmes pour lequel l'État souhaite endosser un nouveau rôle dans le système d'acteurs en venant recadrer les dynamiques existantes.

Si cette nouvelle problématisation suscite l'adhésion de plusieurs acteurs publics et privés, sa mise en œuvre concrète au niveau des territoires prend cependant des formes divergentes. Des logiques de déploiement reprennent celles du passé en promouvant une production centralisée gérée par des grands groupes d'énergéticiens autour de quelques points de consommation industriels et qui s'appuie sur un réseau de transport. Néanmoins, cette vision est remise en question par certains acteurs qui continuent de promouvoir la logique locale autour des écosystèmes hydrogène. Au final, la place et la forme que l'hydrogène doit prendre dans le futur mix énergétique français reste tributaire d'une action publique tâtonnante.

Chapitre 1 : L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?

Dans l'introduction générale de la thèse, en décrivant les différentes stratégies nationales de l'hydrogène, nous avons mis en avant son caractère malléable, c'est-à-dire l'idée que l'objet technique hydrogène n'existe pas en tant que tel mais dépend des spécificités qu'on lui associe. Les caractéristiques qui lui sont attribuées sont alors déterminées par des éléments techniques, politiques et sociaux dépendants des acteurs qui s'en saisissent. En fonction de ceux qui s'impliquent sur le sujet, la définition des enjeux et la manière d'y répondre sont différentes, influencées par leur propre logique. Cela engendre alors une fluctuation des intérêts portés au sujet et des problématisations qui lui sont associées.

Si la première décennie du 21^e siècle n'apparaît pas comme structurante en France pour le déploiement de l'hydrogène, une nouvelle vision prend forme aux alentours des années 2010, en lien avec les enjeux de transition énergétique. À titre d'exemple, dès 2009, dans un rapport de l'Agence nationale de la recherche, il est mentionné que l'un des objectifs visés, en matière de politique énergétique, concerne « l'introduction de la filière hydrogène/pile dans la gestion de l'énergie électrique³⁵ » où, à moyen terme, « l'hydrogène jouerait à la fois le rôle d'un vecteur d'énergie propre voire d'un élément de stockage des énergies renouvelables intermittentes ». Il ne s'agit plus de considérer l'hydrogène comme simple moyen de substitution au pétrole, comme cela a été le cas dans les années 1970 et au début des années 2000, mais de l'envisager comme une solution de stockage de l'énergie électrique, permettant la décarbonation de nombreux secteurs d'activités (transport, résidentiel, etc.).

Les enjeux de transition énergétique et la perspective d'un déploiement massif des énergies renouvelables participent au regain d'intérêt pour l'hydrogène. Présenté comme l'une des meilleures solutions pour le stockage de l'électricité sur des périodes longues, l'hydrogène est doté d'une nouvelle image : il devient le vecteur énergétique qui permettra de résoudre le

³⁵ Agence nationale de la recherche, rapport du 29 octobre 2009 concernant la Programmation 2010 de l'Agence Nationale de la Recherche. p. 35

problème d'intermittence de ces énergies et favorisera leur intégration dans le réseau électrique. Des réflexions plus larges sont alors menées concernant l'introduction de ce vecteur énergétique dans les systèmes énergétiques et les changements techniques, institutionnels et de gouvernance qu'il peut engendrer. Certains acteurs associent à l'hydrogène une vision « révolutionnaire » permettant un « changement de paradigme » du système énergétique.

Ce premier chapitre a pour objectif de retracer la construction progressive d'une vision de l'hydrogène en tant que « solution clé » de la transition énergétique. Il s'agit de montrer les promesses qui lui sont associées et de présenter les acteurs qui participent de la construction de cette vision, ou au contraire la remettent en question.

La première section de ce chapitre décrit l'émergence de cette vision « révolutionnaire » de l'hydrogène au prisme des enjeux de transition énergétique. Afin de remettre en perspective le tournant des années 2010, nous dressons, dans un premier temps, une brève histoire de l'hydrogène pour montrer les différentes phases d'intérêt qu'il a pu susciter dans les années 1970 et 2000 et son caractère éternellement émergent. Puis, nous analysons, à partir des années 2010, les étapes de l'identification de l'hydrogène comme une solution de stockage pour les énergies renouvelables. Il s'agit de montrer en quoi les différentes technologies liées à l'hydrogène sont conçues comme des moyens de répondre aux enjeux énergétiques. Une analyse plus fine du rôle de l'hydrogène, dans les secteurs électriques et gaziers, nous permet de comprendre les changements qui pourraient être induits au niveau de la gouvernance et de la gestion de l'énergie en France.

Une fois la construction de cette problématisation de l'hydrogène décrite et analysée, il s'agit de regarder la manière dont elle est appropriée et incarnée à travers des projets ou des stratégies d'acteurs. Dans cette perspective, la deuxième section du chapitre s'intéresse au développement d'une approche territorialisée de l'hydrogène. Plusieurs éléments (changements institutionnels, caractéristiques techniques, actions menées par certains acteurs) jouent en faveur d'une prise en main du sujet par les collectivités territoriales. Cette section vient également interroger les formes de mobilisation qui émergent au niveau des acteurs infranationaux et les logiques d'actions mises en œuvre pour le déploiement de ce vecteur énergétique en France.

SECTION 1 : REEMERGENCE DE L'HYDROGENE COMME SOLUTION DE STOCKAGE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE

Cette section montre la réémergence de l'hydrogène en tant que « solution clé » de la transition énergétique. Tout d'abord, il s'agit de comprendre la manière dont l'hydrogène intéresse dans les années 1970 afin de remettre en perspective la nouvelle image qui lui est conférée dans les années 2010. Une fois cette courte rétrospective posée, nous nous focalisons sur la période des années 2010-2012 en retraçant la construction d'une nouvelle vision de l'hydrogène et les enjeux concernant son introduction dans les secteurs énergétique (gaz et électricité). Cette section permet également de montrer les acteurs qui participent à l'édification d'une problématisation à l'aune des enjeux de transition énergétique.

1) L'hydrogène, une solution miracle éternellement émergente ?

Afin de comprendre comment la problématisation de l'hydrogène en tant que solution clé de la transition énergétique s'est construite, nous souhaitons revenir dans un premier temps sur les différentes périodes qui ont marqué l'émergence et la réémergence de l'hydrogène. En effet, son statut d'objet « révolutionnaire » et les promesses de changements qui lui sont données ne sont pas uniquement liés aux enjeux de transition énergétique mais ont déjà fait l'objet d'intérêt en France et en Europe à différentes périodes.

Cette brève mise en perspective historique montre que l'hydrogène n'a pas suivi une trajectoire linéaire mais qu'en fonction des applications qui lui sont confiées et des acteurs qui s'en saisissent, il devient un objet plus ou moins sollicité. En revenant rapidement sur quelques périodes historiques de l'hydrogène depuis les années 1970, nous souhaitons retracer la fluctuation des intérêts qui lui sont portés en fonction des contextes politiques, économiques, technologiques.

1.1 L'hydrogène, un combustible idéal pour la politique énergétique française en temps de crise pétrolière

Dans le contexte des années 1970, où les questions de qualité de l'air prennent plus d'ampleur, l'idée d'avoir recours à des sources d'énergies ou des vecteurs énergétiques

nouveaux pour réduire la pollution atmosphérique séduit (Bailleux, 1996, Simoncini, 2018). L'hydrogène, qui, lorsqu'il est utilisé en tant que combustible pour les piles, n'émet que de l'eau et de la chaleur, apparaît alors comme un gaz à privilégier pour la France. À cela s'ajoutent les différents chocs pétroliers qui vont mettre en exergue la dépendance française et européenne aux pays producteurs de pétrole. Il est donc question, pour le gouvernement français, d'assurer une indépendance énergétique nationale et de trouver un moyen de substitution à cette source d'énergie.

Les fortes augmentations des prix du pétrole en 1973 et 1979 et les conséquences sur l'économie française poussent l'État français à revoir sa politique énergétique et à faire le choix du « tout nucléaire » pour assurer une production d'énergie électrique nationale. Ainsi, à la suite du premier choc pétrolier, l'État annonce l'accélération de la politique nucléaire. Le gouvernement projette d'équiper la France de treize nouveaux réacteurs nucléaires et de développer la filière industrielle nucléaire.

La crise pétrolière et la politique nucléaire vont alors participer à la relance des recherches sur la production d'hydrogène qui sont menées par certains acteurs du secteur énergétique français (EDF, GDF, CEA, etc.). Pour quelques-uns, notamment EDF et le CEA, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est perçue comme une opportunité pour améliorer le rendement économique des opérations nucléaires. Il s'agit, en effet, d'utiliser le surplus d'électricité des centrales nucléaires en heures creuses pour produire de l'hydrogène qui pourra être utilisé ultérieurement pour l'alimentation de véhicules électriques à pile à combustible par exemple (Bailleux, 1996, Simoncini, 2018).

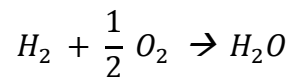
Nicolas Simoncini (2018), dans sa thèse sur l'histoire des piles à combustibles en France de 1960 à 1980, montre que ces enjeux liés au nucléaire donnent lieu à une nouvelle problématisation de l'hydrogène au cours de la décennie des années 1970. Cette dernière est notamment portée par les acteurs du secteur énergétique (EDF, GDF, IFP, CEA, etc.) qui considèrent que « *le développement de l'énergie nucléaire va entraîner probablement une production massive d'hydrogène* » (Simoncini, 2018, p. 251). Ils estiment aussi que cette massification de la production va favoriser le déploiement simultané des piles à combustibles, qui constituent l'une des pièces clés pour l'usage énergétique de ce gaz (cf encadré ci-dessous).

Encadré 1 : Le fonctionnement d'une pile à combustible

La pile à combustibles a été découverte au cours du 19^e siècle mais il a fallu attendre les années 1960 pour voir apparaître les premiers développements industriels. Après la Seconde Guerre mondiale, c'est l'anglais Francis T. Bacon, technicien et ingénieur, qui va mettre au point la première pile à combustible industrielle en 1959 (Simoncini, 2018). Une certaine effervescence autour de cette technologie va alors naître en France et dans d'autres pays (Allemagne, Angleterre, États-Unis), l'intérêt étant renforcé par son utilisation dans le domaine spatial pour les missions Gemini. Durant les années 1960, les recherches sont donc menées en faveur d'un large éventail d'applications éventuelles (transport maritime, terrestre, spatial, etc.), dont l'importance fluctue en fonction des acteurs qui s'en saisissent. Durant les années 1970, en France, l'hydrogène est alors identifié comme combustible idéal pour les piles à combustibles et la majorité des recherches se focalisent sur ce sujet (Simoncini, 2018).

Une pile à combustible permet de produire de l'énergie électrique grâce à une réaction électrochimique entre un combustible, dans la majorité des cas sous forme gazeuse comme l'hydrogène, et un comburant tel que le dioxygène (O_2) ou l'air. Le principe d'une pile à combustible repose sur l'introduction d'hydrogène et d'oxygène qui vont réagir au niveau de deux électrodes, l'anode et la cathode. Les réactions vont alors générer un courant électrique grâce au transfert d'électrons. Ces différentes réactions vont donner lieu à une production d'énergie électrique, d'eau (H_2O) ainsi qu'un dégagement de chaleur.

L'équation finale d'une pile à combustible alimenté par de l'hydrogène est la suivante :



En d'autres termes, une pile à combustible est donc un générateur d'électricité faisant réagir un gaz (ici l'hydrogène) et l'air (ou dioxygène) et qui ne rejette que de l'eau et de la chaleur.

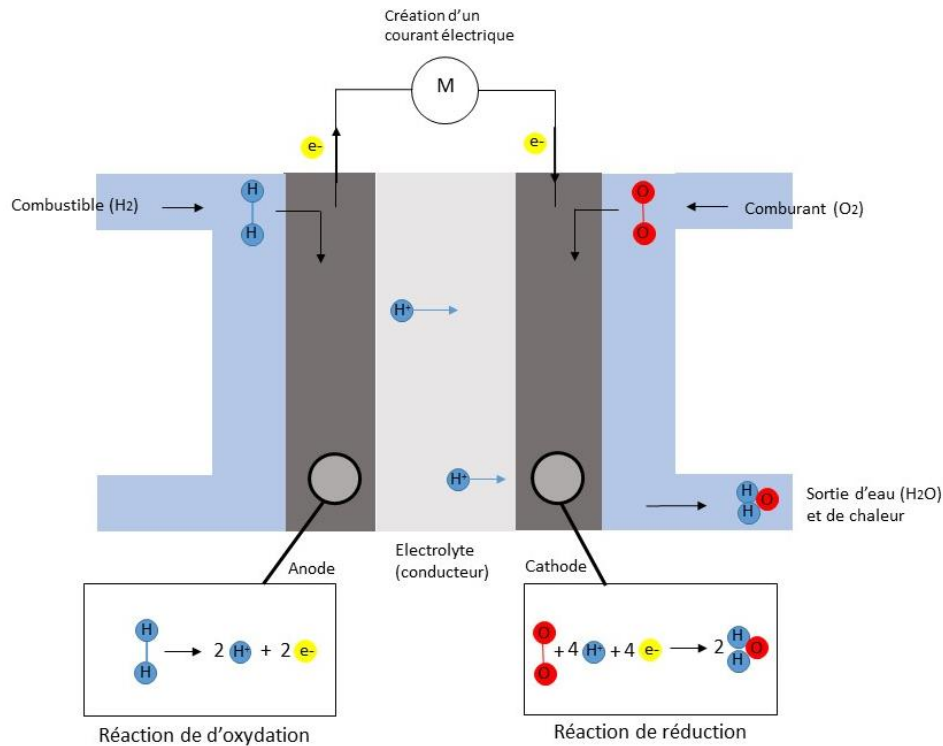


Figure 3 : fonctionnement d'une pile à combustible de type PEMFC
Réalisation : auteure

L'hydrogène séduit ainsi les acteurs du nucléaire, dans la mesure où sa production permet de répondre à deux problématiques françaises : assurer une meilleure rentabilité du parc nucléaire français et réduire la dépendance française au pétrole. Simoncini (2018) évoque alors un « déplacement » des intérêts portés aux piles à combustible et à l'hydrogène avec les enjeux liés au nucléaire. « Le succès d'un tel déplacement repose sur la « force des arguments » présentés, qui lient la production et l'utilisation de l'hydrogène, l'énergie nucléaire, la problématique de la politique énergétique française et les préoccupations environnementales dans une seule vision du futur. » (Simoncini, 2018, p. 250).

La période des années 1970 est marquée par la construction d'une problématisation de l'hydrogène en tant que principal vecteur énergétique des années 2000 pour les transports ou pour d'autres usages. Ce dernier est perçu comme un moyen idéal de substitution au pétrole et devient ainsi une « promesse technologique » étant donné que son déploiement est présenté comme une garantie d'un avenir meilleur pour la société (Joly, 2015). La presse évoque alors l'idée de « révolution » de l'hydrogène et parle d'une « civilisation » future de l'hydrogène en présentant les applications multiples de ce gaz dans les différents secteurs (transports, fourniture d'énergie électrique, aéronautique, etc.) (Simoncini, 2018).

Cependant, au fil des années, les recherches sur le sujet sont peu à peu abandonnées, compte tenu des difficultés technologiques et économiques rencontrées et du manque de soutien étatique fort. Le réseau d'acteurs qui soutient l'hydrogène se délite progressivement et adopte une position attentiste vis-à-vis des autres (Simoncini, 2018). Certains acteurs sont en attente vis-à-vis de l'État, qui, selon le point de vue des industriels, doit être l'initiateur d'un tel changement. Tandis que d'autres considèrent, comme les acteurs étatiques, que les industriels tels que les constructeurs automobiles, doivent jouer le rôle de « locomotive » pour le développement des voitures électriques à hydrogène (Simoncini, 2018).

Dans ce contexte, au début des années 1980, les recherches sur l'hydrogène et les piles à combustible sont de plus en plus rares. En outre, les contre-chocs pétroliers modèrent l'urgence d'une indépendance à l'égard des énergies fossiles. Il faudra finalement attendre plus d'une décennie avant de retrouver un nouvel intérêt pour l'hydrogène.

1.2 L'émergence d'une économie européenne de l'hydrogène dans les années 2000

Dans les années 1990, la montée en puissance des questions environnementales et des problématiques énergétiques liées à la pollution atmosphérique et aux émissions de gaz à effet de serre vont inciter la France et l'Union européenne à reprendre en main la thématique hydrogène et pile à combustible. L'ambition européenne de sortir de la dépendance aux énergies fossiles remet à l'ordre du jour les questionnements sur l'hydrogène comme moyen en appui aux stratégies de substitution au pétrole. Le sujet fait alors l'objet d'un intérêt grandissant aussi bien au niveau de l'Union Européenne qu'au niveau national et les fonds de recherche alloués par l'Europe ne cessent de croître³⁶.

Plusieurs grands groupes industriels (énergéticiens, gaziers, constructeurs automobiles, etc.) sont impliqués sur le sujet pile à combustible et hydrogène et cherchent à intéresser la Commission européenne (Galich, 2015). Dans cette perspective, ces acteurs construisent une vision européenne de l'hydrogène et s'inspirent notamment des travaux de l'économiste et consultant américain Jérémy Rifkin³⁷ pour promouvoir l'idée d'une « révolution européenne » de l'hydrogène.

³⁶ Dans le cadre des *Framework Program (FP)* de recherche de la Commission européenne, le FP2 (1986 – 1990) alloue 8 millions pour l'hydrogène et les PAC, le FP3 (1990 – 1994) 32 millions d'euros, le FP4 (1994 – 1998) 58 millions d'euros, le FP5 (1998 – 2002) 145 millions d'euros et le FP6 (2002 – 2006) 314 millions d'euros.

³⁷ Jérémy Rifkin est d'ailleurs personnellement impliqué dans le réseau d'acteurs européen et conseiller auprès de hauts représentants de la Commission européenne³⁷ (Galich, 2015).

Selon Rifkin (2002, 2012), la « troisième révolution industrielle » passerait par de profonds changements du modèle économique³⁸. Celle-ci aurait lieu grâce à l'avènement de deux ensemble de technologies : les nouvelles technologies de communication et les énergies renouvelables. L'hydrogène jouerait alors un rôle clé en tant que vecteur énergétique de stockage pour les énergies renouvelables. Dans la conception de l'auteur, l'énergie pourrait être ainsi produite, stockée et utilisée à l'échelle individuelle, producteurs et consommateurs étant reliés par un réseau permettant un système d'échange. Ces changements dans la manière de produire et consommer entraîneraient ainsi un passage du « pouvoir hiérarchique » au « pouvoir latéral », dans la mesure où l'énergie ne serait plus gérée par des entités supérieures, mais directement à l'échelle des consommateurs et deviendrait non plus un bien marchand mais une valeur d'échange (Rifkin, 2012, Takam, 2021).

Cette vision de l'hydrogène, en tant que pilier d'une société post-pétrole, se diffuse au niveau européen au début du 21^e siècle. L'hydrogène est présenté non seulement comme un moyen de répondre à des enjeux énergétiques mais aussi comme un nouveau moyen pour assurer une compétitivité européenne face aux États-Unis et au Japon, tous les deux fortement investis sur cette technologie (Galich, 2015).

À l'automne 2002, différents commissaires européens mettent en place un groupe d'experts de haut niveau, dit « *High Level Group*³⁹ ». Ce groupe publie un rapport d'expertise⁴⁰, en 2003, dans lequel est élaborée une feuille de route visant à construire une « économie de l'hydrogène » à horizon 2050 et qui précise les différentes étapes à franchir. Cette vision prévoit le passage d'une économie basée sur les énergies fossiles à une économie fondée sur l'hydrogène grâce à la mise en place de politiques publiques incitatives et d'investissements des acteurs privés et publics. La feuille de route détaille les différentes actions à mener, aussi bien au niveau de la production et de la distribution de l'hydrogène qu'au niveau des usages pour parvenir aux objectifs fixés.

Le début des années 2000 est finalement marqué par la construction d'une problématisation de l'hydrogène similaire à celle développée dans les années 1970 en France. De la même manière que trente ans auparavant, la vision européenne d'une « économie de l'hydrogène » confère à l'hydrogène un moyen pour réduire la dépendance au pétrole et aux énergies fossiles importées. Cette vision de l'hydrogène fait cependant l'objet de nombreuses critiques,

³⁸ Rifkin, J. (2012). *La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*. LLL, les Liens qui libèrent.

³⁹ Le *High Level Group* (Groupe d'Experts de Haut Niveau) est un groupe d'experts mis en place par la Commission européenne sur certaines thématiques pour la conseiller et l'assister. Les missions d'un tel groupe sont relativement larges allant de la réalisation d'un travail de prospection à la formulation d'un avis sur une proposition de la Commission ou encore l'animation d'un débat scientifique (Robert, 2010). Les groupes d'experts sont composés d'acteurs académiques, industriels, associations, administrations nationales, etc.

⁴⁰ Commission européenne (2003). *Hydrogen energy and fuel cells: A vision of our future. Final report of the High Level Group*.

compte tenu des faibles rendements des technologies développées et des freins économiques et techniques rencontrés (Galich, 2015). L'idée d'avoir une « économie européenne de l'hydrogène » s'essouffle peu à peu mais le contexte énergétique du milieu des années 2000 va permettre de redonner un regain d'intérêt à l'hydrogène.

En effet, plusieurs dispositifs législatifs et réglementaires européens viennent cadrer les politiques énergétiques nationales au milieu des années 2000. En particulier, en 2008, le paquet européen climat-énergie instaure un nouvel objectif dit des « 3x20 », c'est-à-dire l'obligation, pour les États membres, d'atteindre 20% d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute, de réduire les émissions des CO₂ de 20% et d'accroître l'efficacité énergétique de 20%. En 2014, la révision de ce plan fixe, à l'horizon 2030, l'intégration de 27% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique, la réduction de 40% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 et 27% d'efficacité énergétique.

Ces objectifs énergétiques européens vont alors servir d'arguments pour les promoteurs de l'hydrogène auprès des décideurs politiques européens pour la prise en compte du sujet dans les programmes de soutien communautaires (Galich, 2015). Présenté comme un moyen de stockage de l'énergie électrique renouvelable à fort potentiel, l'hydrogène devient ainsi un levier pour atteindre les objectifs fixés par la Commission européenne à horizon 2020.

2) L'hydrogène, un vecteur énergétique essentiel pour la transition énergétique ?

Parallèlement, en France, l'intérêt pour l'hydrogène refait surface au début des années 1990 avec des phases d'engouement plus ou moins marquées jusqu'au milieu des années 2000. À partir des années 2010, une nouvelle période de fort intérêt se dessine et marque, selon nous, un changement dans la problématisation de cet objet technique, dont nous ferons le point de départ de ce travail de thèse. En effet, les enjeux liés à la transition énergétique viennent recadrer la vision de l'hydrogène et les usages qui lui sont associés, impulsant alors un nouveau souffle à la promesse « révolutionnaire » de l'hydrogène.

Dans ce contexte, en France, au cours des années 2010 – 2012, les enjeux de transition énergétique et les orientations propres au mix énergétique français vont jouer en faveur d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que moyen de stockage de l'énergie électrique.

2.1 Le stockage énergétique : enjeu clé du développement des énergies renouvelables

2.1.1 *Vers un mix énergétique 100 % renouvelable ?*

En France, les années 2010 sont marquées par plusieurs débats concernant le mix énergétique. L'accident de Fukushima, en 2011, ainsi que l'annonce de la sortie de l'Allemagne du nucléaire quelques mois après la catastrophe accentuent les controverses sur cette source d'énergie. Le sujet refait surface dans la sphère médiatique et s'invite dans les débats présidentiels de la campagne française de 2012 (Brouard et al., 2013). L'un des candidats, François Hollande, propose l'organisation d'un débat sur les questions énergétiques dans le cas où il serait vainqueur. Après son élection, un débat national sur la transition énergétique est organisé, entre 2012 et 2013, au cours duquel de nombreux acteurs (associations, collectivités territoriales, académiques, entreprises, etc.) sont consultés sur la politique énergétique nationale. Il permet d'interroger les perspectives du mix énergétique français à différents horizons et soulève plusieurs questionnements concernant la place des différentes sources d'énergie. Quelle part pour l'énergie nucléaire ? Dans quelle mesure le déploiement massif des énergies renouvelables est-il possible ? Quelles technologies est-il nécessaire de développer pour y parvenir ?

En 2015, la loi Transition énergétique pour la croissance verte (TECV) fixe de nouveaux objectifs pour le mix énergétique et l'intégration des énergies renouvelables. Ce dispositif législatif prévoit un taux de 32 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie brute et de 40 % d'énergies renouvelables dans la production d'électricité d'ici 2030. Par ailleurs, l'Ademe publie un rapport qui analyse les conditions techniques et socioéconomiques permettant d'atteindre un mix électrique 100 % renouvelable d'ici 2050⁴¹. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une étude de faisabilité donnant lieu à un scénario proprement élaboré, cette étude prospective permet toutefois d'envisager la possibilité d'atteindre un mix électrique (quasiment) exclusivement renouvelable. En analysant les conditions technico-économiques, l'agence montre que la réalisation d'un tel objectif est possible mais qu'il reste toutefois des verrous techniques, économiques et sociaux à lever pour y parvenir.

Bien que certains experts dénoncent les hypothèses utopiques sur lesquelles s'appuie le rapport de l'Ademe⁴² et que de nombreux débats sur les possibilités techniques, économiques et sociales émergent, cette publication participe à l'édification d'un nouvel objectif possible pour le mix électrique : celui d'atteindre un taux de 100 % d'énergie électrique d'origine renouvelable à l'horizon 2050. Comme l'exprime l'un des directeurs exécutifs adjoints de

⁴¹ ADEME. (2015). *Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations. Synthèse technique et synthèse de l'évaluation macro-économique.*

⁴² Le Monde de l'Énergie, « 100% d'électricité renouvelable en France ? », 13 novembre 2019 <https://www.lemondedelenergie.com/100-electricite-renouvelable-en-france/2019/11/13/>

L'Ademe, ce rapport permet d'inscrire cette ambition dans le débat public et d'impulser une réflexion sur le sujet : « *Quand on a lancé les premiers travaux sur un mix 100 % renouvelable, notre objectif était de boucher un trou puisque personne en France ne regardait ces sujets. Aujourd'hui, force est de constater que ça a permis d'alimenter le débat public et que des laboratoires s'emparent de ces questions*⁴³. »

Pour parvenir à un tel objectif, l'Ademe considère que des changements dans la manière d'appréhender le système électrique sont nécessaires. Différents leviers concernant notamment la consommation, la flexibilité des systèmes électriques et les solutions de stockage sont à mettre en œuvre pour atteindre un taux de 80 % voire 100% de sources renouvelables, tout en assurant un équilibre offre-demande à chaque heure⁴⁴. L'enjeu du stockage de l'énergie électrique apparaît alors comme crucial, compte tenu de la variabilité et du caractère aléatoire de certaines sources renouvelables.

En effet, certaines sources d'électricité renouvelables étant intermittentes et fortement dépendantes des conditions météorologiques, il est difficile de prévoir précisément leur capacité de production et de savoir si celle-ci sera suffisante pour satisfaire la demande, notamment en période de fort pic de consommation (vague de froid par exemple). Pour assurer une offre optimale d'électricité pour les usagers, c'est-à-dire garantir une production suffisante par rapport à la demande, il est nécessaire de trouver une solution au caractère variable et non programmable des énergies solaire et éolienne.

Certaines technologies permettent de stocker l'électricité produite lors des périodes de surplus et de la restituer pour un usage ultérieur. Il ne s'agit plus de penser que la capacité de production doit répondre à la demande à un instant donné, mais de compter sur une capacité de stockage d'énergie électrique pouvant être utilisée dans le cas d'une production en deçà des besoins.

Le stockage de l'énergie électrique est également synonyme, pour certains pays, d'accroissement de leur indépendance énergétique, en réduisant leur importation de pétrole. Au regard des objectifs de décarbonation des mix électriques grâce au développement des énergies renouvelables, le stockage de l'énergie constitue ainsi l'un des enjeux majeurs des politiques énergétiques du XXI^e siècle. L'objectif, pour plusieurs États, est donc de trouver la technique de stockage la plus rentable économiquement, avec un impact environnemental le plus faible possible et pouvant être déployée à large échelle.

⁴³ <https://www.aefinfo.fr/depeche/643070-mix-100-renouvelable-en-2050-des-projections-et-des-questions#:~:text=L'un%20d%C3%A9fend%20la%20possibilit%C3%A9,de%20la%20stabilit%C3%A9%20du%20r%C3%A9seau>. (Consulté le 04/08/2022).

⁴⁴ Communiqué de presse de l'Ademe du 22 octobre 2015 : *Etude Ademe : un mix 100% renouvelable ?*

2.1.2 *Les technologies de stockage de l'électricité*

Différentes méthodes existent pour stocker l'électricité. Le stockage peut être effectué soit directement sous forme d'énergie électrique, à l'aide de supercondensateurs ou supracondensateurs⁴⁵, soit en transformant l'énergie électrique sous une autre forme d'énergie (mécanique, thermique, chimique). Par exemple, dans le cas des batteries, l'énergie électrique est transformée en énergie chimique, tandis que pour les systèmes de pompage-turbineage d'eau, elle est stockée sous une autre forme (énergie potentielle de l'eau). Parmi ces solutions existantes, certaines n'ont pas la capacité de stocker l'électricité sur de longues périodes (supérieures à quelques heures), ce qui ne permet pas de répondre à l'ensemble des besoins. D'autres, comme le stockage hydraulique, sont fortement dépendantes de contraintes géographiques et géologiques et ont des impacts environnementaux parfois négatifs. En ce sens, l'hydrogène constitue la seule solution de stockage de l'énergie électrique pour des longues durées (plusieurs semaines voire mois), ce qui constitue un argument décisif en sa faveur.

Le schéma de la Figure 4 résume les caractéristiques des différentes technologies en fonction de leur capacité énergétique de stockage (énergie maximale stockable) et de la constante de temps, correspondant au temps de charge/décharge. Illustrées par les rectangles bleu foncé et rouge, les technologies associées à l'hydrogène présentent les capacités de stockage les plus étendues (de quelques kWh allant jusqu'au GWh) sur des durées comprises entre quelques heures jusqu'à plusieurs mois.

D'un point de vue purement technologique, et comme l'illustre le schéma, l'hydrogène apparaît comme le « Graal » pour le stockage de l'électricité. En effet, ses caractéristiques techniques font de l'hydrogène un vecteur de stockage pertinent pour répondre à des besoins variés. Par exemple, il est possible d'envisager un stockage par hydrogène pour des zones non interconnectées au réseau électrique, comme les zones insulaires, dont les capacités de stockage peuvent être considérables et pour des durées longues. L'hydrogène peut également répondre à des besoins moins importants pour des durées plus courtes, comme l'alimentation de groupes électrogènes de faible puissance.

⁴⁵ Ces technologies permettent de stocker et de restituer de l'énergie électrique sur des temps très courts (quelques secondes).

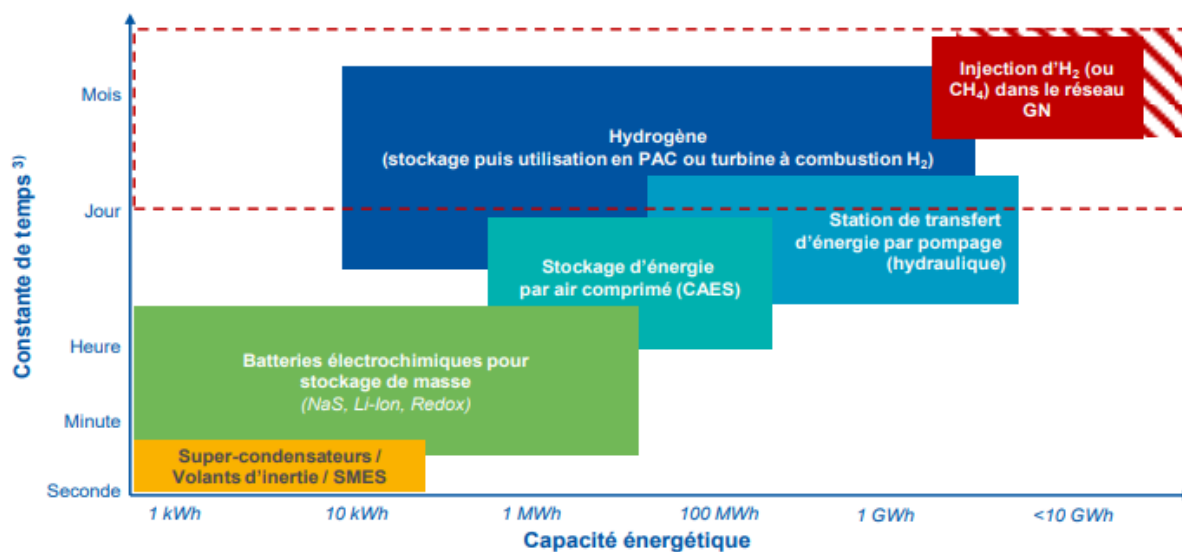


Figure 4 : comparaison des technologies de stockage de l'énergie électrique en fonction de la capacité énergétique et de la constante de temps.

Source : GRT Gaz, 2019

L'identification de l'hydrogène en tant que solution de stockage de l'électricité va alors mettre en lumière les problématiques liées à son mode de production. Jusqu'au début des années 2000, l'utilisation de l'hydrogène en tant que combustible pour les piles, telle qu'elle est envisagée par les politiques publiques, ne privilégie pas un mode de production particulier. Si les sujets de production et de distribution de l'hydrogène sont des questions abordées au début du second millénaire, ils ne suscitent toutefois pas un grand intérêt. Les fonds de soutien dédiés à l'hydrogène privilégient davantage les recherches sur les piles à combustible que sur la filière amont de production.

Néanmoins, dans un contexte de généralisation des objectifs de transition énergétique, les enjeux liés à la décarbonation de la production de l'hydrogène vont pousser les pouvoirs publics et les industriels à investir ce sujet. Un procédé de production, celui de l'électrolyse de l'eau, est particulièrement visé, compte tenu de la volonté de faire de l'hydrogène un vecteur de stockage des énergies électriques renouvelables.

2.2 La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau : levier de développement des énergies renouvelables ?

2.2.1 La production d'hydrogène : un intérêt grandissant

À la fin des années 1990, l'intérêt pour l'hydrogène en France se concentre surtout sur les piles à combustibles, mais les dynamiques européennes et internationales vont faire évoluer

peu à peu le sujet en intégrant davantage les recherches sur la production et la distribution de l'hydrogène. En 2003, l'élaboration d'une politique de recherche et d'innovation sur les nouvelles technologies de l'énergie instaure un climat favorable à la filière hydrogène. Les ministères de la Recherche, de l'Économie, des Finances et de l'Industrie ainsi que le ministère de l'Écologie commandent un rapport pour identifier les axes prioritaires concernant les nouvelles technologies de l'énergie. Ce document, appelé rapport Chambolle, cible l'hydrogène et la pile à combustible comme priorités pour la France et comme « technologies de rupture » à investir à horizon 2050⁴⁶. Un des enjeux identifiés concerne la production d'hydrogène de manière décarbonée, afin d'éviter d'avoir recours aux technologies traditionnelles issues d'énergies fossiles⁴⁷. Le rapport insiste également sur la nécessité d'accentuer les efforts pour la production, la distribution et le stockage de l'hydrogène afin que la France ne soit pas dépassée par les États-Unis et le Japon, dont les investissements dans ce domaine sont bien supérieurs.

Ces réflexions aboutissent à la mise en place d'appels à projets de l'Agence nationale de la recherche (ANR) intitulés « Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustibles (PAN-H) » coordonnés par le CEA. Reconnus pendant quatre ans de 2005 à 2008, ces appels à projets visent à construire « un programme de recherche et développement à finalité économique et industrielle, en s'appuyant sur les atouts et spécificités nationaux, dans un cadre pluriannuel (2005-2010, dans un premier temps), qui s'intégrera à la démarche européenne⁴⁸ ». Les thématiques de recherche du programme sont les suivantes : production d'hydrogène, approvisionnement et stockage de l'hydrogène, technologies liées aux piles à combustible et activités transverses (acceptabilité sociale et sécurité).

Les recherches dédiées à la production et la distribution d'hydrogène, bien qu'elles soient présentes chaque année au sein du programme, ne bénéficient toutefois pas de financements aussi élevés que les recherches sur les piles à combustible. La recherche en matière de production d'hydrogène se cantonne à quelques procédés : l'électrolyse haute température, l'électrolyse basse température (alcalin ou à membrane échangeuse de protons) couplée aux énergies renouvelables et les cycles thermo-chimiques⁴⁹. Ces différentes technologies sont notamment portées par des énergéticiens tels qu'EDF, Areva ou encore Air Liquide, ainsi que le CEA qui développe de nombreuses recherches sur le sujet. Le CEA semble avoir un poids considérable dans l'orientation des décisions dans la mesure où il est présent au sein

⁴⁶ Chambolle, Thierry, M., Florence. (2004). *Les nouvelles technologies de l'énergie*.

⁴⁷ Nous rappelons que les technologies majoritairement utilisées pour produire de l'hydrogène sont le vaporeformage de gaz naturel, l'oxydation partielle d'hydrocarbures et la gazéification du charbon. Chacun de ces procédés émet entre 10 et 20 kilogrammes de CO₂ par kilogramme d'hydrogène produit. Voir l'introduction générale.

⁴⁸ Agence nationale de la recherche, *Cahier des charges de l'appel à projets Recherche et d'Innovation 2006, Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustibles (PAN-H)*. p.3

⁴⁹ Procédé qui décompose l'eau en hydrogène et en oxygène grâce à la chaleur des réacteurs nucléaires.

de différentes sphères publiques et privées. Il est à la fois coordinateur de l'appel à projet national PAN-H et a une certaine proximité avec les industriels avec qui il développe des technologies⁵⁰.

Aux tournants des années 2010, avec la montée en puissance du sujet des énergies renouvelables et de la transition énergétique, le procédé d'électrolyse de l'eau fait l'objet d'un engouement de plus en plus important. Ce mode de production permet à la fois de produire l'hydrogène de façon décarbonée sous certaines conditions, comme nous le verrons ci-dessous, et de répondre aux enjeux de stockage de l'énergie électrique. Afin de comprendre comment est mobilisée la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau comme moyen de stockage, il convient d'expliquer un peu plus en détail ce procédé (cf encadré).

Si, la découverte du procédé d'électrolyse de l'eau remonte au 19^e siècle, la substitution des différents modes de production issus d'énergies fossiles par l'électrolyse de l'eau n'est pour autant pas si simple. De nombreux freins technologiques et économiques doivent être encore levés avant de voir l'électrolyse de l'eau s'imposer comme procédé principal pour la production d'hydrogène.

Encadré 2 : La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau est un processus électrochimique qui sépare les molécules d'hydrogène (H_2) et d'oxygène (O_2) contenues dans l'eau (H_2O) grâce à la circulation d'électrons (e^-). Dit autrement, l'électrolyse de l'eau est un procédé dissociant l'eau en hydrogène et oxygène grâce à des réactions électrochimiques au sein de deux électrodes, appelées anodes et cathodes, immergées dans une solution électrolyte. Ces réactions, dites d'oxydoréduction, sont obtenues grâce à l'application d'un courant électrique aux deux électrodes entraînant le transfert des ions et des électrons entre elles.

La réaction chimique globale de l'électrolyse est la suivante : $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$

⁵⁰ Par exemple, la CEA développe une pile à combustible avec le constructeur automobile PSA.

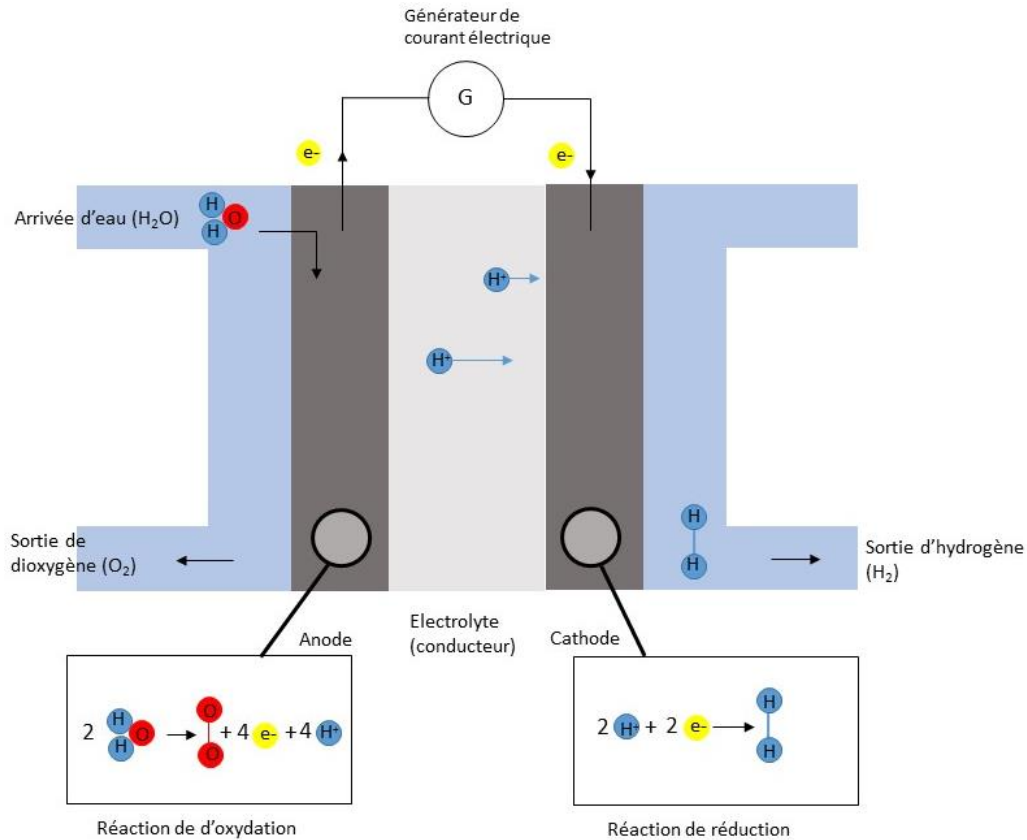


Figure 5 : schéma de fonctionnement d'un électrolyseur.
Réalisation : auteure

2.2.2 Enjeux liés à la production d'hydrogène décarbonée par électrolyse de l'eau

Un des points non négligeables qui joue en défaveur de l'électrolyse de l'eau concerne le coût de production. Les procédés les plus courants, comme le vaporeformage ou l'oxydation partielle, produisent de l'hydrogène à un coût compris entre 1,5 et 2 euros du kilogramme. Pour l'électrolyse de l'eau, ces coûts sont variables en fonction des hypothèses prises mais se situent entre 5 et 10 euros du kilo en moyenne, soit trois à six fois plus chers. Ces prix onéreux s'expliquent à la fois par le prix de l'électricité et par les coûts de production des électrolyseurs. Le principal apport énergétique nécessaire pour le fonctionnement de l'électrolyseur étant l'énergie électrique, le coût de production de l'hydrogène dépend fortement du prix de l'électricité⁵¹. Pour baisser le coût de production, il convient de garantir un prix de l'électricité le plus faible possible.

⁵¹ La production d'un kilogramme d'hydrogène nécessite entre 50 et 60 kWh d'énergie électrique.

A cela s'ajoute le rendement faible de l'électrolyse de l'eau. En comparaison des procédés de vaporeformage ou d'oxydation partielle, dont les rendements sont aux alentours de 90% de rendement pour les deux procédés traditionnels, celui de l'électrolyse de l'eau est compris entre 60 et 80 %, ce qui constitue un argument en sa défaveur.

Enfin, un dernier point de blocage concerne le caractère décarboné d'une production par électrolyse de l'eau. Ce dernier dépend majoritairement de l'origine de l'électricité utilisée. Des études ont montré qu'en fonction du mode de production de l'énergie électrique, le recours à l'électrolyse de l'eau pouvait alors émettre plus de CO₂ que les procédés de vaporeformage de gaz naturel. Ainsi, pour les pays dont le mix électrique est majoritairement issu des centrales à gaz ou à charbon, l'utilisation de l'électrolyse de l'eau ne participe pas nécessairement à réduire les émissions de gaz à effet de serre (cf figure 6).

Dans cette optique, pour que la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau soit considérée comme « décarbonée », l'électricité utilisée doit être issue de filières faibles en carbone. Pour cette raison, le recours aux énergies électriques renouvelables (éolien, solaire) ou aux sources dites décarbonées (nucléaire) est nécessaire pour une production d'hydrogène « vert ».

Un autre moyen pour décarboner la production d'hydrogène, en voie de développement dans plusieurs pays européens, est d'avoir recours au captage du CO₂ émis (CCUS) pour les modes de production ordinaires. Cette méthode vise à capter et séquestrer le CO₂ géologiquement ou à le valoriser dans des procédés chimiques. Cela permet de baisser fortement les émissions et peut s'avérer plus efficace, d'un strict point de vue de réduction des émissions de CO₂, que l'électrolyse de l'eau pour les pays n'ayant pas un mix électrique décarboné.

La figure 6 compare entre eux les procédés de gazéification du charbon (couleur grise) avec ou sans captage de carbone, de vaporeformage de gaz naturel (couleur jaune) avec ou sans captage de carbone et l'électrolyse de l'eau (couleur bleue) en fonction de l'origine de l'énergie électrique (renouvelable ou nucléaire, issu du gaz, issue du charbon et le mix mondial électrique). Il en ressort que seule l'électrolyse issue d'énergies renouvelables ou nucléaire permet d'atteindre un taux d'émissions de CO₂ nul⁵². Dans les autres cas de figure concernant l'électrolyse, le taux d'émissions est soit nettement supérieur soit légèrement inférieur à ceux des procédés classiques issus du gaz naturel ou du charbon sans captage de carbone. Dans cette optique, ils ne peuvent constituer des pistes à privilégier pour respecter les objectifs de décarbonation.

⁵² L'atteinte d'un taux d'émissions de CO₂ nul peut toutefois être contestée en fonction des hypothèses qui sont prises.

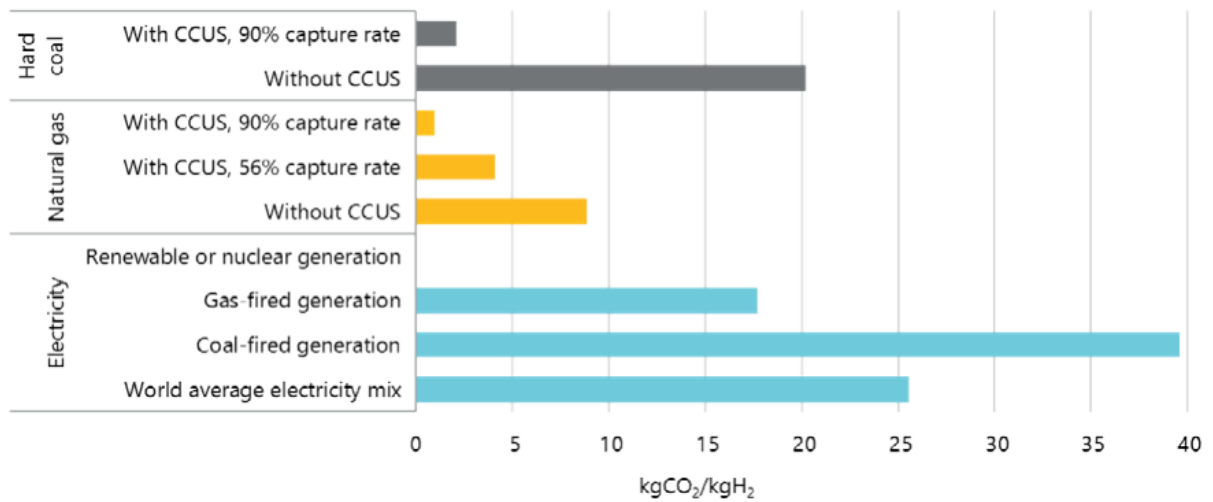


Figure 6 : Taux de CO₂ émis par kilogramme d'hydrogène produit en fonction des modes de production.
Source : IEA, 2019

Afin de bien comprendre les enjeux liés à cette filière, nous souhaitons insister sur le fait que c'est la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau qui constitue un vecteur de stockage de l'énergie électrique et non pas l'hydrogène seul. Les autres modes de production issus de la biomasse, du biogaz ou ayant recours au captage de CO₂ ne sont pas un moyen de stocker l'énergie électrique mais répondent néanmoins aux enjeux de décarbonation de la production d'hydrogène.

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau constitue ainsi l'une des solutions pour stocker les énergies renouvelables et apporter une réponse à leur intermittence. Le recours à un tel procédé permet d'apporter des moyens de flexibilité au système électrique, dans la mesure où les électrolyseurs peuvent fonctionner en période de surplus de production électrique et restituer cette dernière lors des périodes de faible production. Il ne s'agit plus de penser un équilibre constant entre offre et demande mais de l'appréhender d'une autre façon grâce à une gestion plus intelligente des systèmes énergétiques.

Dans ce contexte, l'hydrogène et l'électrolyse de l'eau peuvent être perçus comme des moyens de provoquer des changements dans la manière de penser les systèmes énergétiques en s'intégrant dans le modèle « alternatif » des énergies renouvelables (Evrard, 2013). Pour approfondir cette question sur les modifications que peut générer le déploiement de l'hydrogène en tant que solution de stockage, il convient de s'intéresser à son introduction dans les secteurs électriques et gaziers.

3) L'introduction de l'hydrogène dans les secteurs électriques et gaziers : quels changements ?

Concrètement, le stockage de l'énergie électrique par hydrogène est associé au fait d'avoir recours à une production par électrolyse de l'eau afin d'utiliser les surplus d'électricité. L'énergie électrique, d'origine renouvelable, va permettre l'alimentation des électrolyseurs et la production d'hydrogène. Ce dernier est ensuite stocké sous forme gazeuse ou liquide en fonction des usages et peut être transporté soit par camions soit par gazoducs afin d'être utilisé dans différents domaines (mobilité, résidentiel, etc.).

Nous souhaitons dans un premier temps revenir sur les applications de l'hydrogène en nous intéressant plus particulièrement au fonctionnement d'une pile à combustible afin d'expliquer comment de l'énergie électrique peut être restituée à partir d'hydrogène.

3.1 Les piles à combustible : produire de l'électricité à partir d'hydrogène

Comme nous l'avons montré précédemment, une pile à combustible est un générateur d'électricité faisant réagir un gaz (ici l'hydrogène) et l'air (ou dioxygène) et qui ne rejette que de l'eau et de la chaleur. Dans cette optique, dans les années 2000, la pile à combustible séduit à la fois pour son potentiel de développement dans les transports mais également pour sa capacité à produire de l'électricité à destination de zones isolées (non raccordées au réseau électrique national) et pour des appareils dits nomades (groupe électrogène par exemple). Ainsi, le sujet pile reprend de l'ampleur et de nouveaux programmes de recherche notamment au niveau européen voient le jour pour accompagner le développement industriel de cette technologie.

Les enjeux de transition énergétique et de décarbonation vont venir renforcer cet engouement pour les piles. Dans le cas où l'hydrogène introduit est considéré comme « vert » ou bas-carbone, le recours à la pile à combustible est présenté comme un moyen de décarboner de nombreux usages énergétiques comme les transports ou les bâtiments. Le principe est d'utiliser l'électricité stockée sous forme d'hydrogène et de la restituer grâce à la pile à combustible. Cette utilisation de l'hydrogène, appelée « *Power to Power* », est particulièrement intéressante pour les sites isolés. En effet, il s'agit alors de combiner production d'énergie électrique renouvelable, production par électrolyse, stockage à hydrogène et pile à combustible pour garantir l'autonomie électrique de ces sites.

Outre les sites isolés, l'hydrogène et les piles à combustible peuvent également servir aux secteurs industriel ou résidentiel afin d'assurer une partie des besoins en électricité et en chaleur grâce au principe de cogénération. La cogénération consiste dans la production conjointe d'énergie électrique et d'énergie thermique. Ce principe vise à augmenter le rendement d'une pile à combustible en utilisant l'électricité et la chaleur produite lors du processus d'électrolyse de l'eau, pour le chauffage d'un bâtiment par exemple. Dans cette optique, certains porteurs de projets envisagent la mise en place de bâtiments autonomes par exemple, avec une production d'énergie électrique grâce à des panneaux photovoltaïques, un stockage grâce à un système batterie et pile à combustible qui restitue ensuite l'énergie électrique et thermique nécessaire aux besoins des usagers.

Ces cas d'usage de *Power-to-Power* mettent en avant le rôle de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique dans la mesure où il est utile pour transporter et stocker l'électricité, grâce à une production par électrolyse de l'eau, puis pour restituer l'énergie électrique à l'aide d'une pile à combustible. La figure 7 illustre la chaîne de valeur de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage de l'énergie électrique et montre les différentes étapes qui la constituent pour transformer successivement l'énergie électrique et l'hydrogène.

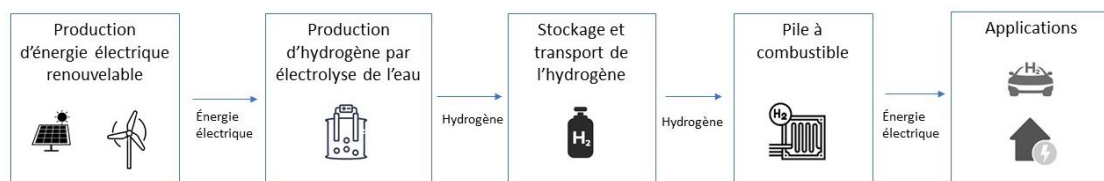


Figure 7 : la chaîne de valeur du procédé « Power-to-Power »
Réalisation : auteure

Néanmoins, l'hydrogène ne s'adresse pas uniquement au secteur électrique et peut également apporter des modifications au niveau du secteur du gaz. En effet, l'hydrogène peut être injecté sous forme gazeuse dans le réseau de gaz et ainsi participer au « verdissement » des applications du gaz naturel. Cette possibilité, appelée *Power-to-gas*, constitue l'une des solutions clé pour certains acteurs dans l'atteinte d'un mix énergétique 100 % renouvelable à horizon 2050.

3.2 Les enjeux du déploiement de l'hydrogène dans les secteurs du gaz et de l'électricité

3.2.1 Le *Power-to-gas*, l'hydrogène un vecteur énergétique à l'interface du secteur électrique et du secteur gazier ?

Le *Power-to-gas* désigne un procédé technique où l'électricité excédentaire est convertie en gaz (méthane, hydrogène, etc.) afin d'être valorisée⁵³. L'intérêt de ce procédé réside dans le fait que le gaz est facilement stockable en grande quantité, contrairement à l'électricité. En transformant les surplus d'énergie électrique en gaz, celui-ci peut être notamment stocké, transporté puis utilisé pour diverses applications énergétiques. Le *Power-to-gas* permet ainsi d'apporter une complémentarité entre électricité et gaz et une certaine flexibilité aux réseaux électrique et gazier.

En ce qui concerne l'hydrogène et le *Power-to-gas*, le principe est d'avoir recours à l'électrolyse de l'eau. L'hydrogène produit peut être directement utilisé dans des piles à combustible ou être injecté dans le réseau de gaz. Dans ce dernier cas de figure, deux alternatives sont possibles : l'hydrogène est injecté dans les réseaux de transport ou de distribution du gaz ou il est d'abord transformé en méthane de synthèse⁵⁴ (CH₄) avant d'être injecté dans le réseau gazier (cf. figure 8). Dans le premier cas, le volume d'hydrogène injectable est limité puisque les infrastructures gazières actuelles ne permettent pas l'injection d'hydrogène pur au-dessus d'un certain seuil⁵⁵. A l'inverse, dans le second cas, l'étape de transformation de l'hydrogène en méthane de synthèse permet d'injecter une quantité plus importante d'hydrogène dans le réseau de gaz actuel, sans nécessiter de changement des réseaux de gaz.

Le recours au réseau gazier favorise ainsi le stockage d'hydrogène sur de longues périodes et permet de bénéficier d'infrastructures déjà existantes pour le transport et la distribution de ce gaz. L'injection d'hydrogène décarboné dans le réseau de gaz permet également de décarboner les usages traditionnels du gaz, c'est-à-dire la production de chaleur pour le chauffage ou la cuisson dans les secteurs résidentiels et de l'industrie. Il est également possible de séparer l'hydrogène injecté du gaz naturel grâce au processus de séparation membranaire. Une fois cette étape de dissociation réalisée, l'hydrogène peut être utilisé dans les différents cas d'usages identifiés précédemment (mobilité, production électrique, etc.).

⁵³ ADEME, GRT Gaz, & GRDF. (2014). *Étude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire*.

⁵⁴ La méthanation est un procédé combinant l'hydrogène (H₂) et dioxyde de carbone (CO₂) afin de former du méthane de synthèse (CH₄).

⁵⁵ Une étude menée par GRT Gaz en 2019 montre que le réseau de gaz actuel est limité dans la quantité d'hydrogène pur qu'il peut accueillir, compte tenu de caractéristiques techniques. En 2019, des tests sont réalisés avec un taux d'injection de 6% d'hydrogène et GRT Gaz estime pouvoir augmenter ce seuil à 10 voire 20% d'ici 2030. Pour l'étude complète : GRT Gaz. (2019). *Conditions techniques et économiques d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel* (p.46)

Section 1 : Réémergence de l'hydrogène comme solution de stockage de la transition énergétique

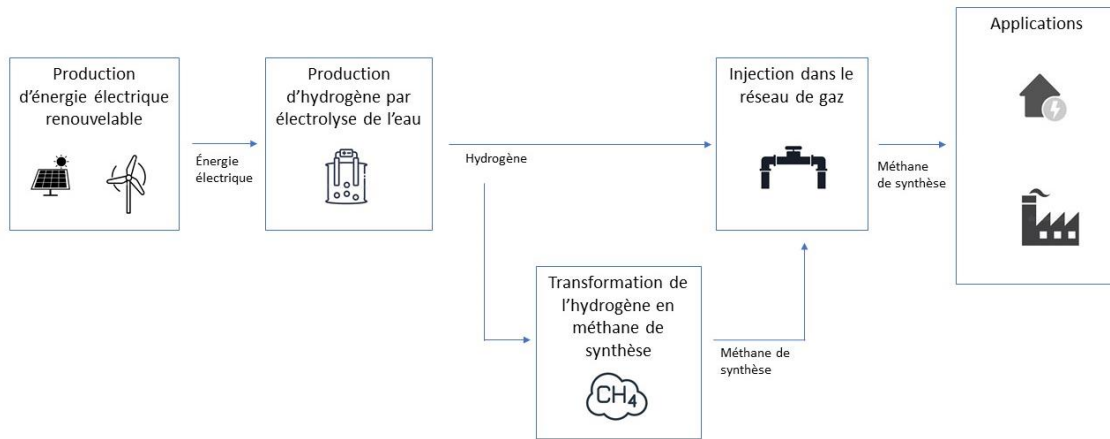


Figure 8 : chaîne de valeur du procédé Power-to-gaz;
Réalisation : auteure

L'hydrogène en tant que solution de stockage des énergies renouvelables et le développement du principe de *Power-to-gaz* peuvent donner lieu à une mise en relation des secteurs de l'électricité et du gaz, et venir ainsi modifier le fonctionnement du système énergétique conventionnel. La figure 9, réalisée par GRT gaz, illustre la manière dont l'hydrogène se situe à l'interface entre réseaux électrique et gazier et permet d'envisager un couplage entre les deux secteurs.

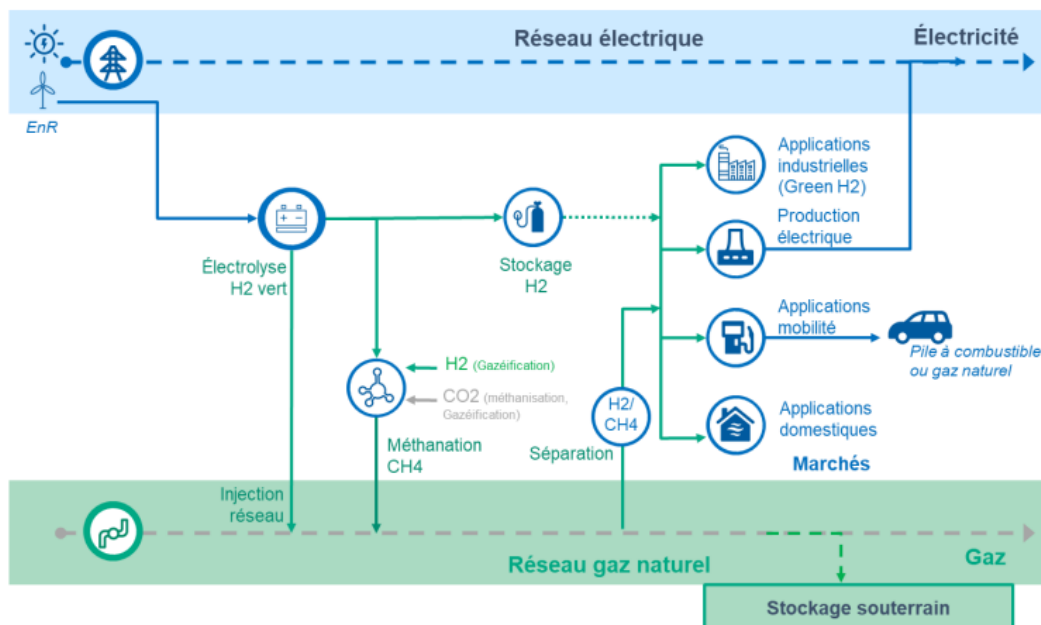


Figure 9 : Schéma du couplage entre les réseaux électrique et gazier.
Source GRT Gaz, 2019

3.2.2 Le couplage gaz – électricité : enjeux de déssectorisation du secteur énergétique ?

Les premières unités de *Power-to-gas* sont mises en œuvre en 2013 en Allemagne et plusieurs acteurs français du secteur gazier témoignent un intérêt pour le sujet à cette même période. Un rapport publié en 2014 par l'Ademe avec GRT Gaz et GRDF étudie le procédé de *power-to-gas* pour valoriser l'électricité excédentaire⁵⁶. L'étude indique que les capacités de stockage du réseau gazier sont 300 fois plus importantes que celle du réseau électrique, plaçant de fait le recours aux infrastructures gazières comme un levier important face aux enjeux de transition énergétique.

Si ce procédé n'est pas une « technologie de rupture⁵⁷ », dans la mesure où il fait appel à des procédés techniques déjà connus et maîtrisés (électrolyse de l'eau, méthanation, transport gazier), il requiert néanmoins des changements dans la gouvernance du système énergétique. Ce principe, à l'interface entre secteurs gazier et électrique, nécessite en effet des actions transverses et une collaboration intersectorielle. Selon le rapport de l'agence, « *le Power-to-Gas va bien au-delà d'une simple solution de stockage massif d'électricité : il s'insère dans une logique systémique qui met en évidence non seulement la complémentarité des trois principaux réseaux énergétiques (électricité, gaz et chaleur) en imposant a minima une coordination de leur gestion et de leur exploitation au niveau local*⁵⁸. » Cette collaboration est cependant perçue comme difficile par plusieurs acteurs (Ademe, Négawatt), dans la mesure où les opérateurs historiques français de l'énergie agissent de manière cloisonnée. Les auteurs du rapport de l'Ademe, de GRT Gaz et GRDF estiment que les caractéristiques du système énergétique français, qui ont longtemps reposé sur des entreprises nationales en situation de monopole, ont favorisé des fonctionnements sectoriels et une certaine concurrence entre celles-ci (historiquement GDF et EDF). Ainsi, ces deux vecteurs énergétiques (gaz et électricité) sont généralement opposés, aussi bien par les décideurs politiques que par les usagers, ce qui rend difficile d'envisager leur complémentarité⁵⁹.

L'idée d'envisager une complémentarité entre les secteurs de l'énergie fait écho aux réflexions développées par l'association Négawatt depuis plusieurs années⁶⁰. Cette association, fondée en 2001, promeut le concept et la démarche négawatt⁶¹ qui repose sur trois piliers, sobriété, efficacité énergétique et énergies renouvelables, pour répondre aux enjeux de transition énergétique. Dans son scénario publié en 2017, l'association considère que les technologies

⁵⁶ Ademe, GRT Gaz et GRDF (2014). *Étude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire*

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Op. cit. p 167

⁵⁹ Ibid.

⁶⁰ Dans l'un de ses scénarios « Négawatt 2011 » le power-to-gas est déjà identifié comme un élément clé pour la transition énergétique par l'association.

⁶¹ Selon la définition donnée par l'association, le terme négawatt a été inventé par Amory Lovins « pour désigner l'énergie non consommée ou économisée par des actions de sobriété ou d'efficacité énergétique. »

de *Power-to-gas* et de méthanation (transformation de l'hydrogène en méthane de synthèse) constituent la « clé de voûte » de la transition énergétique. Le *Power-to-gas* permet une meilleure complémentarité des sources énergétiques et des réseaux électriques et gaziers⁶². Pour mettre à profit le couplage entre les différentes sources et vecteurs énergétiques, l'association met en avant le besoin de changer d'approche dans la manière d'appréhender le système énergétique. Selon elle, si l'on souhaite parvenir à un mix 100 % renouvelable, l'approche sectorielle n'est plus adéquate pour penser le système énergétique dans sa globalité. Il convient donc d'adopter une approche systémique, c'est-à-dire de prendre en compte l'ensemble des secteurs (électriques, gaziers, mobilité, etc.) et de penser leurs complémentarités. Une telle approche demande aux décideurs publics de sortir de la vision en silo qui caractérise les politiques énergétiques françaises depuis des années, afin d'adopter une démarche plus transversale en prenant en compte l'ensemble des ressources et vecteurs énergétiques disponibles.

L'hydrogène est ainsi considéré, par certains acteurs, comme un « instrument de régulation⁶³ », dans la mesure où il permettrait de réguler les périodes d'intermittence des énergies renouvelables, tout en créant des « synergies⁶⁴ » entre réseaux gazier et électrique. Les surplus d'électricité pourraient être transformés en gaz pouvant être stocké puis transporté à travers tout le territoire national. L'hydrogène et le *Power-to-gas* permettraient ainsi aux producteurs d'électricité renouvelable d'être moins dépendants des marchés de l'électricité et d'avoir plus de liberté dans la manière de valoriser leur production.

3.2.3 Une nouvelle problématisation de l'hydrogène

Cette représentation de l'hydrogène en tant que vecteur passerelle entre les secteurs électriques et gaziers marque un tournant, selon nous, dans sa problématisation. Contrairement aux visions construites au début des années 2000, qui associaient de façon presque systématique le développement de l'hydrogène à celui des piles à combustibles, les enjeux liés à la transition énergétique mettent finalement en avant l'idée que l'hydrogène et les piles à combustibles doivent être pris en compte comme des filières connexes qui peuvent se développer de manière séparée⁶⁵. Il ne s'agit plus de penser l'hydrogène comme un simple combustible, mais d'intégrer l'ensemble de sa chaîne de valeur dans une réflexion plus globale sur les changements qu'il peut apporter au niveau des systèmes énergétiques actuels. Il n'est

⁶² NégaWatt. (2017). *Synthèse du scénario Négawatt 2017—2050*.

⁶³ Durville, J.-L., Gazeau, J.-L., Nataf, J.-M., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène énergie—CGEDD - CGE* (p. 161).

⁶⁴ Ibid.

⁶⁵ ADEME. (2011). *Feuille de route stratégique : L'hydrogène énergie et les piles à combustibles*. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/hydrogene-energie-piles-combustibles-feuille-route-strategique-2011-6923.pdf> (Consulté le 15/08/2022).

plus question de penser uniquement l'hydrogène comme une solution de substitution au pétrole, comme c'était le cas dans les années 1970 et au début des années 2000 mais d'avoir une démarche plus globale, comme en témoigne une citation dans un magazine de l'Ademe en 2016 : « *aujourd'hui l'approche a évolué. L'hydrogène n'est plus perçu comme une énergie de remplacement, mais davantage comme une solution d'appui au service d'une vision globale et intelligente des systèmes énergétiques*⁶⁶ ».

Dans ce contexte, les technologies de l'hydrogène participent à l'édification d'une nouvelle vision de l'avenir du secteur énergétique. Celle-ci ne met pas seulement en avant l'idée de coupler les réseaux et de stocker les énergies renouvelables mais d'offrir aussi une gestion plus intelligente des systèmes énergétiques grâce au développement de solutions numériques. L'introduction de moyens de pilotage intelligent des réseaux électrique est conçue comme un moyen de sortir d'une politique de l'offre pour passer à une politique de gestion de la demande en fonction de la production. L'hydrogène s'inscrit dans le triptyque « énergies renouvelables, stockage et gestion intelligente de l'énergie⁶⁷ » qui constitue une nouvelle représentation du système énergétique. Cette dernière est alors portée par plusieurs acteurs, comme l'Ademe et l'association NegaWatt, qui prônent un changement radical, en lien avec les objectifs de transition énergétique (couplage des réseaux, stockage de l'énergie, mix 100 % renouvelable, etc.).

Ainsi, l'introduction de l'hydrogène peut être appréhendée comme un moyen d'apporter des changements organisationnels et institutionnels au secteur énergétique. Une des particularités de l'hydrogène tient à son caractère intersectoriel et transversal qu'il nous semble important de prendre en compte dans l'analyse de l'action publique qui se construit.

Cette première section du chapitre nous a permis d'analyser la construction d'une représentation de l'hydrogène au prisme de la transition énergétique à partir des années 2010. Plusieurs éléments concourent en faveur d'un développement de ce gaz pour stocker les énergies renouvelables. Dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) de 2015, il est indiqué qu'un « plan de développement du stockage des énergies

⁶⁶ ADEME. (2016). *Ademe & vous, le mag : Hydrogène : un vecteur d'avenir pour les territoires*. 101, 16.

⁶⁷ Kalinowski, L., & Pastor, J.-Ma. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?* OPESCT.

renouvelables par hydrogène décarboné⁶⁸ » doit être élaboré par le gouvernement. Il est attendu que celui-ci porte à la fois sur le modèle économique du stockage par hydrogène décarboné, la mise en œuvre de mesures incitatives pour le développement des véhicules électriques à hydrogène ainsi que sur l'adaptation de la réglementation pour la conversion de l'électricité en gaz⁶⁹.

Les caractéristiques de l'hydrogène invitent certains acteurs à imaginer un nouveau système énergétique où les secteurs du gaz et de l'électricité ne fonctionneraient plus isolément mais au contraire où les réseaux pourraient être couplés. La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau devient ainsi un moyen d'apporter de la flexibilité au réseau électrique. Il s'agit de sortir des formes traditionnelles qui cadrent le secteur en passant d'une logique de l'offre à une meilleure maîtrise de la consommation et de la demande grâce aux nouvelles technologies de l'énergie.

Ainsi, l'hydrogène endosse le rôle d'une technologie clé pour répondre aux enjeux énergétiques et au déploiement des énergies renouvelables. La figure 10 illustre les sept rôles attribués à l'hydrogène dans la transition énergétique par l'Association française de l'hydrogène et des piles à combustible (AFHYPAC). Cette association, que nous présenterons dans la seconde section du chapitre, est l'un des acteurs majeurs dans l'établissement de cette nouvelle problématisation. Cette figure présente l'hydrogène comme étant à la fois un moyen de favoriser le développement des énergies renouvelables et de décarboner les usages (transport, industriels, résidentiels, etc.), tout en permettant une meilleure gestion du système énergétique. L'hydrogène prend alors des airs de « solution miracle » de la transition énergétique dont on ne saurait se passer pour atteindre les objectifs énergétiques fixés.

⁶⁸ Article 121—LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000031047991 (Consulté 4 octobre 2022).

⁶⁹ Ibid.

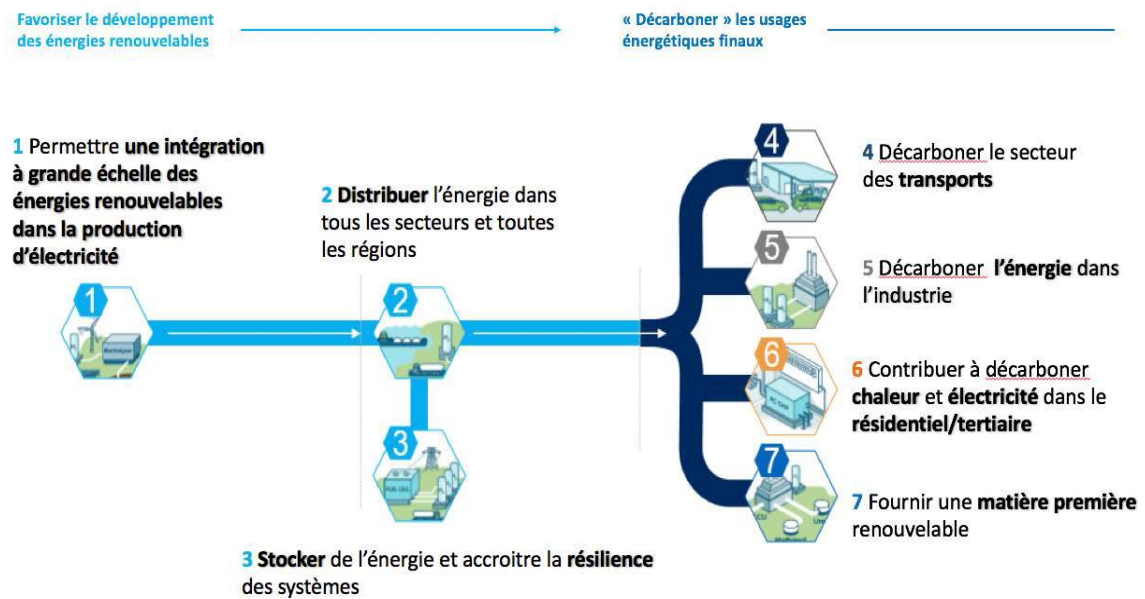


Figure 10 : les sept rôles de l'hydrogène dans la transition énergétique d'après l'AFHYPAC.
Source : AFHYPAC, *Développons l'économie hydrogène française*, 2018

Si cette première section a montré l'émergence de la problématisation de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage et les promesses de changements qui peuvent lui être associées, son appropriation par les acteurs interroge. De quelle manière le déploiement d'une solution de stockage par hydrogène est-il projeté par ces acteurs ? Quels acteurs se mobilisent autour de cette vision ? Quel est le rôle envisagé pour les territoires ? C'est ce que nous allons questionner au cours de la seconde section de ce chapitre.

SECTION 2 : L'EMERGENCE D'UNE APPROCHE TERRITORIALISEE DU DEPLOIEMENT DE L'HYDROGENE

La nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage et solution pour la transition énergétique s'accompagne de réflexions sur les conditions concrètes de sa mise en œuvre, qui touchent aussi bien les aspects technologiques que les aspects de gouvernance.

Dans ce contexte, plusieurs acteurs mettent en avant le rôle des « territoires » pour promouvoir une approche transversale du déploiement de l'hydrogène. Selon ces derniers, la modularité des électrolyseurs et le caractère décentralisé des énergies renouvelables en font des échelles pertinentes pour déployer l'hydrogène.

Cette section cherche à décrire la manière dont une approche territorialisée de l'hydrogène a vu le jour. L'identification du rôle des territoires et la construction d'une vision territoriale du déploiement de l'hydrogène s'expliquent, selon nous, par plusieurs éléments à la fois techniques, économiques, institutionnels et politiques, que nous souhaitons décrire plus précisément.

1) Vers une gestion territoriale de l'hydrogène ?

Plusieurs éléments (contexte institutionnel, publication de rapports) participent à promouvoir une vision territoriale du déploiement de l'hydrogène. Les dynamiques institutionnelles et la mobilisation de certains acteurs confèrent une place importante aux collectivités territoriales dans la mise en œuvre des politiques énergétiques. De plus, les caractéristiques techniques liées à la production par électrolyse de l'eau renforcent l'idée que les échelons infrarégionaux ont un rôle à jouer dans le déploiement de l'hydrogène en France.

1.1 Des acteurs territoriaux identifiés comme incontournables

1.1.1 Un contexte institutionnel favorable pour les territoires

Le début des années 2000 est marqué par plusieurs changements dans la conduite des politiques énergétiques nationales et dans leur territorialisation. La libéralisation des secteurs de l'énergie, l'introduction des énergies renouvelables et les problèmes environnementaux et

climatiques sont autant de raisons qui contribuent aux modifications institutionnelles du système énergétique.

Boutaud (2016) montre que les modalités de participation des collectivités territoriales dans la gestion des politiques énergétiques ont beaucoup évolué depuis le début des années 2000. L'auteur retrace les différentes lois qui ont généré des modifications au niveau de la régulation du secteur énergétique et montre que les formes d'intervention des collectivités territoriales ont changé (Boutaud, 2016). Les lois du Grenelle de l'Environnement laissent transparaître l'ambition de revaloriser les territoires en leur cédant plus de pouvoir dans le pilotage de la transition énergétique. La notion de « *gouvernance à 5*⁷⁰ » témoigne de la volonté de l'État de ne plus afficher une logique descendante concernant la prise de décision en matière de choix énergétique (Poupeau, 2013). Les lois et les réformes institutionnelles adoptées entre 2015 et 2017 (TECV, loi Notre, etc.) vont dans cette direction et précisent le rôle des différents échelons institutionnels dans la transition énergétique.

Dans cette optique, de nouveaux outils sont mis en place pour partager le pilotage des stratégies énergie-climat et pour renforcer l'implication des territoires dans l'élaboration de politiques énergétiques. Les collectivités sont dotées de nouvelles compétences institutionnelles qui leur permettent d'agir à différents niveaux : production d'électricité renouvelable, maîtrise de la demande d'énergie, gestion des réseaux de distribution, planification et subvention des énergies renouvelables, etc. (Boutaud, 2016).

Les enjeux de transition énergétique et environnementaux renforcent cette tendance visible depuis le début des années 2000. Du fait de la dimension transversale de la transition énergétique, les enjeux qui lui sont liés concernent une pluralité de secteurs (aménagement du territoire, mobilité, énergie, économie, etc.), d'acteurs et d'échelles d'action (Nadaï & Labussière, 2015). Le besoin d'avoir alors une vision « déssectorisée » pour répondre aux problèmes laisse entrevoir que les territoires infranationaux sont des échelles pertinentes pour l'élaboration de l'action publique. Les acteurs publics locaux apparaissent alors comme des garants d'une proximité avec les usagers, permettant une meilleure intégration des besoins et la mise en place d'actions transversales (Poupeau, 2014).

Dans cette perspective, les territoires sont considérés par les porteurs de projet mais aussi par l'État comme des échelons pertinents pour tester des nouvelles technologies de l'énergie, en mettant en place des projets de démonstration. Ces politiques de démonstration cherchent à promouvoir des « bonnes pratiques » en jouant le rôle de « vitrine de l'exemplarité du territoire et des technologies testées » (Leprêtre, 2016, p. 39). Pour ces échelons infrarégionaux, cela constitue un moyen d'endosser une image de « territoire innovant » mais

⁷⁰ Terme introduit par le ministère de l'écologie et du développement durable en 2008. Il comprend dans la « gouvernance à 5 » : l'État, les partenaires sociaux, les organisations syndicales et patronales, les associations de la société civile et collectivités territoriales

aussi de répondre à des problèmes publics locaux parfois plus larges que les enjeux énergétiques (Chailleux & Hourcade, 2021). Pour y parvenir, les collectivités territoriales s'appuient sur différents dispositifs, comme la création de sociétés d'économie mixte ou de sociétés publiques locales, afin de prendre part directement à la gouvernance des projets.

Ainsi, le rôle accru des collectivités territoriales à différents niveaux (région, métropole, commune, etc.) dans les politiques énergétiques interroge leur place dans le déploiement de l'hydrogène en France. Du côté de l'État, aucune stratégie claire n'est adoptée sur le sujet depuis le début des années 2000 et ce positionnement ne va guère évoluer durant les années 2010. Si l'hydrogène est inclus dans certains plans d'action de relance industrielle⁷¹, il ne fait toutefois pas l'objet d'un engouement fort au niveau national. Quelques appels à projets pilotés par l'Ademe subsistent entre 2012 et 2015, mais les soutiens financiers sont bien plus faibles que ceux des années précédentes et aucune vision sur les directives à suivre ne se dessine.

Dans ce contexte, plusieurs acteurs privés se tournent vers les échelons infrarégionaux pour mettre en œuvre des projets pilotes. Les caractéristiques techniques de l'hydrogène et les nombreux usages envisagés séduisent quelques collectivités territoriales, qui y voient une opportunité pour valoriser les ressources renouvelables dont elles disposent et faire de ce vecteur énergétique un levier d'attractivité pour le territoire.

1.1.2 Des rapports nationaux favorables à une vision territoriale de l'hydrogène

En 2011, l'Ademe travaille sur une feuille de route stratégique⁷² pour représenter les différents chemins possibles du développement de l'hydrogène et identifier les variables déterminantes pour assurer un modèle économique viable (entretien agent Ademe, juin 2020). L'agence développe quatre scénarios de déploiement de l'hydrogène en France d'ici 2050. Chacune des visions diffère selon deux paramètres : le système de production, opposant une production « centralisée » (nombre restreint des sites de production de grands volumes) à une autre « décentralisée » (dispersion de moyens de production de petites et moyennes tailles sur le territoire), et le type d'usages, « concentrés » (industrie et résidentiel) ou « diffus » (mobilité, marché de niche et usages nomades).

Une de ces visions s'appuie sur une production décentralisée et des usages diffus autour « d'une économie locale de l'hydrogène renouvelable qui maille le territoire⁷³ ». Pour l'Ademe, ce scénario décrit « une situation de décentralisation » et place au cœur des enjeux les acteurs territoriaux (collectivités territoriales, acteurs économiques, producteurs d'énergie locaux,

⁷¹ Le plan Nouvelle France Industrielle contient un volet stockage de l'énergie dans lequel l'hydrogène apparaît.

⁷² Ademe, (2011). *Feuille de route stratégique, L'hydrogène énergie et les piles à combustibles*

⁷³ Ibid.

etc.). Elle nécessite néanmoins un portage politique fort, aussi bien au niveau territorial que national, dans la mesure où elle fait appel à de profondes modifications des marchés de l'énergie. En promouvant une production décentralisée issue des énergies renouvelables, l'agence nationale considère que « l'hydrogène peut apporter une contribution importante à la transition vers un modèle énergétique décarboné⁷⁴ » et que son déploiement doit se faire « dans une logique de mise en adéquation entre les besoins en énergie des consommateurs et les ressources renouvelables d'un territoire⁷⁵ ». L'Ademe soutient le développement d'une production locale permettant d'apporter une flexibilité au réseau mais aussi de « favoriser localement l'autoconsommation des énergies renouvelables⁷⁶ ».

C'est donc la vision d'un vecteur énergétique impliquant les acteurs publics locaux, une production décentralisée et une approche territoriale du problème qui est véhiculée par l'Ademe. « *La pertinence de l'hydrogène se révèle à une échelle locale, dans une vision systémique de l'énergie : valorisation des sources renouvelables, interconnexion et flexibilité des réseaux énergétiques, valeurs ajoutées dans différents usages (mobilité, industrie, autoconsommation)*⁷⁷. »

Cette réflexion concernant le rôle à donner aux territoires et leur implication potentielle pour développer la filière est aussi présente aux niveaux ministériel et parlementaire. Un rapport de l'OPESCT, publié fin 2013, met en évidence le « rôle incontournable des territoires⁷⁸ ». Les rapporteurs avancent l'idée selon laquelle les acteurs territoriaux doivent jouer un rôle dans une gestion des ressources en énergie renouvelable adaptées aux spécificités climatiques et géographiques locales. Cette décentralisation de la gestion de l'énergie doit s'accompagner, selon eux, de la mise en place d'un nouveau système de gouvernance énergétique, en adéquation avec la « nature décentralisée des énergies renouvelables » et permettre de « rendre la main » aux territoires sur leurs « ressources énergétiques locales⁷⁹ ». Les auteurs du rapport parlementaire considèrent que la production décentralisée d'énergie « permet de faire évoluer les mentalités. Cette réflexion sur une nouvelle gouvernance, une liaison entre territoire, production et consommation d'énergie, concerne une partie de la gestion de l'énergie en France. Il n'est pas question de rompre avec les atouts procurés par la gestion centralisée de l'énergie sur notre territoire, qui permet une mutualisation et une solidarité, mais d'ajouter quelque chose lié à la spécificité des énergies décentralisées⁸⁰ ». Dans ce contexte, l'hydrogène est perçu comme un levier de décentralisation de la production d'énergie, pouvant alors « menacer » le positionnement dominant de certains acteurs traditionnels du secteur électrique.

⁷⁴ Ademe, (2016). *Les avis de l'Ademe : Hydrogène dans la transition énergétique*.

⁷⁵ Ibid.

⁷⁶ Ademe, (2018). *Fiche technique - L'hydrogène dans la transition énergétique*.

⁷⁷ ADEME. (2018). *Les avis de l'ADEME - Le vecteur hydrogène dans la transition énergétique*.

⁷⁸ Kalinowski, L., & Pastor, J.-M. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?* OPESCT.

⁷⁹ Ibid.

⁸⁰ Kalinowski, L., & Pastor, J.-M. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?* OPESCT. p. 88.

Un rapport gouvernemental, rédigé en 2015 par le Conseil général de l'économie⁸¹ (CGE) et par le Conseil général de l'environnement et du développement durable⁸² (CGEDD), met aussi en avant le rôle des territoires. Il montre qu'il existe des synergies entre les applications mobiles et nomades sur les territoires et recommande de mettre en place une « économie de l'hydrogène » à l'échelle de grandes agglomérations, c'est-à-dire implanter des unités de production et des stations hydrogène pour satisfaire plusieurs utilisations (mobilité, industrie, résidentielle, logistique, etc.) et bénéficier d'un meilleur amortissement des infrastructures en mutualisant les besoins. Le rapport préconise une approche transversale des projets hydrogène visant à atteindre une meilleure rentabilité économique. L'enjeu étant de parvenir à un coût de production par électrolyse équivalent à celui obtenu par vaporeformage d'énergie fossile, le caractère décentralisé de la production apparaît alors comme une variable discriminante, puisqu'il permet de s'affranchir des coûts de transports et de conditionnement souvent onéreux.

Outre les acteurs nationaux (Ademe, CGE et CGEDD, OPESCT) qui, à travers la publication de rapports et de feuilles de route, mettent en lumière le rôle et la pertinence des territoires dans le déploiement de l'hydrogène en France, d'autres acteurs interviennent dans le réseau qui se dessine autour de l'hydrogène. *Parmi eux, une association, va jouer un rôle prépondérant dans la problématisation de l'hydrogène en France*

1.1.3 L'Association Française de l'Hydrogène et des Piles à Combustible, un porte-parole de l'hydrogène dans les territoires ?

L'Association Française de l'Hydrogène et des Piles à Combustible (AFHYPAC) est créée en 2009 à la suite de la fusion de la plateforme HyPac, réunissant des industriels, et de l'Association française de l'hydrogène (AFH2). Cette structure, soutenue par l'Ademe, regroupe des grands groupes industriels, des petites et moyennes entreprises et des acteurs publics (collectivités territoriales, pôles de compétitivité, syndicats mixtes de l'énergie, etc). Elle est présidée, lors de sa création en 2009, par Thierry Alleau, issu du CEA, puis par Claude Dérive, ancien directeur de la recherche et développement à EDF. La présidence est ensuite assurée par des membres d'Air Liquide (2011 – 2013), de McPhy⁸³ (2013 – 2017) et de GRT Gaz (depuis 2017).

L'AFHYPAC vise à promouvoir les technologies de l'hydrogène auprès de la sphère publique et privée. Elle élabore des rapports annuels, organise des groupes de travail et des journées d'étude pour mettre en lumière des projets hydrogène et les avancées technologiques.

⁸¹ Entité rattachée au ministère de l'Économie.

⁸² Entité rattachée au ministère de l'Ecologie.

⁸³ McPhy, créé en 2007, est un fabricant français d'électrolyseurs et de stations de distribution hydrogène.

L'objectif de l'association est de faire connaître l'hydrogène auprès des décideurs publics pour les sensibiliser au sujet et les persuader du rôle que ce vecteur peut jouer dans la transition énergétique (entretiens auprès de plusieurs membres de l'AFHYPAC). *Cette association va alors jouer, selon nous, le rôle de porte-parole et participe, comme nous le verrons dans les chapitres suivants, à la construction des différentes problématisations de l'hydrogène.*

L'AFHYPAC mobilise dès 2012, dans ses présentations et discours, la problématisation de l'hydrogène comme solution de la transition énergétique. En novembre 2014, lors d'une audition sur le sujet au Sénat⁸⁴, le président de l'AFHYPAC présente les énergies renouvelables comme un changement de « paradigme » du système énergétique. Il déclare que le « principal intérêt » de l'hydrogène est de convertir l'électricité renouvelable en un gaz, qui peut ensuite être valorisé de différentes façons. Ainsi, l'hydrogène est perçu comme un moyen de stockage et de flexibilité. Il est présenté comme « un vecteur passerelle incontournable » dans « la perspective d'une mise en cohérence des infrastructures nationales et locales et d'interconnexion⁸⁵ », favorisant ainsi une nouvelle approche dans la manière de penser le système énergétique.

Pour faire connaître ses actions et promouvoir l'hydrogène dans les territoires, l'AFHYPAC met en place un groupe de travail « hydrogène et territoires » et organise, avec l'association Pyrénées dans le Tarn, les premières « Journées hydrogène dans les territoires » en 2013 à Albi. L'objectif, pour l'association, est d'offrir aux porteurs de projet une meilleure visibilité mais également de pouvoir échanger sur les « facteurs de succès, les freins et difficultés rencontrés et les bonnes pratiques pour les surmonter⁸⁶ ».

En parallèle, le premier salon *Hyvolution*, dédié à l'hydrogène, est créé en septembre 2013 à Albi par le fondateur de la société de conseil *Seija Consulting*, spécialisée en hydrogène et également membre du bureau de l'AFHYPAC. Le rôle de ce dernier n'est d'ailleurs pas à sous-estimer dans la manière dont le sujet hydrogène va être approprié en Midi-Pyrénées, puis dans d'autres territoires. Persuadé que les collectivités territoriales et plus particulièrement les Régions ont un rôle primordial à jouer dans le déploiement de l'hydrogène, il est un élément moteur dans l'implication de la Région sur le sujet. Présent à la fois à ce niveau en tant qu'expert sur l'hydrogène mais aussi au niveau interrégional et

⁸⁴ Intervention de Pascal Mauberger lors de la conférence sur l'hydrogène au Sénat le 7 novembre 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=ciP8kjZatic> (Consulté le 24/05/2022).

⁸⁵ AFHYPAC. (2018). *L'hydrogène, enjeu national, défis territoriaux*, p3.

⁸⁶ AFHYPAC. (2014). Rapport d'activités de la France sur l'hydrogène et les piles à combustible : Période juin 2012 à novembre 2014 (p. 109). p. 26.

national où il assure le rôle de directeur commercial de Symbio⁸⁷, il participe à la diffusion d'une représentation territoriale de l'hydrogène.

« Et je me rappelle très bien quand je disais, début 2011, à Fabio Ferrari⁸⁸ : « tu vas voir, c'est les collectivités locales qui vont démarrer le truc ! » Il me disait : « mais non elles n'ont pas d'argent ! » L'argent ce n'est pas un problème, elles vont le trouver ! Elles vont y aller notamment parce que ce sont des sujets emblématiques, porteurs, différenciateurs, pour lesquels les élus seront ravis de communiquer. Parce que c'est des sujets qui ancrent véritablement le territoire en permettant des écosystèmes autonomes. Et ça, évidemment, je dirais c'est du beurre pour communiquer. » (Entretien agent cabinet de conseil Seiya Consulting, décembre 2020).

Ainsi, un réseau constitué de l'Ademe, de l'AFHYPAC, du CEA et de quelques acteurs territoriaux et figures politiques, comme le sénateur Jean-Marc Pastor du Tarn et rapporteur à l'OPESCT, prend forme et promeut une vision territoriale du déploiement de l'hydrogène. Outre cette mobilisation, d'autres aspects, notamment techniques, concernant la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau viennent renforcer cette approche prônée par ces acteurs.

1.2 La production d'hydrogène par électrolyse : un levier de décentralisation de la production d'énergie ?

1.2.1 Enjeux techniques et économiques autour de la distribution de l'hydrogène

L'un des problèmes rencontrés pour le déploiement de l'hydrogène décarboné est son modèle économique. Comme nous l'avons montré précédemment, le coût de production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau est nettement plus élevé que celui issu d'énergies fossiles. De plus, les technologies liées à son développement (stations de distribution, électrolyseurs, piles à combustibles, réservoirs de stockage, etc.) sont coûteuses et nécessitent des investissements importants.

Dans cette perspective, l'objectif pour plusieurs acteurs, notamment l'Ademe, est de trouver les paramètres permettant d'influencer le modèle économique de l'hydrogène et de diminuer ses coûts (entretien agent 1 Ademe, mai 2020). Parmi les différentes variables étudiées, la

⁸⁷ Symbio est une PME spécialiste dans les piles à combustible. Michelin, ENGIE puis Faurecia était initialement actionnaires de l'entreprise avant de devenir à 100% une filiale de Michelin en 2019.

⁸⁸ Fabio Ferrari est le créateur de la société Symbio spécialisée dans les systèmes piles à combustible pour les véhicules. Il est également membre du bureau de l'AFHYPAC et pilote du consortium H2 Mobilité France (voir chapitre 2).

localisation des électrolyseurs par rapport aux lieux de consommation semble être un facteur discriminant. L'Ademe montre qu'une production décentralisée de l'hydrogène proche des usagers permettrait de s'affranchir des coûts de logistique (conditionnement et transport) souvent onéreux.

En effet, l'hydrogène ayant une faible densité énergétique volumétrique⁸⁹ - c'est-à-dire qu'à pression et température atmosphériques, pour un volume donné, le contenu énergétique de l'hydrogène est beaucoup plus faible que celui d'autres gaz - des volumes importants d'hydrogène sont nécessaires pour obtenir un apport d'énergie suffisant⁹⁰. Pour pallier ce problème, des solutions techniques peuvent être mises en œuvre comme la liquéfaction⁹¹ ou la compression du gaz⁹². À ces étapes de conditionnement et de stockage de l'hydrogène s'ajoute celle de l'acheminement vers le lieu d'utilisation. L'hydrogène peut être transporté soit par camions soit par pipelines dans des réseaux de gaz dédiés. Ces différentes étapes, exigeantes techniquement, engendrent des coûts de logistique onéreux qui augmentent le prix de vente de l'hydrogène.

Dans ces conditions, plusieurs acteurs nationaux (Ademe, OPESCT) recommandent la mise en place d'unités de production décentralisées d'hydrogène proches des lieux d'utilisation, afin de s'affranchir des coûts de transport et de conditionnement⁹³. Un schéma de développement envisageable pour la production d'hydrogène est de réaliser un couplage direct entre une source d'énergie renouvelable électrique et un électrolyseur, sans raccordement au réseau électrique. Cette possibilité favorise ainsi le développement d'unités de production locale, indépendantes du réseau électrique.

Outre ces aspects économiques, les caractéristiques techniques des électrolyseurs jouent aussi un rôle en faveur d'une production à l'échelle locale. Les électrolyseurs sont composés de cellules qui sont constituées de deux électrodes reliées par un générateur de courant continu et séparées par un électrolyte (cf. encadré 2). Plusieurs cellules sont ensuite empilées et forment ce qu'on appelle le stack, qui correspond à l'emplacement où a lieu le cœur de la réaction de production de l'hydrogène⁹⁴. L'électrolyse de l'eau est donc une technologie

⁸⁹ À titre de comparaison, l'hydrogène est dix fois moins lourd que l'air atmosphérique

⁹⁰ <https://demaco-cryogenics.com/fr/blog/la-densite-energetique-de-lhydrogene-une-propriete-unique/> (Consulté le 29/09/2022).

⁹¹ Le stockage sous forme liquide nécessite, à pression atmosphérique, de refroidir l'hydrogène à une température d'environ - 253 °C. L'hydrogène liquide est 700 fois plus dense que l'hydrogène comprimé, à pression atmosphérique, ce qui explique son usage dans l'aérospatial, compte tenu des volumes engagés. En raison des technologies nécessaires pour la cryogénisation, cette méthode n'est utilisée que pour de grandes quantités d'hydrogène.

⁹² Le stockage d'hydrogène comprimé est utilisé pour des petits volumes de stockage, de quelques kilos à quelques dizaines de kilos. Il peut s'effectuer à basse (75 bars), moyenne (200 – 350 bars) et haute pressions (700 bars). Plus la pression sera élevée, plus la quantité d'hydrogène stockée sera grande.

⁹³ Kalinowski, L., & Pastor, J.-Ma. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique* ? OPESCT. p. 21

⁹⁴ INERIS, 2016, Rapport d'étude : *Étude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène*.

modulaire, dans la mesure où il est possible d'empiler un nombre plus ou moins important de cellules d'électrolyse dans un stack. Le nombre de cellules assemblées détermine alors la capacité de production de l'électrolyseur. Plus le nombre de cellules est élevé, plus la capacité de production sera importante. Dans ce contexte, le caractère modulaire de l'électrolyse favorise l'idée d'avoir recours à des unités de production de petite capacité et proches des usages.

« Le développement de l'électrolyse membranaire, même alcaline, il se fait à des échelles, c'est quand même une technologie où on parle d'une centaine de kW. C'est du lego. Après on peut envisager de monter en gamme au MW, dizaine de MW, etc. mais, en fait, cette modularité, elle est partie du développement. Les électrolyseurs, ils ont été développés d'abord sur des petites cellules en fait. Donc connaissant ça et connaissant cette particularité de cette technologie, le côté « smart » en fait bah, ça permet d'imaginer des développements qui peuvent être assez proches des usages, de manière décentralisée. » (Entretien agent Ademe, juin 2020).

1.2.2 La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau : vers une autonomie énergétique locale ?

L'intégration de l'hydrogène produit à l'échelle locale directement à partir d'énergie renouvelable, c'est-à-dire sans qu'un raccordement au réseau électrique ne soit utile, questionne sur le rôle futur des opérateurs historiques des réseaux de transport et de distribution. En ce sens, l'hydrogène peut participer à la remise en question de l'approche historique fondée sur une logique de grands réseaux nationaux et à ses formes de gestion traditionnelles.

« Par contre, ça veut dire que si j'augmente mon autonomie territoriale en termes d'énergie, j'appelle moins les réseaux ou je les sollicite différemment on va dire. Et c'est là que les opérateurs de réseau disent « bah, attendez, moi ça c'est mon métier, je peux vous dire comment ça se passe et je peux vous dire que ça ne se passera pas comme ça (rires) ». Et donc tout le challenge des futures années, c'est ce que j'expliquais un peu au préalable, ça va être de concilier toutes ces politiques des opérateurs territoriaux. Là, d'ailleurs, il y a une question c'est : qui est-ce qui va être responsable ? Qui va être finalement le gestionnaire de ces énergies locales ? » (Entretien agent du CEA, juillet 2020).

L'hydrogène comme vecteur de stockage apparaît donc comme un moyen d'accéder à une certaine autonomie énergétique locale, ou, à tout le moins, de réfléchir à l'équilibre offre-demande localement. Les électrolyseurs offrent aux producteurs d'énergie renouvelable la capacité de valoriser leur surplus d'électricité sous forme d'hydrogène et de ne pas être nécessairement soumis au marché de l'électricité. Pour certains acteurs, cela constitue une opportunité de pouvoir gérer localement l'énergie en le produisant, le stockant et l'utilisant selon les besoins. L'hydrogène peut donc être perçu comme une pierre angulaire d'un autre modèle énergétique, alternatif, autour d'une production décentralisée issue de sources renouvelables locales et d'un stockage sur site, sans solliciter les grands réseaux de distribution nationaux.

« Si vous gérez l'énergie en local, parce que l'objectif des territoires c'est quand même d'auto-consommer en local, ils ont des déchets, ils veulent les valoriser sous forme d'énergie, ils ont du renouvelable par-ci par-là, ils veulent le valoriser pour leurs usagers, etc. [...] Donc on rentre dans ce schéma où ces vecteurs-là deviennent des vecteurs sociologiques pour les territoires. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020).

Du point de vue des collectivités territoriales, l'hydrogène peut être appréhendé comme un vecteur énergétique leur permettant d'accéder à une meilleure gestion des énergies renouvelables grâce à une production par électrolyse. Néanmoins, si cette vision de l'hydrogène en tant que levier pour favoriser une gestion décentralisée de l'énergie, voire une autonomie énergétique locale, est exprimée par certains acteurs au niveau national, la façon dont est appréhendé l'hydrogène par les acteurs territoriaux ne reflète pas nécessairement ces ambitions.

2) La mise en œuvre d'une vision territoriale de l'hydrogène

Si, dès les années 2010, de nombreuses initiatives locales voient le jour, la mise en œuvre et l'appropriation de cette vision territoriale soulèvent cependant quelques questions. En effet, ces dynamiques interrogent sur la capacité des acteurs territoriaux à se saisir de l'hydrogène comme un vecteur de changement de la gouvernance du système énergétique.

2.1. L'émergence de projets locaux de production d'hydrogène

Dès les années 2010, des initiatives locales voient le jour dans plusieurs territoires. Des projets d'expérimentation sont initiés par les acteurs économiques et des collectivités territoriales. À titre d'exemple, le projet Vabhyogaz dans le Tarn est élaboré par le syndicat mixte de traitement des déchets Trifyl et l'Ecole des mines d'Albi. Le projet prévoit la mise en œuvre d'une unité de production d'hydrogène à partir de biogaz issu de déchets permettant au syndicat de valoriser la ressource dont il dispose. Dans une seconde phase, il est envisagé que l'hydrogène alimente des véhicules électriques à pile à combustible grâce au développement d'une station de distribution.

La plateforme MYRTE (Mission hYdrogène Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique) est un projet porté par l'Université de Corse, le CEA et l'entreprise Helion, qui vise à instaurer une solution énergétique « complète », c'est-à-dire développant simultanément une production d'électricité et un système de stockage à hydrogène⁹⁵. Ce projet démonstrateur, qui voit le jour en 2012, a pour ambition de tester une stratégie de pilotage pour améliorer la gestion et la stabilisation du réseau électrique⁹⁶ dans une zone non connectée au réseau métropolitain. La production d'électricité issue des panneaux photovoltaïques peut être injectée dans le réseau électrique lors des périodes de consommations importantes ou être transformée, grâce à un électrolyseur, en hydrogène pour être stockée et restituée ultérieurement lors des périodes de surplus. Ce projet, soutenu par la collectivité territoriale de Corse, l'État, l'Europe et le pôle de compétitivité Capénergies, réunit des acteurs académiques (Université de Corse et le CEA) et privés (Héliion, filiale d'Areva).

Concernant les solutions d'injection dans le réseau de gaz, le premier projet de démonstration, GRHYD, est élaboré en 2014 par ENGIE avec la communauté d'agglomération de Dunkerque. L'objectif est d'injecter pour la première fois de l'hydrogène dans le réseau de distribution de gaz, mais également d'utiliser l'hydrogène pour produire de l'Hythane, un gaz qui alimenterait quelques bus de la collectivité. Ce premier projet démonstrateur, d'une durée de 4 ans, est présenté comme étant à la fois une opportunité, pour les acteurs locaux, d'endosser une image de précurseurs et de territoire innovant et, pour les acteurs développeurs, une solution pour faire évoluer les technologies et les réglementations associées.

⁹⁵https://myrte.universita.corsica/article.php?id_site=15&id_menu=0&id_rub=0&id_cat=0&id_art=3051&lang=fr

⁹⁶ Université de Corse Pasquale Paoli, CEA et Helion. Dossier de presse du 9 janvier 2012 : la plateforme MYRTE.

[https://www.cea.fr/comprendre/Documents/energies/dossier%20de%20Presse%20Inauguration%20MYRTE%2009%2001%202012%20DEF%20\(2\).pdf](https://www.cea.fr/comprendre/Documents/energies/dossier%20de%20Presse%20Inauguration%20MYRTE%2009%2001%202012%20DEF%20(2).pdf) (consulté le 28/09/2022).

Cette dynamique présente dans quelques territoires dès le début des années 2010 va s'accroître dans les années qui suivent. En 2016, certains acteurs fortement impliqués dans la filière hydrogène (CEA, AFHYPAC) interpellent les ministères de la Transition Écologique et de l'Économie pour qu'ils mettent en place un appel à projets à destination des initiatives territoriales (entretien agent du CEA, juillet 2020).

Ce dispositif national appelé « Territoires Hydrogène » vise à montrer la pertinence d'une approche territoriale de l'hydrogène. Il s'agit, dans un premier temps, de tester des modèles de développement grâce à des démonstrateurs, afin d'analyser les bénéfices apportés par l'hydrogène au système énergétique local. « *Les projets visés consistent à démontrer, à l'échelle d'un territoire, la faisabilité technico-économique et l'intérêt environnemental du vecteur hydrogène associés aux réseaux énergétiques et à des usages énergétiques locaux*⁹⁷. » Si certains acteurs étatiques montrent une certaine réticence vis-à-vis du sujet et de sa pertinence technico-économique, ce dispositif s'avère toutefois être un succès auprès des acteurs territoriaux (entretien agent du CEA, juillet 2020). Plus d'une centaine de dossiers de projets sont reçus, témoignant ainsi de l'intérêt porté au sujet. Les projets labellisés « Territoires Hydrogène » par les ministères sont de l'ordre d'une trentaine et sont portés par des acteurs privés et publics à différents niveaux⁹⁸ (régions, communautés d'agglomération, syndicats mixtes, pays).

2.2 L'appropriation de l'hydrogène par les acteurs territoriaux

2.2.1 La mobilité, un enjeu prépondérant pour les acteurs territoriaux

Comme l'ont montré les quelques exemples précédents et le succès de l'appel à projet « Territoires Hydrogène », les acteurs territoriaux témoignent d'un fort intérêt pour l'hydrogène. Si quelques initiatives s'intéressent à lui en tant que solution de stockage et de flexibilité pour les réseaux énergétiques, la majorité d'entre elles s'orientent principalement vers le domaine de la mobilité. C'est par exemple le cas de Cherbourg et du conseil départemental de la Manche avec la société Symbio qui souhaite développer les vélos hydrogène dès 2013, avec l'installation d'une station de production et de distribution d'hydrogène.

Aude Cranois (2019), dans sa thèse sur l'électromobilité, étudie deux projets hydrogène dans l'Aveyron et la Manche. L'auteure montre que, dans ces deux départements producteurs d'énergie (hydraulique pour l'Aveyron et nucléaire pour la Manche), l'hydrogène s'intègre

⁹⁷ Cahier des charges de l'appel à projets Territoires Hydrogène, mai 2016.

⁹⁸ Ségolène Royal, ministre de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat (2016, 17 décembre). *Communiqué de presse du 17 décembre 2016, Ségolène Royal publie la liste des lauréats de l'appel à projets « Territoires hydrogène ».*

dans un « imaginaire énergétique » dans le sens où les acteurs locaux défendent l'idée qu'il permet un processus de « conversion des territoires vers les énergies renouvelables » (Cranois, 2019, p335). Ils mettent en avant le fait que l'hydrogène est une solution pour développer davantage les énergies renouvelables produites localement et promeuvent l'image de « circuits-courts » allant de la distribution à l'utilisation locale de l'hydrogène. L'appropriation de ce vecteur énergétique par les acteurs territoriaux passe alors par la mobilité, qui constitue, toujours selon Cranois, un moyen de rendre les technologies de l'hydrogène concrètes. Celle-ci permet ainsi de poser une première pierre à l'édification d'une stratégie énergétique à plus long terme, tout en testant l'adhésion des acteurs locaux.

Néanmoins, cette appropriation de l'hydrogène par le prisme de la mobilité étudiée par Aude Cranois questionne sur la volonté des acteurs locaux de se saisir de ce vecteur énergétique comme un moyen d'apporter des changements. En effet, les enjeux liés à la décarbonation des transports n'entraînent pas nécessairement des réflexions plus globales sur le système énergétique territorial. Il peut être appréhendé comme un moyen de substitution au pétrole, sans chercher à intégrer les solutions de couplage et de flexibilité qu'il peut offrir aux systèmes électriques et gaziers. Dans cette optique, l'hydrogène est seulement considéré comme un nouveau carburant qui peut être produit localement grâce à l'électrolyse de l'eau ou d'autres procédés issus de la biomasse, sans nécessairement chercher à en faire un levier de développement des énergies renouvelables locales ou de changements dans la gestion de l'énergie.

2.2.2 Quelles marges de manœuvre des territoires face aux énergéticiens ?

Certains grands groupes industriels mettent en place des actions pour inciter les collectivités territoriales et les acteurs locaux à s'intéresser au sujet. C'est par exemple le cas de quelques équipementiers automobiles, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, mais aussi de certains énergéticiens qui souhaitent montrer la pertinence d'un développement de l'hydrogène à l'échelle territoriale. Par exemple, Cranois (2019), dans l'étude du projet en Aveyron, montre le rôle de l'agence territoriale d'EDF pour « intéresser » et « enrôler » les acteurs locaux publics et privés. L'auteure analyse le rôle d'EDF comme celui d'un garant technique qui parvient à faire le lien entre différentes échelles. Grâce à ses ressources pour porter le projet localement, tout en ayant la capacité de s'adresser au niveau national et européen, l'agence territoriale d'EDF parvient alors à s'imposer comme un acteur essentiel dans les « scènes de négociation » des projets.

De la même manière, ENGIE, à travers sa filiale ENGIE Cofely, est fortement impliquée dans les projets territoriaux. Dès 2017, l'entreprise propose une « solution intégrée » clé en main pour les collectivités territoriales, appelée EFFI H₂. Cette offre inclut une production

sur site par électrolyse de l'eau issue d'énergie renouvelable et la mise en place d'un système de stockage pour assurer une alimentation continue en hydrogène. L'hydrogène produit sur site peut directement être utilisé pour alimenter une station de distribution pour des véhicules. ENGIE Cofely propose en outre aux porteurs de projets un service de location de tous les équipements nécessaires et de leur maintenance. Celui-ci permet ainsi aux acteurs publics de ne pas avoir à investir dans des infrastructures relativement coûteuses. En s'appuyant sur un réseau dense d'agences implantées régionalement, ENGIE Cofely s'adresse principalement aux collectivités territoriales pour les accompagner dans leur projet de mobilité hydrogène. Cet acteur se positionne comme un accompagnateur et un intégrateur de solution au service des territoires, ce qui séduit plusieurs porteurs de projets, comme le montrent les résultats des appels à projets « Territoire Hydrogène », où 11 des 29 projets labellisés comptent le groupe ENGIE comme partenaire.

Ces exemples illustrent la volonté pour les énergéticiens d'inclure les acteurs locaux à leur projet et d'obtenir leur soutien et leur adhésion. La majorité des projets hydrogène qui sont développés sont pilotés par des partenariats public-privés impliquant des acteurs du secteur de l'énergie « traditionnel » (EDF, ENGIE, GRT Gaz, etc.).

« On travaille aussi pour des énergéticiens, [...], qui cherchent tous à s'implanter avec les territoires. Parce qu'ils ont tous vu que le déploiement de l'hydrogène en France passait par les territoires. Et donc ils cherchent à créer des synergies avec les collectivités, à s'implanter localement, à créer des sociétés de projet avec des pouvoirs publics ou des acteurs du territoire. » (Entretien consultant spécialisé en hydrogène, décembre 2020)

L'implication des acteurs de l'énergie aux côtés des territoires est présentée comme essentielle pour eux, dans une perspective de transition énergétique. Les projets hydrogène deviennent ainsi un levier pour ancrer davantage leur présence territoriale et investir le sujet hydrogène aux côtés des collectivités.

« Pour nous, pour être un vrai acteur de la transition énergétique, il faut être intégré dans les territoires. On ne peut pas faire de la transition énergétique sans les territoires, ce n'est pas possible. [...] Tous ces projets-là [ces projets hydrogène], justement, c'est une façon de s'intégrer complètement et durablement dans le territoire et de les accompagner dans la transition énergétique. Evidemment, ça a un intérêt d'image et de valeur. Et puis, c'est aussi une façon d'accompagner les collectivités durablement et donc de garder un lien fort avec elles. » (Entretien agent 2 EDF, août 2022).

Ainsi, l'appropriation du sujet hydrogène par les acteurs territoriaux et les énergéticiens illustre un certain décalage entre les visions développées par certains acteurs nationaux pour inciter les acteurs locaux à investir le sujet et la volonté de ces derniers de véritablement se saisir de l'hydrogène comme d'un levier de changements du système énergétique.

Les acteurs territoriaux, et plus particulièrement les collectivités territoriales, sont considérés par de nombreux acteurs comme étant incontournables pour déployer l'hydrogène sur le territoire. Des éléments institutionnels, politiques mais aussi techniques, comme les caractéristiques des électrolyseurs, viennent appuyer cette vision que le déploiement de l'hydrogène doit se faire à l'échelle territoriale.

Si, l'hydrogène est présenté comme un moyen de décentralisation voire d'autonomie énergétique par certains, l'appropriation du sujet par les collectivités territoriales révèle des ambitions différentes. L'hydrogène ne semble pas être mobilisé par ces dernières comme un levier de changement dans la gouvernance du système énergétique. La présence des énergéticiens à leurs côtés dans les projets locaux laisse penser à une reproduction des fonctionnements traditionnels du système énergétique.

Aude Cranois (2019, p.341) soutient l'idée que la mise en place de projets de mobilité hydrogène est avant tout « stratégique » et « conservatrice », dans la mesure où elle favorise une « conservation des pouvoirs et des positions » de la gouvernance énergétique déjà établie. D'après l'auteure, l'appropriation de l'hydrogène ne vient pas remettre en question les systèmes de mobilité existants ni la manière de penser le système énergétique dans sa globalité.

CONCLUSION DU CHAPITRE

Ce chapitre nous a permis d'analyser la construction d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que solution de stockage. Cette vision met en avant l'idée de considérer l'hydrogène comme un gaz à l'interface entre les secteurs électriques et gaziers permettant un couplage entre ces derniers et une approche systémique du système énergétique. Cette problématisation de l'hydrogène, soutenue par quelques acteurs au niveau national (Ademe, OPESCT, AFHYPAC), promeut une conception territorialisée du déploiement de l'hydrogène. Elle place les acteurs territoriaux au centre des réflexions dans la mesure où la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est perçue comme devant être décentralisée et gérée au plus près des usages.

Si, dans le discours de certains acteurs au niveau national, l'hydrogène est présenté comme un objet « révolutionnaire » apportant des changements tant au niveau technique qu'institutionnel dans la manière de penser le système énergétique, cette problématisation ne semble toutefois pas faire l'unanimité auprès des acteurs nationaux et territoriaux. La mise en œuvre de projets et l'appropriation par les acteurs territoriaux montrent qu'elle ne prend pas forme. Elle est remise en cause tant par les énergéticiens, qui ne semblent pas vouloir faire évoluer leur fonctionnement et par les acteurs locaux, qui voient dans l'hydrogène un nouveau vecteur énergétique pour décarboner de la mobilité sans mener de réflexions plus larges sur le système énergétique.

Ainsi, ce chapitre a permis d'esquisser les prémices d'une problématisation de l'hydrogène en tant qu'« objet révolutionnaire », mais aussi d'en montrer la fragilité et la difficulté à s'incarner à l'échelle territoriale. Si, pour cette première phase, nous ne considérons pas qu'une configuration sociotechnique ait vu le jour, dans la mesure où elle ne semble pas être appropriée par des assemblages sociotechniques ni des réseaux d'acteurs stabilisés, nous faisons néanmoins le choix de la mobiliser comme point de départ pour analyser les évolutions des configurations sociotechniques de l'hydrogène sur la décennie 2010-2020.

Nous montrerons, dans les chapitres suivants, comment cette vision « révolutionnaire » a été remise en question et la manière dont de nouveaux acteurs viennent en proposer des ajustements et modifications, à l'aune de leurs propres intérêts.

Dans cette optique, nous nous appuyons sur des tableaux qui vont décrire les caractéristiques des différentes problématizations de l'hydrogène et configurations sociotechniques de l'hydrogène associées. Ainsi, nous nous attachons à décrire pour chacune d'entre elles, les

fonctions qui lui sont associées et les principaux enjeux pour lesquels il est attendu comme solution. Nous analysons également les dimensions techniques et organisationnelles c'est-à-dire la manière dont son déploiement est envisagé (mode de production, échelle de production, etc.). Enfin, nous identifions aussi les stratégies et dispositifs qui soutiennent cette vision ainsi que les acteurs dominants qui se l'approprient.

Tableau 5 : caractéristiques de la problématisation de référence de l'hydrogène. Réalisation : auteure

	Problématisation de référence : l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique
Principales fonctions données à l'hydrogène	H ₂ comme vecteur de stockage des énergies renouvelables (ENR).
Principaux enjeux	Déployer les ENR grâce à l'hydrogène et décarbonation des usages
Vision du déploiement	Système décentralisé autour d'une production à l'échelle locale. Hydrogène issu d'énergie renouvelable
Stratégies et dispositifs	X
Acteurs dominants	X

Chapitre 2 : Les écosystèmes locaux de mobilité hydrogène

Le chapitre précédent a permis de retracer l'émergence d'une problématisation de l'hydrogène en tant que solution de la transition énergétique. Pour autant, la vision « révolutionnaire » de l'hydrogène ne semble pas faire consensus auprès d'une majorité d'acteurs. L'appropriation de ce vecteur par les acteurs territoriaux et par le secteur de l'énergie montre que ces derniers ne cherchent pas à faire de l'hydrogène un vecteur de rupture, mais plutôt à s'en saisir comme un moyen pour décarboner les transports.

Dans ce deuxième chapitre, nous analysons la construction d'une nouvelle problématisation de la mobilité hydrogène et sa mise à l'épreuve lors de sa diffusion dans les territoires.

La première section de ce chapitre revient sur les différents jalons qui ont marqué cette construction. Dans cette optique, nous nous intéressons au développement de la stratégie pilotée par le consortium H₂ Mobilité France (H2MF) qui a marqué la manière d'appréhender le déploiement de la mobilité hydrogène en France. Le consortium promeut une approche fondée sur la notion de flottes captives, dans un premier temps, puis d'écosystème territorial dans un second temps, notions que nous détaillerons. Le concept d'écosystème, bien que peu défini, joue alors le rôle de « dispositif d'intéressement » auprès d'un large panel d'acteurs (industriels, nationaux, collectivités territoriales) et permet ainsi de créer des « systèmes d'alliances » dans l'optique de faire émerger des projets de mobilité hydrogène.

Après avoir présenté l'émergence d'une stratégie nationale de mobilité hydrogène et la logique adoptée à travers le concept « d'écosystème », nous nous intéressons, dans la seconde section du chapitre, à sa mise en œuvre. L'objectif est de comprendre, à travers nos terrains d'étude en Occitanie et en Auvergne-Rhône-Alpes, la traduction concrète des « écosystèmes de mobilité hydrogène » et les épreuves rencontrées dans leur formation. Pour cela, nous analysons un projet développé en Auvergne-Rhône-Alpes afin de mettre en lumière des formes d'appropriation différenciées qui émergent au niveau des territoires.

SECTION 1 : CONSTRUCTION ET DIFFUSION DE LA LOGIQUE DES ECOSYSTEMES LOCAUX DE MOBILITE HYDROGENE

Cette section analyse la construction d'une problématisation de l'hydrogène en lien avec les enjeux de décarbonation des transports. Elle s'intéresse à la manière dont certains acteurs de la mobilité, réunis à travers un consortium avec d'autres industriels, se sont saisis du sujet et ont bâti leur propre vision du problème. Leur capacité à « intéresser » et « enrôler » des acteurs de l'État et des collectivités territoriales favorise la mise en œuvre de projets concrets. Leur vision du déploiement territorial de la mobilité renvoie à la formation d'écosystèmes locaux de mobilité, que nous tâcherons de caractériser dans cette section.

1) L'hydrogène comme moyen de décarboner la mobilité

Les transports routiers sont souvent ciblés comme étant le principal secteur émetteur de gaz à effet de serre (GES) et surtout celui dont les émissions restent croissantes, à la différence des secteurs industriel et agricole. Il est donc fortement visé par des objectifs de plus en plus strictes de limitation de ces émissions. En 2011, la Commission européenne publie un Livre blanc sur les transports dans lequel elle vise une réduction de 60 % des émissions de GES par rapport aux niveaux de 1990 à horizon 2050. Pour cela, l'institution européenne ainsi que les États membres mettent en place des dispositifs tels que l'interdiction de la vente des véhicules à moteurs thermiques à partir de 2035.

Des technologies moins émettrices sont développées faisant appel à d'autres carburants (biocarburants) ou d'autres formes de motorisation comme le moteur électrique. L'électromobilité est considérée comme la principale solution en matière de décarbonation et plusieurs technologies (batteries, piles à combustibles, etc.) sont étudiées pour répondre aux différents besoins.

Dans ce contexte, l'hydrogène figure parmi les alternatives envisagées pour le secteur de la mobilité. Si certaines activités n'en sont encore qu'au stade de recherche et développement (l'aérien ou le maritime par exemple), d'autres ont déjà déployé plusieurs projets et visent l'industrialisation de leur procédé de fabrication à court termes (routier et ferroviaire). Dans ce chapitre, nous allons surtout nous intéresser au domaine de la mobilité routière et plus spécifiquement à l'automobile c'est-à-dire aux véhicules légers dédiés au transport de personnes.

1.1 Les véhicules électriques à hydrogène : quelle place face aux véhicules électriques à batterie ?

La technologie des véhicules électrique à hydrogène n'est pas récente et a connu un intérêt fluctuant au cours des dernières décennies.

Afin de bien saisir l'ensemble des enjeux liés à la mobilité hydrogène nous souhaitons, dans un premier temps, décrire le fonctionnement des véhicules électriques à hydrogène. Nous revenons également sur quelques faits historiques qui ont marqué les fluctuations des mobilisations d'acteurs autour de cette technologie. Enfin, pour comprendre comment le sujet refait surface en France dans les années 2012 -2014, nous nous focalisons sur l'évolution des configurations d'acteurs dans le secteur de l'automobile.

1.1.1 Les véhicules électriques à pile à combustible : éléments techniques et historiques

Lorsque l'on parle de véhicule à hydrogène, il s'agit, dans la plupart des cas, de véhicules électriques dotés d'une pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène. Il existe également des véhicules à combustion interne avec pour combustible de l'hydrogène gazeux, mais cette technologie ne fait pas l'objet de soutien dans les différentes stratégies françaises. Nous ferons donc le choix dans la thèse de n'évoquer que le véhicule électrique à hydrogène, qui correspond à la technologie la plus répandue pour le secteur de l'automobile.

Deux types de véhicules électriques à hydrogène existent, le premier appelé « *full hydrogen* » et le second « *range extender* » ou « à prolongateur d'autonomie » (cf. figure n°11). Dans le premier cas de figure, une pile à combustible et une batterie sont montées en parallèle et alimentent toutes les deux le moteur électrique. C'est par exemple le cas de certains véhicules commercialisés depuis plusieurs années comme la Toyota Mirai ou la Hyundai Nexo qui sont dotées de pile à combustible aux alentours de 130 kW. Dans le second cas de figure, une pile à combustible est utilisée pour venir prolonger l'autonomie de la batterie. La pile à combustible n'alimente pas directement le moteur électrique, qui est relié uniquement à la batterie. Les piles à combustible utilisées sont alors généralement de faible puissance, autour de 30 à 40 kW. Les véhicules utilitaires Renault Kangoo ZE H₂ développés par la société Symbiodans les années 2010 ont recours à cette technologie.

La consommation d'un véhicule léger à hydrogène varie entre 0,8 et 1,2 kg pour 100 km. Pour un véhicule léger hydrogène *full hydrogen*, deux voire trois réservoirs sont nécessaires pour assurer le stockage d'hydrogène qui est compris entre 5 et 6 kg et permet une autonomie d'environ 500 km et un temps de recharge de quelques minutes.

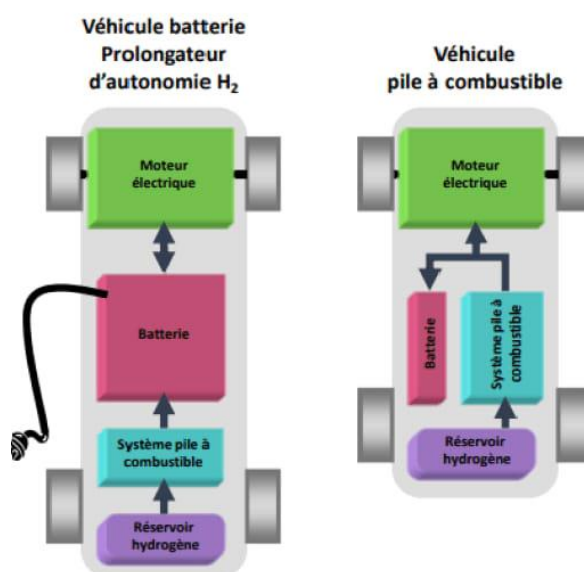


Figure 11 : schéma du fonctionnement de véhicules à prolongateur d'autonomie et "full hydrogen".
Source : ERH2 Bretagne



Figure 11 : photo d'un véhicule full hydrogen développée par Toyota.
Source : auteure

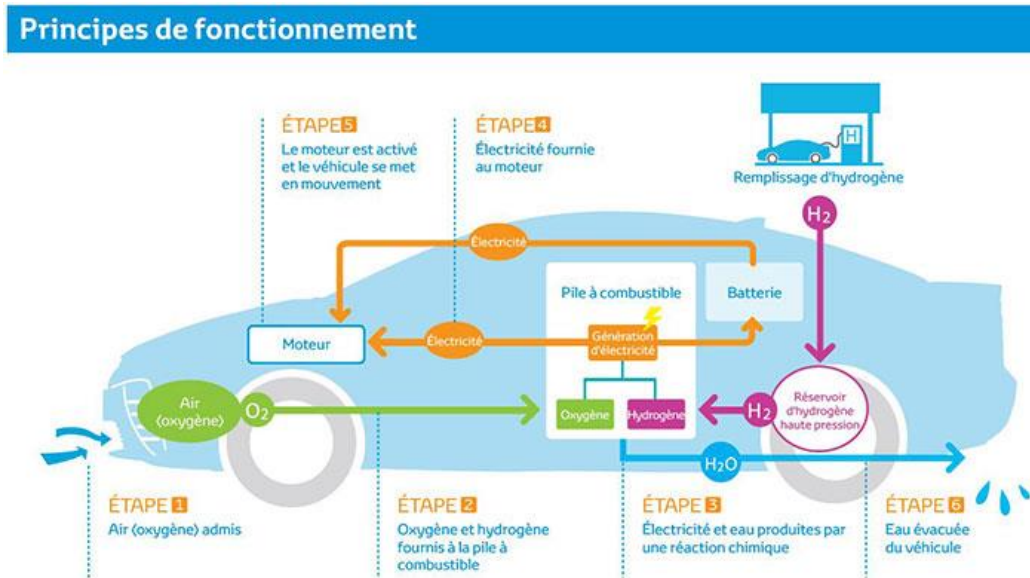


Figure 12 : fonctionnement d'un véhicule électrique à hydrogène.
Source : Toyota

Concrètement, lors d'une recharge dans une station de distribution, de l'hydrogène comprimé à 350 ou 700 bars est introduit dans des réservoirs spécifiques intégrés au véhicule. Le transfert d'hydrogène de la station au véhicule se fait grâce au pistolet d'une pompe, comme pour les véhicules thermiques (cf figure 14). L'hydrogène stocké ainsi que l'oxygène issu de l'air ambiant vont alors alimenter la pile à combustible. L'électricité produite par cette dernière va soit alimenter le moteur électrique soit la batterie en fonction du type de véhicule considéré.



Figure 13 : borne de recharge hydrogène développée par Air Liquide.
Source : les Echos

1.1.2 Batterie et pile à combustible : des technologies concurrentes ?

Callon (1979) et Simoncini (2018) retracent l'histoire des véhicules à hydrogène et montrent comment les piles à combustible ont fait l'objet d'un regain d'intérêt, dans les années 1960, avant d'être reléguées au second plan. Ils montrent que l'énergéticien EDF joue un rôle non négligeable dans la problématisation de la pile à combustible et de ses débouchés pour les véhicules électriques durant cette période (Callon, 1979, Simoncini, 2018).

Au départ, EDF perçoit les piles à combustibles et les petites centrales électriques comme des menaces éventuelles à son activité de producteur et de fournisseur d'énergie électrique (Callon, 1979). Pour garantir ses propres intérêts, l'entreprise concentre directement ses recherches sur les véhicules à traction électrique, qu'elle considère comme le véritable débouché des piles à combustibles. L'objectif n'est plus de travailler sur les piles à combustible comme objet de conversion d'énergie, mais de concentrer ses efforts sur les véhicules électriques à pile à combustible, c'est-à-dire en modelant les piles en fonction de leur application dans les transports (Simoncini, 2018).

Néanmoins, en 1968, l'heure du bilan sonne. Les projets concernant la pile à combustible ne sont pas à la hauteur des objectifs attendus (Simoncini, 2018). Le réseau d'acteurs constitué autour des piles à combustibles s'affaiblit peu à peu : de nombreux acteurs se retirent et les soutiens financiers nationaux prennent fin. EDF continue toutefois ses recherches sur le véhicule électrique et conclut que les piles à combustible n'ont pas d'avenir technique et économique (Callon, 1979). Pour l'énergéticien, le véhicule électrique n'est plus associé à la pile à combustible mais plutôt aux accumulateurs au plomb, technologie qu'il tente de développer. « *Progressivement, on a donc assisté à une substitution d'objectifs : de la pile comme filière de conversion de l'énergie, on passe à la pile comme générateur à la traction électrique puis au véhicule électrique : l'étape suivante consistait à dissocier la pile du véhicule et à tenter de faire des véhicules avec des accumulateurs* ». (Nicolon, 1984, p33).

L'entreprise publique continue ses recherches sur le véhicule électrique à accumulateurs jusqu'au milieu des années 1970, sans bénéficier du soutien des industriels ni de celui des constructeurs automobiles. Les recherches sur les véhicules électriques sont alors peu à peu abandonnées jusqu'aux débuts des années 1990, où de nouveaux programmes voient le jour aux niveaux européen et national.

Dans les années 1990, la montée en puissance des questions environnementales et des problématiques énergétiques liées à l'épuisement des ressources fossiles vont en effet inciter la France et l'Union européenne à reprendre en main la question du véhicule électrique. La pile à combustible à hydrogène constitue alors l'une des technologies envisagées pour la traction électrique des véhicules, dans la mesure où la batterie est jugée comme non mature par la Commission européenne (Galich, 2015).

Dans ce contexte, les constructeurs automobiles mènent des recherches sur les véhicules électriques en explorant les différentes technologies possibles (batterie, pile à combustible, hybride, etc.). Néanmoins, la crise économique de 2007 - 2008 va avoir des impacts sur les activités menées sur l'hydrogène pour les transports et notamment sur les constructeurs automobiles français. Les deux constructeurs nationaux abandonnent leurs travaux sur la pile à combustible et Renault décide de privilégier les véhicules électriques à batterie. Dans les années 2010, aucun constructeur automobile français n'est présent sur le marché des véhicules à pile à combustible, contrairement à leurs homologues allemands ou japonais.

A cela s'ajoutent les décisions politiques prises par le président de la République, Nicolas Sarkozy au regard de la situation de crise qui touche la France. Les véhicules électriques constituent pour le secteur automobile et pour l'État français une solution permettant de répondre à la fois aux enjeux économiques et environnementaux (Villareal, 2014). En 2008, un plan gouvernemental est élaboré pour soutenir les constructeurs automobiles français dans le développement des véhicules hybrides ou électriques à batterie.

Durant cette période, le potentiel de développement des véhicules électriques à hydrogène fait l'objet d'opinions contradictoires. Le rendement d'une voiture à hydrogène est un point souvent régulièrement soulevé par les opposants à cette technologie, pour en montrer les limites. En effet, le rendement énergétique de la chaîne de production (électrolyse de l'eau + stockage hydrogène + pile à combustible) est d'environ 25 à 30 %, contre environ 70% pour un stockage batterie⁹⁹. Les autres points négatifs concernent la sécurité des véhicules et la dangerosité du recours à un gaz aussi dense et inflammable. L'hydrogène est stocké dans des réservoirs à haute pression (350 ou 700 bars) et, comme pour tout gaz combustible, un risque d'explosion est possible. Les opposants à cette technologie reprennent souvent l'exemple médiatique de la catastrophe du Zeppelin de Hindenburg où le ballon dirigeable gonflé à l'hydrogène prend feu et explose en plein vol (1937).

A l'opposé, les défenseurs de l'hydrogène appuient leur argumentation sur la plus grande autonomie, le gain en termes de temps de recharge par rapport au véhicule électrique à batterie et l'incapacité pour les batteries à répondre à certains usages (intensif, mobilité lourde, etc.). Les caractéristiques du véhicule hydrogène sont d'ailleurs souvent comparées à celles des véhicules thermiques afin de souligner la similarité des services offerts (temps de recharge à la pompe de quelques minutes, autonomie, conduite dans des conditions climatiques extrêmes, etc.). Ce faisant, les promoteurs de l'hydrogène veillent à ne pas opposer les différentes technologies entre elles.

⁹⁹ Ademe (2020). Fiche technique : *Rendement de la chaîne hydrogène : Cas du « power-to-H2-to-power »*.

1.1.3 La construction d'une représentation complémentaire des technologies de véhicule électrique : ne pas opposer batterie et pile à combustible

En réponse aux critiques concernant l'hydrogène, un groupe « d'experts », le *High Level Group*, mandaté par la Commission européenne, entreprend de construire une nouvelle représentation de l'hydrogène et de la mobilité hydrogène (Ante, 2015). Il conclut que les deux technologies batterie et pile à combustibles ne doivent pas être mises en concurrence mais, au contraire, doivent être comprises comme complémentaires, en considérant que les deux solutions de stockage sont nécessaires pour atteindre les objectifs de réduction des gaz à effet de serre dans les transports (Ante, 2015).

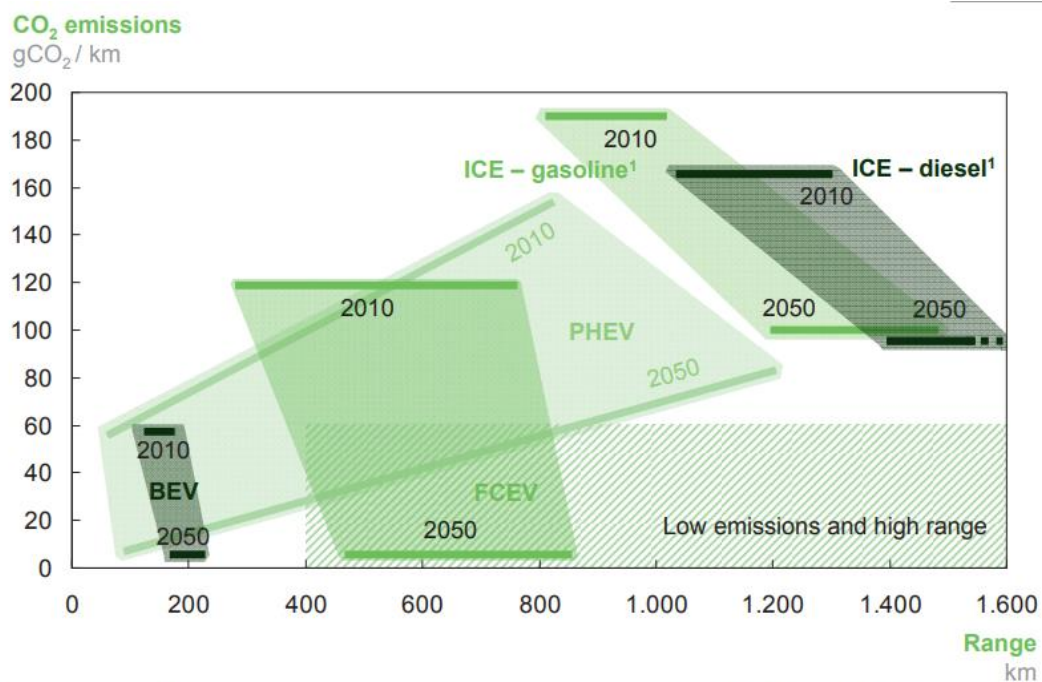
L'argumentaire relatif à la complémentarité des technologies va être renforcé par la publication d'un rapport du cabinet de conseil McKinsey en 2010¹⁰⁰, soutenue par des grands groupes industriels européens¹⁰¹ et par des membres du centre commun de recherche de la Commission européenne (Galich Ante, 2015). Ce document a pour objectif d'établir un état des lieux des différentes technologies de véhicules électriques (à batterie, à pile à combustible et hybride rechargeable) existantes et de comparer leur performance d'un point de vue économique et environnemental. Dans cette optique, le cabinet conclut que les trois technologies sont utiles et que chacune répond à des parts de marché du secteur de l'automobile différentes. Dans le scénario développé par McKinsey, les batteries sont destinées aux petits véhicules effectuant des trajets courts et la technologie hydrogène aux véhicules plus grands et effectuant des trajets de plus longue distance. Les véhicules hybrides rechargeables sont, quant à eux, davantage destinés aux territoires où des biocarburants sont disponibles.

La figure 15, issue du rapport du cabinet McKinsey, représente les taux d'émissions de CO₂ et la capacité d'autonomie en kilomètre pour plusieurs technologies de motorisation et d'alimentation. Le schéma illustre les caractéristiques techniques en 2010 et celles projetées en 2050. Par exemple, pour le véhicule électrique à batterie (BEV), il est attendu une baisse drastique du taux d'émission de CO₂ passant de 60 g.CO₂/km à un seuil quasi nul en 2050, avec une capacité d'autonomie autour des 200 km. Pour les véhicules électriques à pile à combustible (FCEV), le taux d'émission passe d'environ 120 g/km en 2010 à un seuil proche de zéro en 2050, avec une capacité d'autonomie comprise entre 500 et 800 km d'ici 2050. Le schéma compare également ces caractéristiques pour les véhicules hybrides (PHEV) et thermiques (ICE diesel ou ICE essence).

¹⁰⁰ McKinsey. (2010). *A portfolio of power-trains for Europe: A fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles.*

¹⁰¹ On note la présence de pétroliers, de constructeurs automobiles notamment allemands, des acteurs des secteurs du gaz, de l'électricité.

Outre ces caractéristiques techniques, ce schéma met en exergue le fait que seuls les véhicules électriques à pile à combustible ainsi que quelques véhicules hybrides répondront aux exigences en termes d'émissions et d'autonomie en 2050 (cf rectangle rayé vert sur le schéma).



¹ ICE range for 2050 based on fuel economy improvement and assuming tank size stays constant. Assuming 6% CO₂ reduction due to biofuels by 2020; 24% by 2050

Figure 14 : comparaison des différentes technologies de véhicules en fonction de leur taux d'émission et de leur autonomie. Source : McKinsey (2010)

1.2 La construction d'une stratégie française pour le déploiement de la mobilité hydrogène

Cette manière de présenter les technologies des batteries et des piles à combustible comme destinées chacune à des usages particuliers va continuer de se diffuser. Elle va influencer la construction, en France, d'une stratégie nationale faisant de l'hydrogène l'un des vecteurs d'une mobilité durable.

1.2.1 La construction du coût total de possession des véhicules hydrogène

Au-delà des caractéristiques techniques, le rapport McKinsey établit également des projections économiques pour démontrer la faisabilité d'un scénario combinant les trois technologies et les perspectives possibles concernant les véhicules à hydrogène. Ils'appuie, pour ce faire, sur le « coût total de possession » - plus communément appelé « *total cost of ownership* » (TCO) - comme indicateur de référence pour comparer les trois solutions (batterie, pile à combustible et hybride). Cet indicateur ne prend pas uniquement en compte le prix de vente des véhicules, mais l'ensemble des coûts engendrés par l'utilisation de la voiture (maintenance, prix du carburant, etc.). Il s'agit donc d'estimer le coût total de revient d'un véhicule pour un usager en considérant l'ensemble des dépenses liées à son utilisation.

Villareal (2014) montre que le calcul du TCO est devenu une référence pour l'industrie automobile avec l'arrivée des véhicules électriques. En effet, les véhicules électriques étant plus onéreux que les véhicules thermiques, le passage du prix du véhicule au TCO a permis de valoriser le modèle économique des premiers par rapport aux seconds. Pour le monde de l'automobile, l'objectif est de démontrer que l'investissement sur le long terme d'un véhicule électrique est rentable, compte tenu de ses faibles coûts d'usage. D'après l'auteur, le TCO est mobilisé comme un « instrument de légitimation » d'objectifs différenciés (Villareal, 2014). En effet, son mode calcul ne s'appuie pas sur une méthodologie stabilisée, mais sur des hypothèses qui varient en fonction des acteurs (Villareal, 2014) . En d'autres termes, les résultats d'un calcul de TCO peuvent être différents, voire contradictoires, selon les variables utilisées. Un tel calcul n'est donc pas neutre, mais dépend de critères qui sont socialement construits servant à légitimer les intérêts des acteurs qui le mobilisent.

Pour la mobilité hydrogène, le prix des véhicules hydrogène étant nettement supérieur à celui des véhicules thermiques¹⁰², le recours au TCO vise à démontrer que des économies peuvent être réalisées pour l'énergie et la maintenance, afin d'atteindre un coût d'usage complet proche de celui des véhicules thermiques. Le rapport de McKinsey montre qu'une très forte baisse pour les véhicules électriques à hydrogène est attendue entre 2010 et 2020 et que les TCO de toutes les technologies étudiées convergent à horizon 2025, c'est-à-dire que la différence entre le TCO d'un véhicule à batterie, thermique, hybride ou pile à combustible est négligeable. Ces projections économiques vont permettre de renforcer l'idée que les véhicules à hydrogène ont leur place parmi les technologies à développer et que cette projection n'est pas irréaliste, mais qu'elle est légitime d'un point de vue environnemental, social et même économique.

¹⁰² Par exemple pour un véhicule utilitaire type Kangoo, le prix est pratiquement le double pour la version hydrogène par rapport à la version thermique. De même pour les bus à hydrogène, il faut compter entre 2 et 2,5 fois plus cher qu'un bus diesel.

Ce rapport de McKinsey joue, selon nous, un rôle important dans la construction d'une problématisation de la mobilité hydrogène. Celle-ci n'apparaît plus comme étant concurrente avec les batteries, dans la mesure où le document montre que les différentes technologies sont nécessaires pour répondre aux enjeux de décarbonation du secteur. De plus, il s'oppose également à l'idée que les technologies liées à l'hydrogène ne seraient pas matures. Le rapport part du constat que des véhicules à pile à combustible peuvent déjà être déployés dès 2010. Bien évidemment, l'avènement d'un tel modèle passe, selon le cabinet de conseil, par une phase d'investissement importante des États membres et des industriels.

1.2.2 Le consortium H₂ Mobilité France : un acteur majeur dans la problématisation de la mobilité hydrogène en France

Au cours de cette période (2012 – 2014), plusieurs projets de conception de véhicules électriques hydrogène voient le jour, portés par des consortiums européens. Ils visent des usages de mobilité douce avec des vélos à hydrogène par exemple, de mobilité légère avec des expérimentations de véhicules légers à pile à combustible lancées dans plusieurs villes, et de mobilité lourde avec des premiers bus hydrogène dans certaines villes européennes.

Compte tenu des dynamiques présentes au niveau européen, des acteurs industriels français se regroupent au sein d'un consortium appelé H₂ Mobilité France¹⁰³ (H₂MF) et élaborent une stratégie pour le déploiement de la mobilité hydrogène en France. Ce consortium est piloté par Symbio et Michelin et compte parmi ses adhérents des énergéticiens, des producteurs d'hydrogène, des centres de recherche, des constructeurs automobiles¹⁰⁴ et équipementiers, des fabricants d'électrolyseurs ainsi que des associations et des pôles de compétitivité¹⁰⁵.

La figure 16 dresse la liste des membres du consortium en 2014. Il réunit une diversité d'acteurs, grands groupes industriels, petites et moyennes entreprises, acteurs publics, dont tous interviennent à des étapes différentes sur la chaîne de valeur de la mobilité hydrogène (production d'hydrogène, transport ou distribution, usages, etc.).

¹⁰³ Le consortium H₂MF fait partie de l'association AFHYPAC.

¹⁰⁴ Il peut être souligné que les deux grands constructeurs nationaux Renault et PSA sont alors absents de l'initiative en 2014.

¹⁰⁵ Présentation du consortium, 2014. Mobilité Hydrogène France : *Proposition d'un plan de déploiement national des véhicules hydrogène*.

Gouvernement	
Entreprises de l'énergie	
Producteurs d'hydrogène et stations	
Véhicules et systèmes pile à combustible	
Electrolyseurs	
Centres de Recherche	
Associations régionales-et-pôles	
Associations européennes et françaises	

Figure 15 : membres du consortium H2 Mobilité France en 2014.

Source : H2 Mobilité France

L'objectif pour le consortium H2 Mobilité France est double : construire un TCO pour les véhicules à hydrogène assez attractif afin d'inciter des usagers à investir tout en prenant en compte les intérêts divergents entre les acteurs du consortium. En effet, il s'agit de trouver un compromis pour le calcul du TCO entre les constructeurs et les énergéticiens, chacun cherchant à maximiser son profit.

« A l'époque on avait une tension entre les gens du véhicule qui voulaient vendre leurs véhicules plus chers et les gens de l'énergie, les gens qui vendaient l'hydrogène qui disaient : « mais non, il faut que le prix de l'hydrogène soit plus cher. Les véhicules électriques coûtent moins cher parce qu'il y a moins de trucs dedans ». Il a donc fallu se mettre d'accord sur ce prix de l'hydrogène pour avoir un TCO équivalent entre le véhicule thermique et le véhicule hydrogène. Quelle devait être la répartition de la valeur entre l'énergie et le véhicule ? Pour faire ça, évidemment on pouvait le faire chacun de notre côté, mais j'ai trouvé plus malin de le faire au sein du consortium de mobilité France. » (Entretien membre 2 du consortium H2MF, novembre 2020).

En raison des enjeux de transition énergétique et de diminution des gaz à effet de serre, il n'est pas question, pour le consortium, d'avoir recours à de l'hydrogène issu d'énergie fossile. En effet, plusieurs études montrent que les véhicules électriques à hydrogène ne sont pertinents, d'un point de vue environnemental, que si la production d'hydrogène est décarbonée. L'enjeu est donc de parvenir à obtenir un coût de production d'hydrogène décarboné permettant d'avoir un TCO égal à celui du véhicule thermique. Dans ce contexte, le consortium H2MF montre qu'une production d'hydrogène par électrolyse de l'eau située à proximité de la station de recharge peut s'avérer plus rentable qu'une production centralisée¹⁰⁶. Ils estiment qu'à plus de 150 km de distance entre station de distribution et unité de production, il est plus intéressant, d'un point de vue économique, d'assurer une production de petite capacité directement sur site qu'une production de plus grande capacité centralisée¹⁰⁷. Partant de ce constat, les membres du consortium H2MF montrent qu'une production d'hydrogène *in situ* permet d'atteindre un prix de vente de l'hydrogène plus bas et donc un coût total de possession (TCO)¹⁰⁸ plus faible pour les futurs usagers¹⁰⁹.

1.2.3 Développer une stratégie spécifique française du déploiement de l'hydrogène : s'appuyer sur la logique des flottes captives

L'enjeu pour H2MF n'est pas seulement de mettre au point un calcul partagé du TCO mais aussi d'élaborer une stratégie commune de déploiement de la mobilité hydrogène en France. L'objectif est de démontrer que la mobilité hydrogène peut être déployée, dès 2014, sous réserve de résoudre le « paradoxe de la poule et de l'œuf ». Ce concept, pour la mobilité, revient à questionner ce qu'il convient d'introduire en premier - les véhicules ou l'infrastructure de recharge - pour assurer l'adéquation entre l'offre et la demande (Bento, 2010). Effectivement, sans station de recharge installée, le risque étant qu'il n'y ait pas de véhicule en circulation, puisque les usagers ne voudront pas investir sans avoir l'assurance de points de ravitaillement sur leur parcours. A l'opposé, sans véhicule en circulation, les énergéticiens concernés ne seront pas incités à mettre des stations, de peur que ces dernières soient sous-utilisées. Il s'agit donc de dépasser les positions parfois attentistes entre les acteurs de l'automobile et de l'énergie pour déployer une nouvelle technologie de véhicule et l'énergie associée (Bento, 2010).

Pour trouver une solution à ce problème, les membres du consortium élaborent une stratégie qu'ils présentent comme étant innovante par rapport aux approches classiques adoptées en

¹⁰⁶ Présentation de Fabio Ferrari lors d'une conférence sur l'hydrogène au Sénat en novembre 2014.

¹⁰⁷ Les hypothèses prises pour arriver à de telles conclusions ne sont cependant pas détaillées dans la présentation réalisée par le consortium lors d'une conférence au Sénat en 2014 qui explique le raisonnement tenu.

¹⁰⁸ On rappelle que le TCO ou prix total de possession prend en compte à la fois les coûts liés au véhicule mais également à sa maintenance et l'énergie nécessaire à son fonctionnement.

¹⁰⁹ Ils estiment un coût de possession final de l'ordre de 5% plus élevé qu'un véhicule thermique.

Angleterre et en Allemagne, qui consiste à déployer des stations de recharge en premier lieu. Ils préconisent de s'appuyer sur des flottes captives¹¹⁰, afin de réduire à la fois les investissements et les risques de sous-utilisation des stations.

Les flottes captives consistent dans des flottes de véhicules dont les itinéraires et les consommations sont prévisibles et qui rentrent régulièrement au même parking ou dépôt. Ces véhicules sont à usage professionnel, par exemple des véhicules utilitaires légers, des petits véhicules de livraison ou des taxis. En s'appuyant sur ces usages dans des périmètres restreints, il est plus aisé de déterminer un lieu d'implantation pour une station de recharge (par exemple le parking ou le dépôt). La stratégie vise à créer des « clusters de flottes captives » impliquant la mise en place simultanée d'une ou plusieurs stations hydrogène et de flottes captives de véhicules associées. Ce modèle, selon les membres du consortium, permet d'assurer un modèle économique rentable et de développer un début de marché en implantant quelques clusters dans plusieurs villes.

« Si on part du principe que l'on peut créer un maillage territorial, avec des applications très locales que l'on interconnecte avec des infrastructures publiques, on a résolu le problème de la poule et de l'œuf. On essaie donc de promouvoir cette démarche en France au travers de « H2 Mobilité ». (Bertrand Chauvet, directeur marketing de Symbio lors de l'audition publique sur les enjeux de l'hydrogène à l'OPESCT¹¹¹, octobre 2013).

L'objectif fixé par les membres du consortium, à horizon 2020, consiste dans la mise en place de 500 à 700 véhicules, de quelques camions et de 15 à 20 stations hydrogène dans des régions volontaires. Cette première étape permet, selon eux, d'amorcer le marché de la mobilité hydrogène avant d'envisager des investissements plus importants pour un développement en série. Le plan prévoit ensuite le déploiement inter-cluster des stations afin de couvrir tout le territoire national à horizon 2030. La figure 17 illustre les différentes étapes nécessaires à la réalisation d'une couverture nationale en infrastructures et véhicules à hydrogène. Le consortium projette dès 2017 la mise en place de clusters dans quelques territoires avant un déploiement plus massif entre 2020 et 2025, grâce à différents mécanismes (soutien politique national, réglementation adaptée, baisse du prix des véhicules).

¹¹⁰ Intervention de l'AFHYPAC et de H2 Mobilité France lors d'une conférence « L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique », au Sénat en novembre 2014.

¹¹¹ Kalinowski, L., & Pastor, J.-Ma. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique* ? OPESCT. P. 97.

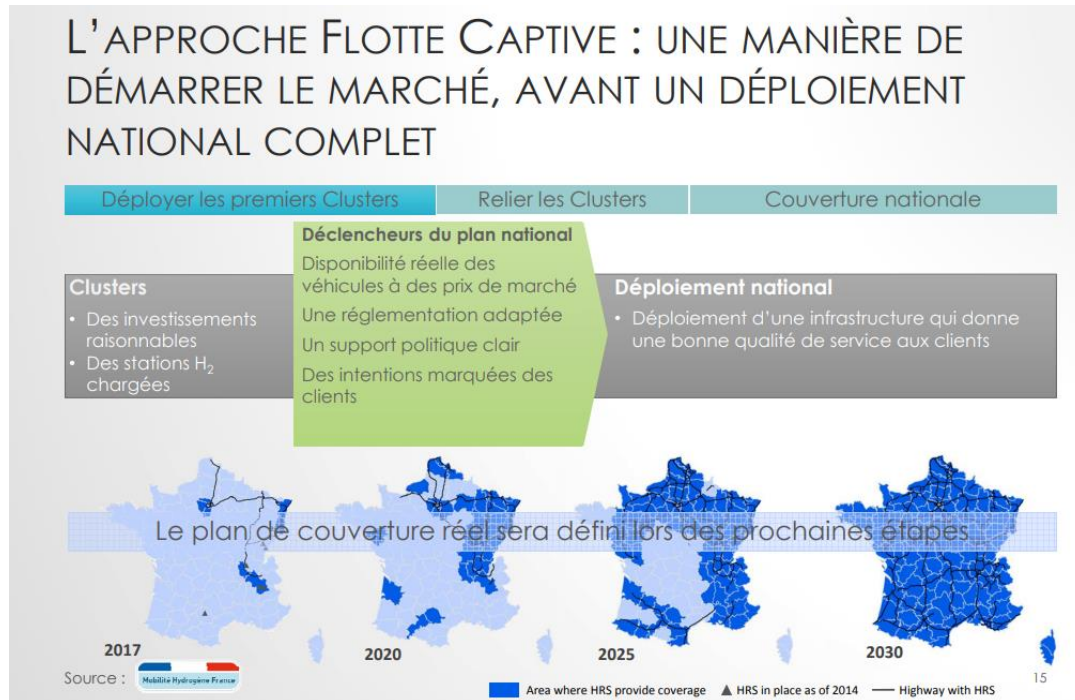


Figure 16 : proposition d'une stratégie nationale pour le déploiement de la mobilité hydrogène par le consortium H2 Mobilité France en 2014.

Source : H2 Mobilité France, 2014

L'un des objectifs de cette étude de H2MF est de démontrer que la mobilité hydrogène peut être développée sans avoir recours à des investissements massifs et d'en convaincre les agents de l'État afin d'obtenir leur soutien financier. La stratégie présente ainsi deux particularités. La première concerne le choix d'implanter des stations délivrant de l'hydrogène à une pression de 350 bars, contrairement à 700 bars dans d'autres pays. Ce choix technique est justifié par le prix moins onéreux de ces stations. La deuxième caractéristique est de viser le marché des véhicules utilitaires légers¹¹² en s'appuyant sur la technologie à prolongateur d'autonomie, ou *range-extender*¹¹³. Dans ce cas, la pile à combustible utilisée est de faible puissance ce qui permet, selon les membres du consortium, de diminuer le coût des véhicules. Il faut toutefois préciser que cette technologie est aussi celle développée par la société Symbio qui équipe des véhicules Renault Kangoo électrique, déjà existants sur le marché, avec une pile à combustible. L'objectif de ce plan est donc également un moyen, pour la société, de tester les véhicules et de développer le marché de cette entreprise.

Cette stratégie vise à intéresser et enrôler des acteurs publics (collectivités locales) et privés (acteurs économiques possédant des flottes captives). Afin de les persuader des vertus de la

¹¹² Un véhicule utilitaire léger est un véhicule de transport commercial avec un poids total autorisé en charge ne dépassant pas 3,5 tonnes (source : Wikipédia).

¹¹³ Nous rappelons qu'il s'agit d'un véhicule électrique où la batterie constitue la principale source d'alimentation et où une pile à combustible est utilisée en source d'appoint pour recharger la batterie

mobilité hydrogène, les pilotes de H2MF appuient leur argumentaire en montrant les bénéfices liés au développement des énergies renouvelables dans une perspective de « *transition de production locale*¹¹⁴ » de l'énergie. La vision de l'hydrogène en tant qu'élément de changements du système énergétique est donc mobilisée au service de la décarbonation de la mobilité.

A travers le consortium H2MF, c'est donc la représentation d'une mobilité hydrogène vertueuse, permettant d'atteindre une autonomie et un temps de recharge à la pompe similaires à ceux des véhicules thermiques avec un surcoût limité qui prend forme. Les acteurs du consortium jouent à la fois sur l'image d'un vecteur énergétique porteur de changements dans la manière de produire et de stocker l'énergie et, en même temps, promeuvent une vision de la mobilité hydrogène résolvant tous les problèmes pour lesquels la batterie électrique ne correspond pas (autonomie, temps de recharge, conditions climatiques spécifiques, etc.). Afin de convaincre des avantages des véhicules hydrogène, différents événements sont organisés pour prouver que les caractéristiques du véhicule hydrogène sont très proches de celles du véhicule thermique. Par exemple, des records de distance¹¹⁵ sont organisés ou encore la conduite dans des conditions climatiques extrêmes¹¹⁶. La mobilité électrique hydrogène apparaît ainsi comme une solution moins contraignante que celle utilisant des batteries.

La stratégie développée par le consortium H2MF se diffuse et le modèle de flottes captives parvient à enrôler des acteurs externes, en particulier des collectivités territoriales, dans la mise en œuvre des premiers projets démonstrateurs. L'objectif est, dans un premier temps, de tester la pertinence de la stratégie développée et de démontrer l'utilité de la mobilité hydrogène dans les territoires¹¹⁷.

1.3 L'émergence d'initiatives territoriales de mobilité hydrogène

Plusieurs des acteurs présents au sein du consortium H2MF vont être impliqués dans la mise en œuvre de projets de mobilité hydrogène dans des territoires. La stratégie développée par H2MF trouve sa première concrétisation dans le projet *Hyway* en Rhône-Alpes.

¹¹⁴ Intervention de l'AFHYAC et de H2 Mobilité France lors d'une conférence « L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique », au Sénat en novembre 2014.

¹¹⁵ <https://www.automobile-propre.com/breves/voiture-a-hydrogene-la-nouvelle-toyota-mirai-bat-le-record-de-distance/>

¹¹⁶ <https://www.20minutes.fr/economie/auto/3196451-20211213-val-thorens-une-voiture-a-hydrogene-va-tenter-d-etablir-un-record-sur-le-circuit-de-glace>

¹¹⁷ <http://h2piyr.eu/fr/h2piyr-presente-ses-resultats-aux-institutions-et-a-la-societe/>

1.3.1 Tester la logique du consortium H2 mobilité France en Rhône-Alpes

En Rhône-Alpes, des dynamiques publiques et privées autour de l'hydrogène existent depuis quelques années. La concentration d'entreprises spécialisées sur l'hydrogène (McPhy, Symbio, Attaway)¹¹⁸ et la présence d'acteurs industriels et académiques font de Rhône-Alpes un terrain favorable pour le déploiement de ce vecteur énergétique. Plusieurs acteurs territoriaux, comme le CEA, Michelin ou encore le pôle de compétitivité Tenerrdis¹¹⁹, sont fortement impliqués sur le sujet hydrogène dans les sphères politiques, académiques et industrielles¹²⁰. Plusieurs de ces acteurs sollicitent un soutien de l'État pour développer un premier projet démonstrateur. Ces industriels (Symbio, McPhy, Air Liquide, la CNR, etc.) expriment le besoin de pouvoir faire « *la preuve de leurs concepts* » afin de rattraper leur retard par rapport à d'autres pays comme l'Allemagne ou le Japon (entretien agent 2 Ademe Auvergne-Rhône-Alpes, février 2021).

En réponse à ces attentes, sous l'impulsion du préfet de Région, un consortium de neuf acteurs¹²¹ est créé en 2013, dans le but d'initier un projet de mobilité hydrogène (entretien agent 2 Ademe Auvergne-Rhône-Alpes, février 2021). Le projet *Hyway* a pour objectif d'expérimenter la technologie des véhicules à pile à combustible et des systèmes hydrogène à l'échelle de deux villes, Lyon et Grenoble. L'ambition est de tester les véhicules développés par Symbio mais aussi les stations de ravitaillement hydrogène installées par plusieurs de ces acteurs. La stratégie développée est celle du consortium H₂ Mobilité France, c'est-à-dire celle des flottes captives, afin de montrer qu'elle permet d'assurer un modèle économique viable pouvant être dupliqué à d'autres territoires¹²².

Cette expérimentation en conditions réelles est divisée en deux phases : la première consiste à déployer une station de distribution hydrogène à Lyon et à Grenoble associée, pour chacune, à 50 véhicules électriques à hydrogène. La seconde vise à mettre en place un électrolyseur sur le site des stations de distribution afin de permettre une production *in-situ*. Le projet s'adresse aux usages professionnels et prévoit le déploiement de véhicules Renault Kangoo à prolongateur d'autonomie, développés par SymbioFcell.

¹¹⁸ Par exemple, la société McPhy est créée en 2008 dans la Drôme par le CNRS et le CEA, et est spécialisée dans le stockage d'hydrogène solide avant de se diversifier, en 2013, dans la production d'électrolyseurs. Deux ans plus tard, la société Symbio Fcell est créée en Isère. En 2012, c'est la société Ataway qui voit le jour en Savoie spécialisée dans la fabrication de stations de recharge en hydrogène.

¹¹⁹ « Technologies Énergies Nouvelles, Énergies Renouvelables, Rhône-Alpes, Drôme, Isère, Savoie et Haute-Savoie » (Tenerrdis) se démarque sur l'hydrogène en étant identifié comme l'un des trois pôles particulièrement actifs en France sur le sujet.

¹²⁰ C'est le cas par exemple avec le CEA Liten qui est impliqué au niveau national dans l'élaboration des appels à projets de l'Ademe et de Michelin et Symbio Fcell qui sont membres du bureau de l'AFHYPAC.

¹²¹ Il est composé des acteurs suivants : Air Liquide, le CEA Liten, la Compagnie Nationale du Rhône, Gaz Electricité de Grenoble, ENGIE, GNVert, McPhy, le Pole Utilité Services filiale d'ENGIE Cofely, Symbio et le pôle de compétitivité Tenerrdis.

¹²² Synthèse du bilan de la phase 1 du projet Hyway 2014 – 2017.

En ce qui concerne la production d'hydrogène, un électrolyseur est mis en place par l'un des acteurs du projet à Grenoble, tandis que l'hydrogène est livré par camions par Air Liquide pour la station de Lyon. La seconde phase du projet prévoit cependant l'installation d'un électrolyseur à Lyon. A Grenoble, l'unité de production se trouve sur un site proche du point de distribution et permet d'alimenter la station de recharge et les besoins en hydrogène d'un industriel situé sur le même site. C'est d'ailleurs la présence de ce dernier usager qui a permis de rentabiliser l'électrolyseur de Grenoble, les consommations des véhicules étant trop faibles pour justifier un tel investissement.

En 2017, lors de finalisation de la première phase du projet, un premier retour d'expérience est publié par le consortium¹²³. Durant cette phase de l'expérimentation, seulement 31 véhicules ont été achetés par des organisations publiques ou privées, dont 23 ont été réellement utilisés dans des conditions normales, les 8 autres n'ayant servi qu'à être un support de communication et par conséquent n'ont pratiquement pas roulé. Le faible nombre de véhicules déployés entraîne alors une sous-utilisation des stations de recharge¹²⁴ dimensionnées pour délivrer 20 et 40 kg par jour d'hydrogène.

Les choix stratégiques du consortium H2MF d'avoir recours à des véhicules à prolongateur d'autonomie viennent finalement contraindre le projet, dans la mesure où ces véhicules n'affichent qu'une très faible consommation en hydrogène¹²⁵. Les concepteurs du projet restent néanmoins convaincus que le modèle de flottes captives est pertinent pour développer la mobilité électrique hydrogène en France. Ils justifient le manque de rentabilité par le nombre peu élevé de véhicules et le faible kilométrage parcouru, ne remettant pas en cause l'utilisation de l'hydrogène pour la part de marché visée ni la stratégie adoptée (véhicule utilitaire léger et usagers professionnels). Le manque d'infrastructures de recharge constitue, selon eux, un frein majeur pour permettre une utilisation plus intensive des véhicules et un nombre plus important de clients.

De cette première phase d'expérimentation, les participants tirent plusieurs conclusions. Tout d'abord, ils en concluent que le coût total de possession d'un véhicule hydrogène électrique reste supérieur à celui d'un véhicule thermique ou d'un véhicule électrique à batterie, mais que des réductions sur les véhicules et sur le prix de l'énergie sont envisageables, à condition d'apporter quelques modifications aux futurs projets. Dans ce contexte, ils incitent les futurs développeurs de projet à adopter une démarche similaire en

¹²³*Ibid.*

¹²⁴Les stations avaient une capacité comprise entre 30 et 40 kg.H₂/jour mais n'ont été que très peu utilisées, avec un taux de charge inférieur à 10%, les usagers ne faisant que des recharges assez faibles en volume. Cette faible utilisation des stations ne permet pas d'atteindre un amortissement de l'infrastructure satisfaisant ni d'assurer un seuil minimal de recettes.

¹²⁵ Ces véhicules ne consomment qu'environ 1 kg.H₂ pour 100 km. De plus, la technologie à prolongateur d'autonomie utilise d'abord l'énergie électrique délivrée par la batterie. Il faut donc que la batterie soit quasiment vide pour que le recours à la pile à combustible ait lieu, ce qui nécessite d'utiliser le véhicule sur des distances plus longues que l'autonomie délivrée par la batterie.

prévoyant un plus grand nombre de véhicules associés à une station de distribution, sans nécessairement prévoir une production par électrolyse sur le site d'utilisation.

1.3.2 Les limites de la logique du modèle de flottes captives

A l'instar du projet Hyway, dès 2014 – 2015, d'autres projets de mobilité hydrogène sont initiés en France suivant la logique construite par H2MF. Dans le cadre d'un appel à projets européen, trois opérations en France sont sélectionnées, à Sarreguemines, Paris et à proximité de Rodez. Aude Cranois (2017) montre, en étudiant le cas de Rodez, que des réflexions sur la valorisation de la production d'énergie renouvelable sont menées par un groupement d'acteurs publics¹²⁶. Dans l'optique de trouver une solution à l'intermittence de la production renouvelable, les acteurs identifient l'hydrogène comme une solution potentielle et lancent une consultation pour identifier des pistes. Profitant de l'appel à projets européen, le groupement d'acteurs se mobilise pour monter un projet et enrôler d'autres acteurs du territoire, dont un producteur d'énergie renouvelable local, la société Braley¹²⁷. L'initiative prévoit d'implanter une unité de production et une unité de distribution sur l'un des sites de la société situé à Bozouls, près de Rodez.

Cette opération en précède une autre en Ariège. En 2015, dans le cadre d'une coopération transfrontalière du programme européen Interreg¹²⁸ entre la France, l'Andorre et l'Espagne, un projet de « corridor hydrogène pour les régions pyrénéennes » (H₂PIYR) voit le jour. Ce projet transfrontalier, porté par un consortium d'acteurs, vise à interconnecter les stations déjà implantées sur les territoires du Tarn et de l'Aveyron dans un programme plus large le long d'un corridor européen (Cranois, 2017). Dans cette perspective, un projet de station de distribution en Ariège voit le jour. Comme dans le cas de l'Aveyron, l'hydrogène intéresse la société locale Ondulia, qui y voit un moyen de valoriser sa production d'électricité renouvelable ainsi que l'eau de ses barrages hydrauliques (entretien agent de la société Ondulia, novembre 2019). Cet acteur local est déjà investi sur le sujet depuis quelques années¹²⁹ et considère l'hydrogène comme « *le meilleur moyen*¹³⁰ » pour stocker l'énergie électrique renouvelable. L'entreprise prévoit donc d'installer une unité de station de

¹²⁶ La direction départementale des territoires de l'Aveyron, la Chambre de commerce et d'Industrie, une agence territoriale d'EDF et le Commissariat général à l'égalité des territoires du Massif Central.

¹²⁷ Société spécialisée dans le traitement des déchets de bois et résidus verts.

¹²⁸ Interreg POCTEFA 2014 - 2020

¹²⁹ Dès 2010 la société investit dans un bureau d'étude spécialisé sur le sujet à Albi, la société N-GHY, qui développe, à la demande de la société Ondulia, un véhicule hybride hydrogène/batterie. Ondulia est également actionnaire de la SEM Eweer'hy'pole, située à Albi, qui intervient dans le domaine de la certification et de l'homologation pour la mobilité électrique à hydrogène.

¹³⁰ Ondulia, *la famille comme source d'énergie renouvelable*. (24/06/2013). Consulté 6 juin 2022, à l'adresse <https://www.media12.fr/ondulia-la-famille-comme-source-denergie-renouvelable/>

distribution sur l'un de ses sites de production et d'acquérir un véhicule à hydrogène financé dans le cadre du programme européen.

La volonté d'interconnecter les stations est un moyen d'assurer une utilisation des véhicules dans un périmètre plus large (Cranois, 2017). Comme l'a montré l'exemple de *Hyway*, il ne suffit pas de mettre en place une seule station associée à une seule flotte pour permettre au projet de fonctionner et d'être rentable. Un rapport gouvernemental indique d'ailleurs que « *le seul développement de quelques flottes captives est notablement insuffisant pour générer un développement (de l'hydrogène)*¹³¹ » et recommande de « *déployer l'hydrogène énergie à l'échelle d'une grande agglomération en traitant tous les registres (mobilité, applications stationnaires, niches logistiques, bâtiments, etc.)*¹³² »

La mobilité constitue ainsi le premier axe de développement de l'hydrogène dans les territoires. Néanmoins, dans les deux cas présentés, la seule logique de flotte captive ne permet pas de garantir une rentabilité au projet. Des modifications de la stratégie développée par le consortium vont donc être apportées.

1) Les écosystèmes de mobilité hydrogène, une approche de l'hydrogène qui mobilise

Au cours des années 2015 – 2016, la logique développée par H2MF se diffuse peu à peu dans plusieurs territoires (Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Normandie, Occitanie, etc.). Si les projets adoptent le modèle dit des flottes captives préconisé par H2MF, la notion de « clusters de flottes captives » laisse progressivement la place à celle « d'écosystèmes locaux hydrogène ».

2.1 Les écosystèmes hydrogène : un concept flou saisi par plusieurs acteurs de manière différente

La notion d'écosystèmes territoriaux de l'hydrogène apparaît, dès 2015, dans le rapport d'activité de l'association AFHYPAC¹³³. Il est entendu par écosystème hydrogène local un territoire où plusieurs flottes captives hydrogène sont présentes afin de « *permettre le développement structuré d'une infrastructure de distribution partagée à l'échelle du territoire*¹³⁴ ». La logique

¹³¹ Durville, J.-L., Gazeau, J.-L., Nataf, J.-M., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène énergie—CGEDD – CGE*. P. 64

¹³² Op. cit. p. 67

¹³³ AFHYPAC. (2015). *L'hydrogène en France en 2015*.

¹³⁴ Op. cit. p. 15

d'écosystème territorial est plus large que celle des flottes captives car elle intègre des usages divers autour d'unités de production et de distribution mutualisées afin d'assurer une utilisation suffisante des stations de production et de distribution. Une des conclusions du consortium d'acteurs, à l'issue du projet Hyway, était notamment de « *faire évoluer l'alimentation des stations afin qu'elles participent à la création d'un écosystème hydrogène vertueux pour le territoire. Ceci suppose à la fois de mutualiser les sources d'hydrogène décarboné et de lier la production d'hydrogène au développement des énergies renouvelables locales*¹³⁵ ».

Si certains acteurs tentent d'en livrer une définition, un manque de précision concernant cette notion subsiste. Ces imprécisions confèrent aux écosystèmes un rôle « d'objet-frontière », qui permet d'user d'un langage commun sans pour autant en projeter des visions tout à fait similaires (Star & Griesemer, 1989, Trompette & Vinck, 2009). Cette notion d'objet-frontière renvoie à l'idée d'une certaine « flexibilité interprétative de l'objet-frontière lui permettant d'opérer comme support de traductions hétérogènes, comme dispositif d'intégration des savoirs, comme médiation dans les processus de coordination d'experts et de non-experts, etc. » (Trompette & Vinck, 2009).

Il s'agit ici de montrer l'ensemble des représentations de la notion d'écosystème territorial hydrogène par les différents acteurs qui la mobilisent.

2.1.2 Donner une image vertueuse de l'hydrogène

Le terme d'écosystème territorial a été étudié dans le champ scientifique dans les domaines de l'économie territoriale et de l'écologie industrielle. Dans le premier cas, illustré par exemple par les travaux de Bernard Pecqueur (2016), la notion est définie comme étant « l'osmose d'un système économique et social et d'un contexte géoculturel ». Elle induit donc l'idée que les interactions entre un contexte économique, des relations sociales et un territoire et ses spécificités conduisent à la formation d'écosystèmes territoriaux.

S'inspirant des travaux de géographie et d'écologie, dans un rapport publié en septembre 2018, l'AFHYPAC décrit les écosystèmes comme étant « *à la fois définis par la relation acteurs/activités et par une densité de liens, de connexions qui ont un impact sur un territoire donné, en fonction des choix stratégiques opérés (gouvernance, centralité, etc.)*¹³⁶ ».

Pour l'association, le recours à cette notion fait également référence à la manière dont l'hydrogène peut favoriser une démarche d'économie circulaire tournée vers les cycles environnementaux et la valorisation des ressources¹³⁷. Sa conception fait écho aux travaux des spécialistes d'écologie industrielle, pour qui cette notion se réfère au fonctionnement des

¹³⁵ Synthèse du bilan de la phase 1 du projet Hyway 2014 – 2017. p. 8

¹³⁶ AFHYPAC. (2018). *L'hydrogène, enjeu national, défis territoriaux*. p. 17

¹³⁷ Ibid.

écosystèmes naturels (ensemble dynamique d'organismes vivants qui interagissent entre eux et avec le milieu dans lequel ils vivent) pour transformer la société industrielle en un écosystème industriel (Buclet, 2011). L'objectif de l'écologie industrielle est d'arriver à un développement plus durable d'un territoire grâce au « bouclage intégral [de ses] flux de matière et d'énergie » (Buclet, 2011).

Dans ce contexte, la logique des écosystèmes locaux semble répondre à la fois aux enjeux économiques de l'hydrogène tout en mobilisant un imaginaire vertueux d'un point de vue environnemental. En effet, la mobilité hydrogène est présentée comme participant à l'amélioration de la qualité de l'air dans la mesure où des véhicules électriques à hydrogène ne rejettent que de l'eau. L'hydrogène est perçu comme un substituant au carburant qui va permettre de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, le fait d'associer une production par électrolyse de l'eau à des stations de recharge au plus près des usages de mobilité est un moyen de réduire les taux d'émissions de CO₂ par rapport aux véhicules thermiques¹³⁸. Dans cette perspective, « *l'enjeu est ici de développer des expérimentations et des modèles économiques à l'échelle des territoires pour favoriser l'émergence d'écosystèmes soutenables sur le plan économique comme sur le plan environnemental*¹³⁹. »

Cette logique d'écosystème est mobilisée par les acteurs du secteur de l'automobile, qui y voient un moyen de faire émerger un modèle économique à la mobilité hydrogène.

2.1.2 Les écosystèmes territoriaux : un modèle économique viable pour le secteur de l'automobile

La notion d'écosystème renvoie au vocabulaire déjà utilisé dans le secteur automobile à propos des véhicules électriques pour désigner « l'ensemble des acteurs, services et infrastructures nécessaires à la viabilisation des véhicules électriques et à leur fonctionnement » (Villareal, 2016, p. 333). Dans le milieu automobile, il s'agit donc d'adopter une approche globale tenant compte de l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur de la mobilité électrique à hydrogène (production de d'énergie, borne de recharge, services de location de la batterie, fabrication des équipements et des véhicules, etc.). Une prise de position de la plateforme française de l'automobile (PFA)¹⁴⁰, en 2015, confirme cette volonté de ne pas penser les véhicules hydrogène de manière isolée, mais dans l'ensemble du système (production + distribution + usages) au sein des projets.

¹³⁸ Présentation du consortium, 2014. Mobilité Hydrogène France : *Proposition d'un plan de déploiement national des véhicules hydrogène*.

¹³⁹ ADEME. (2016). *Ademe & vous, le mag : Hydrogène : un vecteur d'avenir pour les territoires*. 101. P7

¹⁴⁰ La PFA est une plateforme qui rassemble l'ensemble des acteurs français du secteur automobile (4000 entreprises).

La notion d'écosystème est présentée comme une condition nécessaire pour développer le marché de la mobilité hydrogène¹⁴¹. Les acteurs de la mobilité sollicitent un soutien de l'État sur la production et la distribution d'hydrogène afin de pouvoir assurer le développement des infrastructures adéquates et inciter des clients à les utiliser. *« Si la mobilité hydrogène a initié ses premiers déploiements en France – du fait de ses intérêts environnementaux, de santé publique (pollution atmosphérique) et d'usage - la production d'hydrogène par électrolyse à un coût abordable apparaît comme un levier clef pour lui donner une nouvelle ampleur. Elle facilite en effet la constitution d'écosystèmes hydrogène locaux avec une forte implication des territoires, donnant ainsi corps, aux yeux des constructeurs et équipementiers nationaux, à un marché national¹⁴². »*

Cette notion se diffuse ainsi dans les sphères publiques et privées et devient le terme dominant pour désigner l'idée qu'un projet de déploiement doit articuler l'ensemble des briques de l'amont à l'aval c'est-à-dire production, distribution et usages. Elle est présentée par les équipementiers Michelin et Symbio comme la bonne démarche à suivre pour assurer un modèle économique pérenne à la mobilité hydrogène. Pour la promouvoir, certains des acteurs du consortium H2MF mènent des actions pour sensibiliser voire « éduquer » les acteurs publics notamment étatiques à cette approche (entretien membre 1 du consortium H2 Mobilité France, avril 2019). Le modèle de l'écosystème va alors se diffuser peu à peu au sein des différentes sphères de l'administration étatique (Ademe, Ministère de la transition écologique).

« Ça fait longtemps que l'équipe qui s'occupe de l'hydrogène à l'ADEME, ils ont compris que le système d'écosystème qui avait été développé via Symbio et qui avait été porté par la stratégie H2 Mobilité France c'est ça qu'il fallait faire ! » (Entretien consultant sur l'hydrogène, décembre 2019)

2.1.3 Les écosystèmes hydrogène locaux : un levier d'action étatique qui limite les dépenses publiques

Cette approche autour des écosystèmes hydrogène est renforcée par la publication, en juin 2018, de la première stratégie nationale de l'hydrogène. Ce « *plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique* », appelé plan Hulot, fixe des premiers objectifs en matière de production d'hydrogène décarboné et pour certaines applications. La mobilité hydrogène est notamment identifiée comme un des marchés prioritaires qu'il convient de développer à horizon de 5 à 10 ans.

¹⁴¹ PFA. (2015). *Position technique de la filière : Hydrogène et pile à combustible*. Consulté le 30/05/2022 : http://www.pfa-auto.fr/wp-content/uploads/2016/03/PTF-Hydroge%CC%80ne_s.pdf

¹⁴² Ministère de la transition écologique sociale et solidaire & CEA. (2018). *Rapport Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. p31

La stratégie nationale vise « *le déploiement d'écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène sur la base notamment de flottes de véhicules professionnels* » et cible le développement de 100 stations, 5000 véhicules légers et 200 véhicules lourds en 2023, puis de 400 à 1000 stations, 20 000 à 50 000 véhicules légers et 800 à 2000 véhicules lourds en 2028¹⁴³.

La notion d'écosystème devient la ligne directrice des appels à projets de l'Ademe, tels que prévus par le plan Hulot. Celui intitulé « Ecosystèmes de mobilité hydrogène », lancé en octobre 2018, vise à tester la faisabilité technique et économique de ce modèle. Le concept d'écosystème de mobilité hydrogène est défini de manière assez large par l'agence comme étant « *une zone, un territoire ou un espace géographique donné, sur lequel s'organisent simultanément une logistique de production et de distribution d'hydrogène, ainsi que des usages locaux de véhicules de transport de personnes ou de marchandises*¹⁴⁴ ». Aucune restriction d'un point de vue spatial ou technique en termes de production, de logistique ou d'usages n'est donnée. Pour le mode de production, plusieurs technologies de production décarbonée sont éligibles (vaporemformage de biogaz, électrolyse de l'eau, hydrogène fatal issu de l'industrie, etc.). De même, pour les usages, aussi bien les véhicules légers que les bateaux fluviaux, navettes maritimes ou engins spéciaux peuvent faire l'objet de soutiens. Pour l'Ademe, l'objectif est de tester des modèles d'écosystèmes différents, sans être trop prescriptif, pour laisser des marges de manœuvre aux porteurs de projets (entretien agent Ademe, juin 2020). L'un des enjeux est de montrer que cette approche peut avoir un effet de levier sur le développement de la mobilité hydrogène sans nécessiter des dépenses publiques colossales (entretien agent 2 Ademe, mars 2021).

Ces appels à projets reflètent davantage une logique de tâtonnement qu'un cadrage clair et stabilisé. L'Ademe, à travers les appels à projets, espère voir émerger des modèles d'écosystèmes différents pour en tirer des retours d'expérience. La stratégie nationale cherche à impulser des projets territoriaux, en prenant appui sur la logique d'écosystème, pour ensuite s'appropriier et proposer les modèles qui se sont avérés être les plus pertinents et qui peuvent être répliqués dans d'autres territoires¹⁴⁵. On retrouve ici un mécanisme de « circulation croisée » décrit par Vincent Béal, Renaud Epstein et Gilles Pinson dans les politiques de rénovation urbaine et de développement urbaine durable.

Finalement, les projets lauréats sont assez différents aussi bien d'un point de vue des technologies qu'ils mobilisent que dans les formes de gouvernance mises en place autour des projets (consortium public-privé, un seul acteur public, consortium uniquement privé, etc.). A titre d'exemple, les usages ciblés concernent aussi bien la mobilité légère professionnelle

¹⁴³ Ministère de la transition écologique sociale et solidaire & CEA. (2018). Rapport *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. p14

¹⁴⁴ Ademe, (2019). Cahier des charges de l'appel à projets « Ecosystème de mobilité hydrogène ». p3

¹⁴⁵ Ministère de la transition écologique sociale et solidaire & CEA. (2018). Rapport *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*.

(véhicule utilitaire léger) que la mobilité lourde avec des bus ou des bennes à ordures et des expérimentations de mobilité fluviale.

Au total, 21 propositions sont sélectionnées par l'appel à projets en 2019, dont 6 sont portés par un syndicat mixte, 4 par une métropole, 4 par des communautés d'agglomérations, 2 par des régions et 5 par des consortiums d'acteurs privés. Les collectivités territoriales répondent de façon favorable à la mobilité hydrogène et témoignent d'un certain intérêt à investir le sujet.

2.2 Les collectivités territoriales, acteurs clés des écosystèmes territoriaux ?

Si la notion d'écosystème reste floue, la plupart des acteurs (équipementiers automobile, AFHYPAC ou encore services étatiques) qui s'en saisissent mettent en avant la place des collectivités territoriales dans la mise en place de telles initiatives. Ainsi, le rôle de ces dernières dans la mise œuvre des écosystèmes hydrogène interroge.

2.2.1 Mobiliser les collectivités territoriales autour des écosystèmes territoriaux

Comme nous l'avons montré précédemment (cf. chapitre 1), l'AFHYPAC met fortement en avant la place des acteurs territoriaux dans l'élaboration de projets hydrogène. L'association montre que le contexte institutionnel et législatif est favorable et confère aux acteurs territoriaux un rôle majeur dans le déploiement de ce vecteur énergétique¹⁴⁶. Pour intéresser ces acteurs, l'association publie des guides pratiques¹⁴⁷ détaillant les différentes étapes à suivre pour construire un projet de mobilité hydrogène.

De la même manière, un des objectifs recherchés, à travers le plan Hulot et la mobilisation du concept d'écosystème, est de parvenir à l'intéressement des acteurs territoriaux et notamment des collectivités territoriales. Le plan Hulot met en avant le rôle des « territoires » comme étant des « agrégateurs » d'acteurs facilitant le déploiement de projets « structurants » pour l'hydrogène¹⁴⁸. Les territoires « doivent s'approprier et valider l'intérêt économique des chaînes de valeur créées¹⁴⁹ » en soutenant financièrement les écosystèmes territoriaux.

Les écosystèmes, dans le plan Hulot, sont alors présentés comme « émergent indéniablement » à l'échelle territoriale, sans pour autant que celle-ci ne soit définie. C'est

¹⁴⁶ FNCCR, & AFHYPAC. (2018). *Guide pratique—Déployer les stations hydrogène dans vos territoires*. p. 7

¹⁴⁷ AFHYPAC. (2016). *Insertion de l'hydrogène dans les territoires : Bonnes pratiques et applications*.

¹⁴⁸ Ministère de la transition écologique sociale et solidaire & CEA. (2018). *Rapport Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. p. 40

¹⁴⁹ Ibid.

donc « naturellement¹⁵⁰ » que les collectivités, et plus particulièrement les Régions, doivent soutenir financièrement ces écosystèmes. Les territoires apportent une assurance, une sécurité au projet et permettent de faire le lien entre les différents usages (pour la mobilité pour l'industrie) afin de favoriser des mutualisations entre projets et une baisse des coûts.

Pour convaincre les collectivités territoriales, le rapport montre que l'hydrogène est un levier « pour remplir leurs obligations en matière de développement des énergies renouvelables et de réduction des émissions de CO₂ » mais aussi un moyen pour trouver des « ressources complémentaires face à la diminution des dotations de l'État¹⁵¹ ». En jouant à la fois sur le registre économique, financier et environnemental, le rapport vise à encourager les collectivités territoriales à s'engager dans l'hydrogène. La représentation d'une production décentralisée renouvelable gérée par les acteurs territoriaux en fonction des ressources disponibles vise à « enrôler » les collectivités en leur donnant un rôle central dans le déploiement de l'hydrogène en France. *« Si le développement de la production d'hydrogène par électrolyse répond parfaitement aux nouvelles attentes des territoires, il favorise aussi l'émergence d'écosystèmes hydrogène locaux c'est-à-dire la combinaison d'un plan de déploiement de la mobilité conçu avec une optique d'aménagement du territoire, d'un recours aux énergies renouvelables produites localement et d'un système financier pour couvrir les risques de commercialisation¹⁵². »*

2.2.2 Quelle capacité d'intermédiation des collectivités territoriales ?

Les acteurs territoriaux, et plus particulièrement les collectivités territoriales, sont donc mis sur le devant de la scène par la stratégie nationale. En interrogeant les attentes vis-à-vis de ces acteurs, il en résulte que plusieurs fonctions peuvent leur être attribuées.

Pour l'Ademe, les stratégies locales de mobilité et de transition énergétique permettent d'assurer un socle favorable au développement d'écosystèmes locaux de mobilité hydrogène. L'agence considère que les collectivités rassurent les investisseurs privés en donnant des garanties de leur soutien à l'hydrogène. Les choix concernant les politiques énergétiques et leurs engagements permettent de donner une visibilité aux acteurs privés sur les orientations du territoire. A titre d'exemple, la mise en place de zones réglementaires pour la circulation de véhicules thermiques (zones à faibles émissions) est un moyen d'assurer un certain marché pour l'hydrogène, que les développeurs de projets vont prendre en compte (entretien agent 1 Ademe, juin 2020). Ils peuvent ainsi s'appuyer sur cette volonté politique de restriction pour hisser les véhicules hydrogène au rang de parfaite alternative. L'agence prend d'ailleurs en compte, lors de l'analyse des différents dossiers de candidature aux appels à projets, la présence de dispositifs d'action publique locaux et l'intégration de l'hydrogène dans ces

¹⁵⁰ Ibid.

¹⁵¹ Ibid.

¹⁵² Op. cit. p40

derniers. Pour l'Ademe, les collectivités territoriales permettent d'inscrire l'hydrogène dans un projet de territoire plus large de mobilité ou de transition énergétique.

« En fait, leur rôle c'est aussi qu'elles ont une vision un peu globale de leur territoire et notamment de la cohérence de l'écosystème avec le reste. C'est important pour nous [Ademe] car c'est la collectivité qui peut expliquer sur son territoire la complémentarité par exemple du maillage de l'hydrogène enfin des infrastructures de l'hydrogène par rapport aux infrastructures de déploiement de l'électrique à batterie par exemple ou du BioGNV. C'est une collectivité qui peut avoir ce recul et cette prise de hauteur, recontextualiser en fait ce projet par rapport à une dynamique d'ensemble autour de la transition écologique et en particulier autour des carburants alternatifs en fait. » (Entretien 1 agent de l'Ademe, octobre 2020)

Au-delà des aspects réglementaires, les collectivités vont également jouer un rôle de facilitateur aussi bien sur l'enjeu crucial d'accès au foncier pour l'implantation des unités de distribution qu'en termes d'animation pour trouver des utilisateurs des véhicules. Nous montrerons, dans la seconde section du chapitre, comment la Région Auvergne-Rhône-Alpes s'appuie sur les acteurs publics infrarégionaux pour développer l'un de ses projets. Le soutien politique des élus locaux apparaît alors comme un élément indispensable.

Enfin, les collectivités jouent aussi le rôle d'intégrateur dans la mesure où elles peuvent avoir une connaissance fine des initiatives présentes sur leur territoire et les regrouper autour d'un projet commun, dans le but de partager les coûts et les risques associés au projet. Elles favorisent ainsi l'émergence de « proximités organisées » autour des projets hydrogène (Torre, 2009).

« Donc l'idée, c'est d'abord de considérer que les territoires sont au centre de la transition énergétique aujourd'hui. En tout cas, ils ont un rôle extrêmement important dans la mise en place d'écosystèmes, évidemment, et quand je dis territoires j'entends les collectivités, les acteurs publics en premier lieu. Mais nous, notre objectif, c'est vraiment de faire émerger des écosystèmes innovants et dont les acteurs publics sont un des acteurs indispensables de ces écosystèmes innovants. Ce sont ceux qui mettent en place les politiques publiques de transition énergétique. [...] Il y a besoin du soutien du territoire, parce que c'est rare qu'il n'y en ait pas besoin à partir du moment où on essaie de créer un écosystème, c'est-à-dire des interactions entre les différents acteurs du territoire il y a forcément un moment où il y a l'action publique [au sens ici collectivités territoriales] dans la boucle. » (Entretien agent pôle de compétitivité 1, février 2021).

Ainsi, les collectivités territoriales semblent pouvoir jouer le rôle d'intermédiaire dans ces réseaux d'acteurs qui se construisent autour des écosystèmes d'hydrogène. L'intermédiation territoriale est entendue ici au sens d'une « *médiation d'acteurs dans le but de favoriser les proximités pour mener à bien un projet ayant une dimension territoriale* » (Bourdin, Nadou et Raulin, 2019, p. 282). Alors que le concept d'écosystème tel qu'il est défini dans les années 2016 – 2018 met en avant la nécessité de s'appuyer sur les collectivités territoriales, le caractère territorial des projets reste à questionner.

2.3.2 Faire de l'hydrogène une ressource territoriale ?

Du point de vue des collectivités territoriales, l'hydrogène apparaît comme un moyen de valoriser des ressources présentes sur le territoire. C'est également l'image d'un territoire innovant, actif pour la transition énergétique, avec des retombées économiques pour le territoire qui séduit les pouvoirs publics locaux. Dans cette optique, les collectivités territoriales peuvent chercher à faire de l'hydrogène une « ressource territoriale » en s'appuyant sur la spécificité de leur territoire (production locale d'énergies renouvelables, présence d'un acteur spécialisé sur l'hydrogène, etc.).

De point de vue d'un consultant qui accompagne les collectivités territoriales dans l'élaboration d'une stratégie en matière d'hydrogène, l'hydrogène peut être perçu comme un moyen d'autonomie énergétique pour les acteurs et comme un vecteur de développement pouvant générer des retombées économiques et industrielles. Sont mis également en avant les bénéfices en termes de communication que l'hydrogène peut avoir et qui intéressent notamment les élus locaux.

« Et ce qui a attiré tous ces acteurs du territoire sur le sujet hydrogène, c'est que tout le monde a assez vite compris que l'hydrogène, c'était potentiellement un vecteur énergétique qu'on pouvait développer localement, produire localement donc en autonomie énergétique, créer des circuits courts, production, consommation locale et que ça, évidemment, c'est très intéressant pour garder la valeur sur le territoire et d'autre part c'est très intéressant médiatiquement pour des élus qui parlent à des électeurs. » (Entretien consultant sur l'hydrogène, décembre 2019).

De la même manière, l'Ademe conçoit le rôle des collectivités territoriales comme garantes d'un « ancrage local » des bénéfices. D'après elle, elles ont la capacité de mobiliser les différents acteurs et atouts présents sur le territoire. Elles jouent donc un rôle majeur dans la

constitution progressive d'un écosystème de mobilité hydrogène, à partir des besoins et des ressources du territoire¹⁵³.

« L'autre aspect, c'est aussi les collectivités, elles vont avoir tendance à vouloir qu'il y ait des retombées économiques sur leur territoire. [...] Les collectivités elles vont chercher à inciter les énergéticiens, les investisseurs, les opérateurs gaziers à associer des partenaires, des entreprises qui sont sur leur territoire. A faire travailler des sous-traitants régionaux. Elles vont, bah par exemple en termes de sourcing d'électricité que ça puisse aussi être lié au développement des renouvelables sur leur territoire. Le fait qu'il y ait des collectivités ça permet d'ancrer les retombées ! » (Entretien 1 agent de l'Ademe, juin 2020).

Le cas d'un projet de la métropole de Montpellier est particulièrement illustratif de cette volonté de faire de l'hydrogène une ressource territoriale. L'opération, appelée Montpellier Horizon Hydrogène (MH2), vise à renouveler la flotte de bus métropolitaine en intégrant des véhicules à hydrogène. Pour cela, il est prévu la construction d'une unité de production par électrolyse de l'eau et une station de distribution situées sur le dépôt de bus. L'unité de production par l'électrolyse fait le lien avec un projet plus ancien, celui de construire un nouveau dépôt sur lequel des panneaux photovoltaïques sont disposés au niveau de la toiture. L'idée d'intégrer une production d'énergie renouvelable à la construction d'un nouveau dépôt est antérieure au projet MH2. Les porteurs réfléchissent à des solutions de stockage pour la production future d'électricité renouvelable mais la réflexion ne va pas plus loin. Plusieurs éléments vont ensuite concourir à faire de l'hydrogène la solution à mettre en place : la rencontre avec un acteur académique du territoire fortement investi sur le sujet, la volonté pour l'opérateur de transport des bus de changer certains de ses véhicules et l'opportunité des subventions offertes par l'Ademe.

D'autres initiatives similaires à celle de Montpellier, comprenant une unité de production d'énergie renouvelable qui alimente un électrolyseur et des usages locaux, sont aussi lauréats de l'appel à projets de l'Ademe¹⁵⁴. Ce schéma classique de production et de distribution montre la volonté de certains acteurs publics d'utiliser les ressources territoriales disponibles pour ancrer le projet territorialement.

¹⁵³ Bodineau, L. (2020). Décryptage : Partir des besoins et des ressources des territoires. *Ademe magazine*, 140, 2-3.

¹⁵⁴ Par exemple un projet similaire est porté par la Métropole de Dijon, le projet Dijon Smart Energy qui prévoit l'alimentation de l'électrolyseur grâce à de l'électricité issue de la biomasse sur son territoire.

Cependant, cette vision des écosystèmes n'est pas partagée par tous les acteurs impliqués dans des projets territoriaux. La vision territoriale portée par l'Ademe et le plan Hulot, se voit progressivement confrontée à certaines difficultés.

Le milieu des années 2010 est marqué par une nouvelle problématisation de l'hydrogène par certains acteurs du monde de l'automobile. La création en 2013 du consortium H2 Mobilité France va impulser une dynamique en faveur de la mobilité hydrogène. La stratégie de développement des « flottes captives » dévoilée à l'automne 2014, devient une ligne directrice à suivre pour mettre en œuvre des projets. Plusieurs projets d'implantation de stations hydrogène sont initiés au niveau des territoires, dans des villes notamment (Lyon, Grenoble, Rodez, Pamiers) selon cette logique.

De ces premières initiatives, il ressort toutefois que les coûts de production d'hydrogène et de distribution sont particulièrement élevés en raison de la sous-utilisation des infrastructures. Pour les porteurs de projets, s'impose alors la nécessité de relier plusieurs stations entre elles dans un périmètre plus large afin de permettre une utilisation plus intensive des véhicules et, à terme, d'augmenter progressivement le nombre de stations.

Dans cette perspective, une autre notion émerge pour désigner la logique mise en œuvre par H2MF. Il ne s'agit plus de penser la stratégie de mobilité hydrogène uniquement à l'aide des flottes captives mais de raisonner en termes « d'écosystème de mobilité », en mutualisant les infrastructures de production et de distribution d'hydrogène avec plusieurs flottes de véhicules à l'échelle d'un périmètre défini. Le recours à cette notion issue de l'écologie participe à la construction d'une vision du déploiement fondée sur une production locale issue d'énergie renouvelable correspondant aux besoins locaux. Le terme choisi par l'AFHYPAC et H2MF n'est donc pas neutre, mais vient à l'appui d'une représentation vertueuse, d'un point de vue environnemental, de l'hydrogène.

Cette notion d'écosystème va alors peu à peu se diffuser dans les territoires puis au niveau national en étant reprise par le plan Hulot en 2018, jusqu'à en devenir une condition pour bénéficier de financements de l'Ademe. Pour autant, les contours pour cadrer cette logique restent flous. Aucun périmètre n'est défini et aucun critère de dimensionnement ou de technologie n'est imposé. Il s'agit avant tout de tester cette logique et d'impulser une

dynamique au niveau des collectivités territoriales et des industriels pour déployer l'hydrogène.

Ainsi, la notion d'écosystème a une fonction « d'objet-frontière » destinée à intéresser et enrôler acteurs privés, pouvoirs publics nationaux et collectivités territoriales dans le déploiement de l'hydrogène en France, alors même que ceux-ci ont des intérêts et des visions différentes.

SECTION 2 : ATERRISSAGE TERRITORIAL DE LA LOGIQUE ECOSYSTEMIQUE A TRAVERS L'EXEMPLE DU PROJET ZERO EMISSION VALLEY

Après avoir présenté la construction du concept d'écosystème et sa diffusion dans plusieurs sphères à différents niveaux, nous souhaitons nous intéresser à la mise en œuvre de telles logiques au niveau des territoires. Comment se met en place un écosystème de mobilité hydrogène ? Quelles en sont ses caractéristiques techniques, économiques et sociales ?

Pour répondre à ces questions, nous nous appuyons principalement sur l'étude du projet *Zero Emission Valley* (ZEV) en Auvergne-Rhône-Alpes que nous avons pu suivre dans sa mise en œuvre. Ce projet piloté par la Région, associée à deux grands groupes industriels ENGIE et Michelin, est un reflet des dynamiques nationales et territoriales au cours de la période étudiée. Dans l'optique de nuancer ou de conforter les observations réalisées en Auvergne-Rhône-Alpes, nous croisons ce cas avec celui de l'Occitanie, utilisé comme contrepoint sans être autant approfondi.

1) Le projet Zero Emission Valley : la construction d'une ambition régionale pour la mobilité hydrogène

Une fois le projet *Hymay* à Lyon et à Grenoble terminé, trois des acteurs impliqués dans le consortium, Michelin, ENGIE et Symbio, décident de poursuivre avec un nouveau projet de plus grande ampleur, nommé *Zero Emission Valley* (ZEV). Cette alliance n'est pas anodine, puisque Michelin est actionnaire de la société Symbio depuis 2014 (47% du capital) et l'énergéticien ENGIE le devient en 2016 (23%). Chacun des grands groupes voit donc un intérêt à aider le développement de cette société. Partant du constat, dressé lors du projet *Hymay*, que l'échelle des villes n'engendre pas un nombre de véhicules suffisant pour assurer à Symbio un développement industriel, les acteurs se tournent vers l'échelle régionale. Cette dernière apparaît, à leurs yeux, comme étant pertinente pour dépasser les freins identifiés lors de l'expérimentation *Hymay*.

Ainsi, lors d'un conseil d'administration de Symbio trois régions sont envisagées comme terrains potentiels d'accueil : la Normandie, l'Ile-de-France et Auvergne-Rhône-Alpes (entretien agent de Michelin, avril 2019). Chacune d'entre elles présente des spécificités intéressantes pour déployer la mobilité hydrogène. La région Ile-de-France intéresse pour sa

forte densité de véhicules et la Normandie pour la présence d'initiatives hydrogène déjà menées par la société Symbio¹⁵⁵. Le choix se porte finalement sur Auvergne-Rhône-Alpes, en raison de la forte implantation de Michelin et ENGIE et de leur proximité politico-industrielle¹⁵⁶ avec la Région (entretien agent Michelin, mai 2019). Les ambitions économiques, industrielles et politiques propres à chacun de ces acteurs donnent lieu à une entente sur la manière d'envisager le déploiement de l'hydrogène sur ce territoire. Ainsi, grâce à la convergence des intérêts entre les industriels et le président de Région, cette dynamique se concrétise par la construction d'un nouveau projet hydrogène.

1.1 La construction d'une représentation régionale de l'hydrogène

L'alliance entre la Région et les trois acteurs industriels résulte d'une problématisation commune de la mobilité hydrogène qui mobilise principalement deux arguments : un premier d'ordre sanitaire et environnemental, celui de la qualité de l'air et de la transition énergétique, et un second d'ordre économique, relatif aux retombées en termes d'emplois et de valeur sur le territoire.

1.1.1 La mobilité hydrogène en tant que solution à des problèmes publics locaux et régionaux

La mobilité hydrogène est présentée comme une solution au problème public de pollution de l'air qui touche plusieurs territoires infrarégionaux. En 2016 – 2017, les métropoles de Lyon, de Clermont-Ferrand et de Grenoble figurent parmi les villes pour lesquelles l'État français est condamné par la Cour de justice européenne pour avoir dépassé plusieurs fois les seuils fixés en termes de polluants atmosphériques. En conséquence, six villes de la région (Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Saint-Etienne, Valence et Annecy) ont instauré sur leur territoire des zones à faibles émissions (ZFE). Ce dispositif réglementaire restreint progressivement la circulation des véhicules thermiques les plus polluants en termes d'émissions de polluants dans des zones délimitées et situées dans le centre de ces villes. Dans la plupart des cas, pour ces villes, ce sont surtout les véhicules professionnels tels que les véhicules utilitaires légers et les poids-lourds qui sont visés à court terme par ces mesures contraignantes.

¹⁵⁵ Plusieurs initiatives voient le jour dans le département de la Manche dès 2012 avec notamment une association Energie Hydro Data 2020, en 2014, qui impulse plusieurs projets hydrogène dont EAS'Hy'Mob, en 2015. Ce projet prévoit le déploiement de 15 stations à hydrogène et des véhicules associés. Symbio Fcell est partenaire ainsi que la région Normandie.

¹⁵⁶ Michelin est le premier employeur régional et ENGIE, avec la CNR dont il est actionnaire, est également un acteur économique dans le paysage régional. Le président de Michelin Jean-Dominique Sénard et le président de la Région Laurent Wauquiez coprésident l'agence régionale de développement économique.

Pour Symbio et les industriels partenaires, ces mesures restrictives font de la région Auvergne-Rhône-Alpes un terrain favorable pour déployer l'hydrogène. Les collectivités territoriales, qui mettent en place des dispositifs réglementaires, doivent être en mesure de proposer et de soutenir des alternatives aux véhicules à moteur thermique. La mobilité électrique hydrogène est présentée par les acteurs industriels comme une solution idéale. En effet, les véhicules électriques utilitaires à batterie n'existent pas ou ne présentent pas de caractéristiques satisfaisantes en termes d'autonomie et de temps de recharge pour répondre aux besoins attendus.

En appuyant leur propos sur la mise en place d'unités de production locale d'hydrogène pour la mobilité, les promoteurs du projet souhaitent mettre en avant le rôle que peut jouer l'hydrogène dans la transition énergétique et dans le déploiement des énergies renouvelables à l'échelle régionale. A cet effet, la Région et les acteurs industriels présentent l'hydrogène comme une solution à plusieurs problèmes publics. Le premier problème concerne les enjeux de décarbonation de la mobilité et de qualité de l'air dans la mesure où l'hydrogène « *a la capacité d'apporter des solutions à la fois aux usages mobilité que l'électrique n'apporte pas* » (Entretien agent 1 conseil régional AURA, octobre 2020). Le deuxième problème concerne le développement des énergies renouvelables et présente les technologies de l'hydrogène comme « *des solutions à la question de l'intermittence et de la perte d'énergie* » (Entretien agent 1 conseil régional AURA, octobre 2020). Enfin, l'hydrogène est perçu comme un « catalyseur » de la transition énergétique permettant aux territoires de tenir les objectifs fixés en termes de décarbonation de leurs usages : « *on a tout intérêt à développer la filière hydrogène parce que c'est ça qui va faire avancer la transition énergétique* » (Entretien agent 1 conseil régional AURA, octobre 2020).

Cet argumentaire ne se limite pas seulement à présenter la mobilité hydrogène comme une solution pour la qualité de l'air et la transition énergétique, mais souligne également les potentielles retombées positives du développement d'une filière hydrogène régionale en termes d'emplois. Pour cela, ses promoteurs s'appuient sur la forte présence d'industriels spécialisés sur l'hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes pour montrer les perspectives en termes de développement territorial.

« On était aux problématiques principales de qualité de l'air dans la vallée de l'Arve avec les camions, les élus qui cherchaient des solutions par rapport à ça et de transition énergétique à l'échelle du territoire. Donc on a montré aux différents élus que cette solution permettait de répondre à ces deux attentes, la qualité de l'air et la transition énergétique en créant de l'emploi, en créant de la valeur sur le territoire. » (Entretien agent de Symbio, novembre 2020).

1.1.2 Mobiliser les ressources industrielles du territoire pour légitimer un positionnement régional

Pour la Région Auvergne-Rhône-Alpes, il ne s'agit pas seulement de développer des initiatives liées à l'hydrogène mais de devenir « *la première région de France à hydrogène*¹⁵⁷ » et de faire de celle-ci un territoire exemplaire de la « *mobilité zéro émission de demain* ». Le président de Région souhaite positionner sa collectivité comme « *leader* » sur le marché émergent de la mobilité hydrogène, en favorisant l'implantation d'industriels sur le territoire et en permettant aux entreprises déjà présentes de gagner des parts de marché aux niveaux national et international.

La Région justifie notamment son investissement par le fait que 80% des acteurs de la filière hydrogène sont déjà présents en Auvergne-Rhône-Alpes, ce qui lui confère une position stratégique pour le développement de la filière. Grâce à cette spécificité territoriale et à l'engagement de la Région, l'hydrogène est présenté par les acteurs de la collectivité comme une « *ressource territoriale* » générant des retombées économiques pour le territoire.

« L'intérêt de la région c'est qu'elle a tous les atouts, elle a les acteurs de la filière, les laboratoires de recherche, elle a les industriels qui sont prêts et intéressés pour partir. Bon voilà y'a quand même beaucoup beaucoup d'atouts. Ça serait vraiment dommage de ne pas en profiter ! » (Entretien agent 1 conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes, décembre 2019).

Ainsi, la construction d'une représentation de l'hydrogène comme solution à plusieurs problèmes publics permet de légitimer l'implication de la Région sur le sujet hydrogène. Cet engagement envers l'hydrogène se concrétise avec la mise en place du projet *Zero Emission Valley* (ZEV).

« On a pris contact avec la Région et on a construit le projet avec eux : « voilà vous avez un problème avec la qualité de l'air et le transport, nous on est train de déployer une stratégie basée sur l'écosystème territorial de mobilité hydrogène pour les véhicules professionnels. Qu'est-ce que vous en pensez ? » Et il y a eu un accord immédiat entre la Région, Symbio, ENGIE, Michelin pour dire bah oui c'est un projet qui fait sens et, en plus, 80% des acteurs de la filière, à l'époque, étaient déjà présents en AURA. Il va participer à rendre cette filière plus robuste, il va participer à continuer à faire de la région AURA un des moteurs de l'Europe et répondre à des problématiques également de qualité de l'air, de qualité de vie pour tout ce qui est tourisme avec les montagnes » (Entretien agent de Michelin, mai 2020).

¹⁵⁷ La Région Auvergne-Rhône-Alpes, Communiqué de presse du 20 décembre 2017 : *Zero Emission Valley* (ZEV), le plan régional pour le déploiement de l'hydrogène, remporte l'appel à projet européen *Blending call* 2017.

Ainsi, l'émergence d'une vision hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes résulte de la rencontre entre deux grands groupes industriels fortement impliqués sur le sujet et le président de Région, pour qui l'hydrogène permet de répondre à plusieurs problèmes publics régionaux. Le projet ZEV est le fruit de ce partenariat entre industriels et Région et permet de construire une vision régionale.

En Occitanie, contrairement à Auvergne-Rhône-Alpes, la Région n'est pas directement enrôlée dans un projet de mobilité hydrogène aux côtés d'industriels. Plusieurs initiatives existent déjà sur son territoire, dont les promoteurs sollicitent des soutiens régionaux via l'intermédiaire de l'agence régionale de développement économique. Un réseau d'acteurs va alors se former autour de quelques entreprises impliquées dans les premiers projets qui, par leurs proximités géographiques et leurs ressources, créent une dynamique favorable à l'émergence de l'hydrogène.

1.1.3 L'enrôlement de la Région Occitanie par un réseau d'acteurs tarnais

Dès 2007, dans le Tarn, l'association Phyrénées (production d'hydrogène renouvelable écologique éolien et solaire) est créée dans le but de regrouper toutes les initiatives en faveur de l'hydrogène et d'en faire émerger de nouvelles au niveau du territoire¹⁵⁸. Ses membres fondateurs sont le syndicat mixte Trifyl, le Conseil général du Tarn, l'Ecole des Mines d'Albi-Carnaux, N-GHY, Airbus, Gaz de France, l'INPT et l'ARAMIP¹⁵⁹. Cette association joue un rôle d'intermédiaire entre les niveaux local et national grâce à son Président, Jean-Marc Pastor, sénateur du Tarn, qui, par son positionnement politique, promeut la filière hydrogène tarnaise à différentes échelles. Sa conviction en faveur du développement de ce vecteur énergétique et sa présence dans des arènes publiques, aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle locale, en font un acteur essentiel dans l'initiation d'une filière hydrogène en Midi-Pyrénées (entretien consultant sur l'hydrogène, décembre 2019).

En 2009, sous l'impulsion d'acteurs publics et privés¹⁶⁰, la société d'économie mixte (SEM) Ever'hy'pole (Pôle d'Essais pour Véhicules et Équipements à Énergie Renouvelable et Hydrogène) est créée. Cette société a pour objet d'assurer des services d'assistance technique dans le domaine de la certification et de l'homologation de la mobilité électrique à hydrogène, en s'appuyant notamment sur le circuit automobile d'Albi. Cette SEM souhaite se positionner en tant qu'expert spécialisé dans le domaine de l'hydrogène et organise de nombreux

¹⁵⁸ Au Journal Officiel du 15 décembre 2007, l'objet de l'association Phyrénées est « de favoriser la création d'une communauté de l'hydrogène au sein de la région de Midi-Pyrénées, communauté basée sur la mise en place de filières structurées, de la ressource amont à l'utilisation finale des produits, sur le territoire de l'association, ces filières structurées mettront en œuvre les technologies de l'hydrogène dans un esprit de développement durable ».

¹⁵⁹ Dossier de presse de la Région Occitanie, les rencontres régionales sur l'hydrogène, 10 novembre 2016.

¹⁶⁰ Au départ, les actionnaires de la SEM sont la ville d'Albi, la CCI du Tarn et la société SAFRA avec des soutiens complémentaires de la communauté d'agglomération de l'Albigeois et de la région Midi-Pyrénées.

événements pour faire connaître au grand public la mobilité hydrogène. En 2014, la société d'économie mixte met en place la première station de distribution hydrogène publique sur le circuit automobile qu'elle possède et participe à la conception et à l'homologation du système hydrogène pour le bus Businova de SAFRA¹⁶¹.

Les acteurs du Tarn ont recours à des dispositifs de communication pour faire connaître leurs actions et promouvoir l'hydrogène sur leur territoire et à un niveau plus large. Toutes ces initiatives concourent à la création d'un premier réseau dans le Tarn, dont les acteurs jouent le rôle de « traducteurs » dans le but d'inscrire l'hydrogène à l'agenda politique régional. Ainsi, en janvier 2014, au cours de l'inauguration d'un projet hydrogène¹⁶², une convention est signée entre le président de l'association Pyrénées et le président du Conseil régional de Midi-Pyrénées, dans le but de mettre en place « une coopération accrue sur l'hydrogène localement¹⁶³ ».

Une des raisons pour lesquelles les acteurs recherchent le soutien de la Région s'explique par les coûts élevés que représentent les projets hydrogène. Ces derniers sont généralement très onéreux (plusieurs millions d'euros) et nécessitent, la plupart du temps, une aide financière des pouvoirs publics. Dans ce contexte, les acteurs territoriaux qui portent ces initiatives hydrogène décident de se tourner vers d'autres échelons et plus particulièrement l'échelon régional pour trouver les soutiens dont ils estiment avoir besoin.

« Moi, ce qui m'avait fait penser que les Régions allaient jouer un rôle fondamental, en 2010, c'est quand finalement, la gestion des fonds FEDER pour tout ce qui est infrastructure, l'énergie était transférée aux régions. Donc logiquement, en Europe, on allait chercher les Régions qui allaient être un intervenant important dans les politiques de transition énergétique et l'hydrogène fait évidemment partie de la transition énergétique. » (Entretien agent d'un cabinet de conseil spécialisé sur l'hydrogène, décembre 2019).

La dynamique autour de l'hydrogène présente sur le territoire Midi-Pyrénées et le travail de persuasion de quelques figures emblématiques de la filière hydrogène du Tarn vont porter leurs fruits. Le président de la région Midi-Pyrénées donne son accord pour la réalisation d'une étude sur la filière hydrogène afin d'en apprendre davantage sur le potentiel régional d'une telle filière. Cette étude est menée à partir de 2015 dans le cadre de la commission

¹⁶¹ SAFRA est un constructeur de bus situés dans le Tarn. Après avoir élaboré des premiers bus hybrides rechargeables, l'entreprise se penche sur l'hydrogène. En 2018, ses premiers bus à hydrogène sont disponibles et elle remporte un appel d'offres du syndicat mixte des transports d'Artois-Gohelle. En 2019, six bus sont exploités par ce syndicat mixte, ce qui représente la première ligne de bus à hydrogène en France.

¹⁶² Le projet Vabhyogaz vise à produire de l'hydrogène à partir de biogaz.

¹⁶³ AFHYPAC. (2014). *Rapport d'activités de la France sur l'hydrogène et les piles à combustible : Période juin 2012 à novembre 2014*, p80.

« Systèmes Energétiques Durables et Intelligents » de la Stratégie régionale d'Innovation (SRI)¹⁶⁴. Elle est cofinancée par l'Ademe et la région Midi Pyrénées et pilotée par l'agence régionale de développement économique et de l'innovation Madeeli, qui mandate le cabinet de conseil Seiya Consulting, spécialisé sur le sujet, pour sa réalisation.

L'analyse réalisée par le cabinet Seiya Consulting montre le potentiel de développement de la filière hydrogène et les retombées économiques envisageables pour la Région. Cette étude va alors jouer le rôle de dispositif d'intéressement dans le but de susciter l'adhésion des acteurs régionaux au système d'alliances qui prend forme localement. Une nouvelle problématisation régionale de l'hydrogène se construit avec la découverte d'un potentiel industriel insoupçonné, ignorés jusqu'à présent. L'étude régionale met en évidence un tissu d'acteurs industriels régionaux intéressés ou déjà impliqués sur le sujet. Dans le domaine de l'aéronautique, l'entreprise SAFRAN montre un intérêt pour l'hydrogène, dans le domaine ferroviaire, Alstom met au point les premiers trains hybrides à hydrogène, et dans le domaine de la mobilité routière, l'entreprise régionale SAFRA construit des bus électriques à hydrogène. Les compétences industrielles et académiques, la production d'énergies renouvelables et les services pour le tourisme constituent, selon l'étude, autant de ressources disponibles pour faire de l'hydrogène un levier du développement et assurer des retombées régionales¹⁶⁵.

« Cette étude nous a permis de faire émerger des sujets qui n'avaient pas été vus du tout dans le territoire. En particulier dans le domaine de l'aéronautique avec des ambitions très fortes d'un acteur qui s'appelle SAFRAN. Et puis, on a fait émerger d'autres thématiques, alors qu'on pensait en démarrant l'étude qu'il n'y avait pas de vrai sujet de développement économique en Occitanie. » (Entretien agent d'un cabinet de conseil spécialisé sur l'hydrogène, décembre 2019).

Les résultats de l'étude sont publiés en 2016, ce qui correspond à une période de changement au niveau régional, avec la fusion des régions Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon. Le sujet hydrogène est néanmoins repris en main dès l'arrivée de la nouvelle présidente de Région, Carole Delga. Il s'intègre alors dans son programme de politique énergétique, dont l'ambition est de faire de l'Occitanie la première « Région à Énergie Positive¹⁶⁶ » (REPOS). Cette stratégie, publiée en juin 2017, vise d'ici 2050 à « réduire les consommations d'énergie au maximum, par la sobriété et l'efficacité énergétiques et de couvrir les besoins résiduels par la production

¹⁶⁴ Dossier de presse de la Région Occitanie, les rencontres régionales sur l'hydrogène, 10 novembre 2016.

¹⁶⁵ Dossier de presse de la Région Occitanie, les rencontres régionales sur l'hydrogène, 10 novembre 2016.

¹⁶⁶ Dossier de la Région Occitanie, Scénario Région à énergie positive de la Région Occitanie / Pyrénées-Méditerranées, juin 2017.

*d'énergies renouvelables locales*¹⁶⁷ ». Pour atteindre cet objectif, la Région se donne comme cibles une augmentation de la production d'énergies renouvelables, une meilleure efficacité énergétique et un contrôle de la consommation énergétique. L'hydrogène est alors identifié en tant que solution pour le stockage des énergies renouvelables produites régionalement et est considéré comme un levier nécessaire au service de cette ambition politique.

« Alors, l'hydrogène [...] c'est quelque chose qui est apparu comme étant un élément important à prendre en compte dans le volet production d'énergies renouvelables parce qu'évidemment on se heurte, quand on établit les trajectoires de multiplication par 3 de production d'ENR, on se heurte au problème de saisonnalité... d'intermittence de production. Donc face à l'intermittence de production, la question du stockage se pose et rapidement la solution hydrogène apparaît comme quelque chose qui devait être développé rapidement pour répondre à l'intermittence des productions d'énergies renouvelables. » (Entretien agent Conseil régional Occitanie, novembre 2019)

Cet exemple du cas de la Région Occitanie montre que l'enrôlement de la Région passe aussi par la structuration préalable d'un réseau d'acteurs privés et publics autour du sujet hydrogène. Ce réseau d'acteurs permet ainsi de mettre en avant les initiatives territoriales déjà élaborées et de montrer le soutien nécessaire de la Région pour faire de l'hydrogène un sujet de développement régional.

Enfin, pour ces deux cas d'étude, l'enrôlement de l'institution régionale donne lieu à l'élaboration d'un projet de mobilité hydrogène où les Régions investissent aux côtés d'industriels : le projet ZEV pour l'Auvergne-Rhône-Alpes et le projet Hyport pour l'Occitanie. En effet, dès 2016, la Région Occitanie, associée à ENGIE, développe le projet Hyport qui vise à déployer la mobilité hydrogène sur les zones aéroportuaires régionales de Toulouse-Blagnac et de Tarbes.

Pour la suite, nous nous appuyons uniquement sur l'exemple de ZEV, que nous avons étudié plus finement, afin de montrer l'ambition régionale et la structuration d'un tel projet.

1.2 Amorcer le marché de la mobilité hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes

En 2017, le projet ZEV tel qu'il est construit par la Région et les partenaires industriels vise à déployer en Auvergne-Rhône-Alpes 1000 véhicules légers hydrogène et 20 stations de distribution, dont 14 sont pourvues d'électrolyseurs afin d'assurer une production sur site.

¹⁶⁷ Définition d'un territoire à énergie positive par le comité CLER – Réseau pour la transition énergétique reprise dans le scénario de la stratégie REPOS de la Région Occitanie publié en juin 2017.

Ce projet se démarque dans la mesure où il est le premier, à l'échelle nationale, d'une telle ampleur. La plupart des initiatives de mobilité hydrogène lancées durant cette période ont pour objectif la mise en place d'une ou deux unités de stations de ravitaillement, avec quelques dizaines de véhicules associés. Par exemple, en Occitanie, le projet Hyport prévoit l'installation d'une seule unité de production et de distribution, qui ravitaille quelques véhicules. Le projet EAS'Hy'Mob impulsé en 2016 en Normandie, dont le modèle est très proche du projet ZEV, vise l'implantation de 15 unités de stations de distribution et d'une flotte de 250 véhicules associés sur la région.

Le projet ZEV projette le déploiement d'un nombre de véhicules bien supérieur à ce qui a pu être élaboré précédemment. Cette motivation à mettre en œuvre une opération d'une telle envergure s'explique aussi par l'ambition politique, et plus spécifiquement celle du président de Région, de faire d'Auvergne-Rhône-Alpes « une vitrine » de la mobilité hydrogène.

« ZEV c'est une volonté politique. C'est une volonté politique, faudrait peut-être pas le dire comme ça mais une volonté politique quand même d'un homme, du président de Région de porter le sujet, de le développer comme ça et de répondre à un appel à projet européen qui lui permettait de financer ce projet. [...] Il y a là une volonté du territoire et de la Région de s'engager sur la filière hydrogène et mobilité hydrogène et d'en faire un cheval de bataille, un territoire démonstrateur de la mobilité hydrogène. » (Entretien agent pôle de compétitivité 1 Auvergne-Rhône-Alpes, février 2021)

En s'appuyant sur les retours d'expérience du projet Hyway et en considérant que la démarche de flotte captive est la seule solution pour résoudre le « problème de la poule et de l'œuf », ses promoteurs construisent un projet avec des objectifs très ambitieux au regard des technologies déjà disponibles (entretien agent du pôle de compétitivité 2 en AURA, avril 2021). En effet, en 2017, peu de véhicules hydrogène sont présents sur le marché¹⁶⁸. Néanmoins, l'objectif de ce projet étant d'accélérer le développement de la mobilité hydrogène et d'assurer à Symbio des ventes de véhicules, les concepteurs de ZEV considèrent qu'il est nécessaire de mettre en place un nombre important de véhicules et de stations de recharge associées. Il est donc décidé d'implanter au total 20 stations et d'envisager une cinquantaine de véhicules par station, comme cela avait déjà été le cas avec le projet Hyway.

« La direction de l'énergie [du Conseil régional] a lancé un grand projet qui s'appelle le projet Zero Emission Valley, qui consiste et qui vise à amorcer le marché. Donc on n'est plus sur la recherche de l'amélioration des technologies. On est sur : il existe des

¹⁶⁸ Pour les véhicules utilitaires légers seul le Renault Kangoo ZE H2 est commercialisé et, pour les véhicules légers, il existe deux véhicules : la Toyota Mirai et la Hyundai Nexa.

*technologies, on n'a pas de marché donc comment on fait pour amorcer le marché ? »
(Entretien agent 1 conseil régional AURA, décembre 2019)*

Cette volonté politique ne se serait toutefois peut-être pas concrétisée sans l'opportunité du mécanisme européen pour l'interconnexion en Europe (MIE). Ce mécanisme, appelé en anglais « Connecting Europe facility » (CEF), vise à soutenir des projets d'infrastructures de transport, d'énergie ou de télécommunications (ou du numérique pour la seconde période)¹⁶⁹. Les acteurs industriels s'appuient sur cet appel à projets européen pour accélérer la dynamique avec la Région et déposent une candidature en juillet 2017 (entretien agent de Michelin, mai 2020). Un dossier est conçu en quelques mois entre les partenaires industriels et la Région. En décembre 2017, la candidature est retenue avec un financement européen qui s'élève à 10 millions d'euros pour un projet estimé à 70 millions d'euros sur 10 ans.

Les lieux d'implantation des stations initialement ciblés sont surtout les grandes villes et métropoles régionales (Clermont-Ferrand, Lyon, Grenoble, Annecy, Valence, etc.) situées près des grands axes routiers, principaux et secondaires, critère imposé par l'Europe pour répondre au cahier des charges du mécanisme MIE. Ces axes sont représentés en jaune dans la figure 18. L'implantation des stations doit être la plus proche possible de l'un de ces axes, quelques-unes pouvant cependant être situées sur le réseau routier national (axes bleu clair).

Par conséquent, treize des vingt stations sont situées sur un territoire métropolitain : les métropoles de Clermont-Ferrand, Grenoble, Saint-Etienne ont chacune 2 stations de distribution hydrogène contre 7 pour la métropole de Lyon. Ce maillage contraint par les critères européens s'appuie également sur une étude prospective, menée par la Région, qui prend en compte le nombre de véhicules par ville. Sans surprise, les métropoles régionales et les grandes villes sont celles qui ont un nombre de véhicules en circulation le plus élevé et, de fait, pour les concepteurs, celles qui présentent le plus grand potentiel d'utilisateurs pour le projet. En effet, l'objectif du projet est d'assurer un seuil minimal de consommation hydrogène en ciblant à la fois des flottes de véhicules effectuant beaucoup de kilomètres mais aussi des zones où le grand nombre de clients potentiels est élevé. Le projet ne cherche donc pas à desservir l'ensemble du territoire régional. La carte, représentée figure 18, montre bien que certaines zones ne sont d'ailleurs pas du tout visées et que les infrastructures se concentrent surtout sur les zones centrales et à l'est de la région. Il s'agit avant tout de résoudre le problème « d'amorçage du marché de la mobilité hydrogène » qui semble être, pour la Région, la vraie problématique du déploiement de ce vecteur énergétique.

¹⁶⁹ Il a été déployé pour la période 2014 – 2020 et reconduit pour une seconde période 2021 – 2027.

« Et quand on regarde un peu les données qu'on peut récolter sur les immatriculations et toutes les données qu'on peut disposer, clairement c'est dans les très grandes villes qu'on a du potentiel de basculement des véhicules professionnels vers l'hydrogène. Donc on a encore plus situé nos stations dans les grandes villes, on va dire, que ce qu'on avait fait au départ. Et pour des raisons qui regardent l'objectif du projet, qui était avant tout d'amorcer le marché. Donc on n'est pas parfait sur le plan de l'équité territoriale mais sauf que, voilà, la problématique de l'hydrogène, c'est qu'il faut lancer le marché. Ce projet là il est là pour ça. » (Entretien agent 1 Conseil Région AURA, décembre 2019)

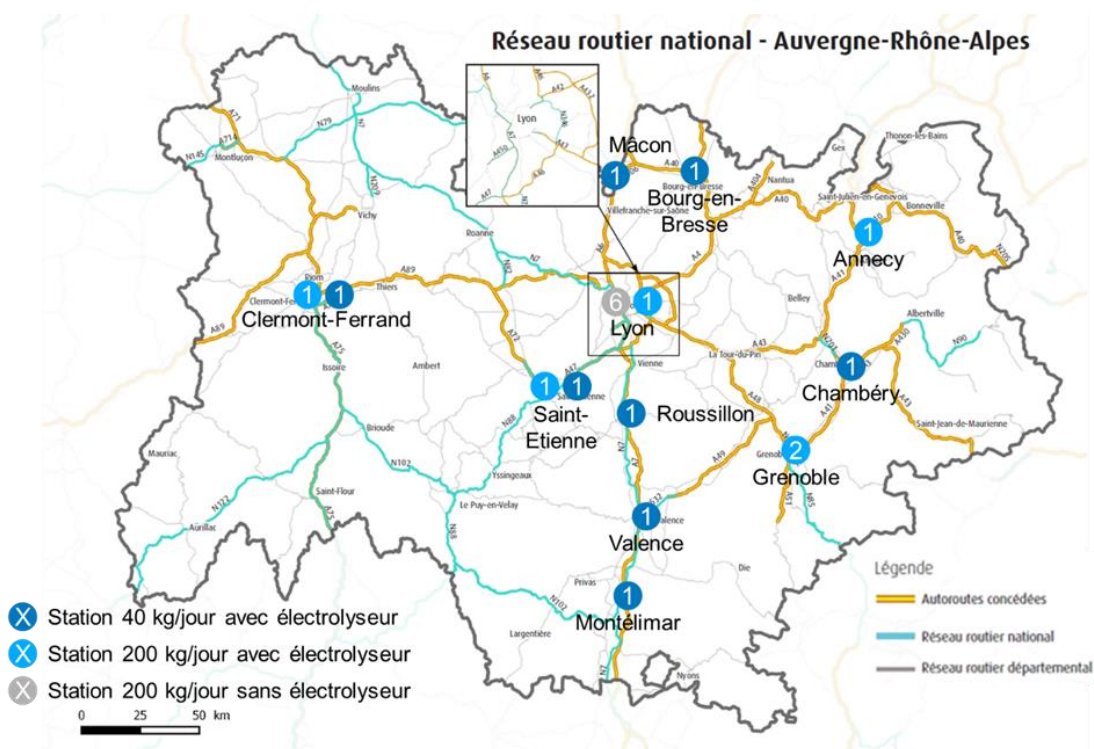


Figure 17 : carte des zones d'implantation des infrastructures du projet ZEV en juin 2019.
Source : Himpulsion

De cette manière, en considérant que seule une massification de la demande en hydrogène permet d'assurer une viabilité économique au projet, les zones d'implantation sont fondées essentiellement sur des critères économiques (présence de flottes professionnelles importantes) et spatiaux (proximité des axes routiers principaux). La prise en compte de besoins locaux n'intervient pas dans l'étape de ce projet. L'assemblage sociotechnique du projet ZEV se construit autour d'acteurs (Région, industriels) et de dispositifs stratégiques (mécanisme européen, flottes captives) qui influencent la manière de déployer l'hydrogène sur le territoire.

1.3 La SAS Himpulsion, acteur central du projet ZEV

L'élaboration du projet ZEV montre comment une problématisation commune de l'hydrogène entre les différentes parties prenantes émerge et comment se créent des alliances entre des acteurs. Dans ce contexte, une nouvelle entité voit le jour. Cette dernière, appelée Himpulsion, a pour mission de jouer le rôle d'ensemblier.

La question du portage juridique et financier se pose dès le début du projet. La Région n'ayant pas de compétences en termes de distribution d'énergie et les acteurs privés ne souhaitant pas assumer eux-mêmes le risque financier que représente le projet, une société ad-hoc est mise en place. Cette structure est une société par actions simplifiées¹⁷⁰ (SAS), appelée Himpulsion, créée en 2018. Les actionnaires sont la Région (33% du capital), Michelin (22,8 %), ENGIE (22,8 %), la Banque des territoires (16,9 %) et le Crédit Agricole (4,6%). La part majoritaire de la Région au capital de la société témoigne de l'ambition politique du président de cette collectivité de soutenir la filière hydrogène avec un investissement régional d'un montant d'environ 15 millions d'euros.

Le système d'alliances qui se constitue autour de ces trois acteurs (Michelin, ENGIE et la Région) et se concrétise à travers Himpulsion confère un rôle particulier à chacun. Michelin et ENGIE, deux grands groupes français, l'un acteur central du secteur de la mobilité, l'autre des enjeux énergétiques, apparaissent comme des garants techniques et financiers du projet. La Région est, quant à elle, considérée comme un « garant de l'intérêt général¹⁷¹ ». Elle permet de rassurer sur l'intérêt du projet, que ce soit d'un point de vue sanitaire, environnemental ou économique, en montrant qu'il répond à des enjeux publics territoriaux. De plus, l'implication de la Région est un moyen d'assurer, selon les promoteurs, une rentabilité globale du projet et non pour chaque station prise isolément. Cette manière d'envisager le projet laisse ainsi la possibilité d'assurer une forme de péréquation financière entre zones d'implantation.

Himpulsion a pour fonction d'assurer la mise en œuvre des unités de production et des stations de distribution hydrogène dans les villes déjà pré-ciblées et la vente d'hydrogène aux flottes de véhicule associées. Elle coordonne également, avec les collectivités territoriales, l'animation locale pour la recherche de clients et fait le lien avec les actionnaires pour confirmer l'installation de la station et passer la commande une fois le nombre d'utilisateurs prérequis trouvés.

¹⁷⁰ Une société par actions simplifiées est une forme de société commerciale qui permet d'être plusieurs associés. Cette forme juridique séduit pour les avantages qu'elle présente : une souplesse contractuelle, une simplification du formalisme, une responsabilité des associés limitée aux apports, une structure évolutive et une crédibilité vis-à-vis des partenaires.

¹⁷¹ Ce terme apparaît dans le dossier de candidature du projet ZEV à l'appel à projets de l'Ademe, Ecosystème de mobilité hydrogène, en décembre 2018.

Le modèle d'affaire de la société est conçu de la manière suivante : les futurs usagers de la station doivent s'engager sur une quantité minimale d'hydrogène qu'ils consommeront en fonction de leur kilométrage annuel parcouru. Cet engagement se traduit par un contrat avec la société Himpulsion d'une durée de quatre ans. Si la consommation annuelle n'est pas respectée (en deçà de ce qui était prévu), l'utilisateur devra rembourser la différence. Les subventions régionales pour les véhicules sont également échelonnées en fonction du kilométrage annuel.

La figure 19 illustre le positionnement central de la société Himpulsion. Elle assure un rôle de maîtrise d'ouvrage pour les unités de production et de distribution d'hydrogène et propose des services aux futurs usagers (vente d'hydrogène contractualisé, conseils pour expertiser leur flotte de véhicules, etc.).

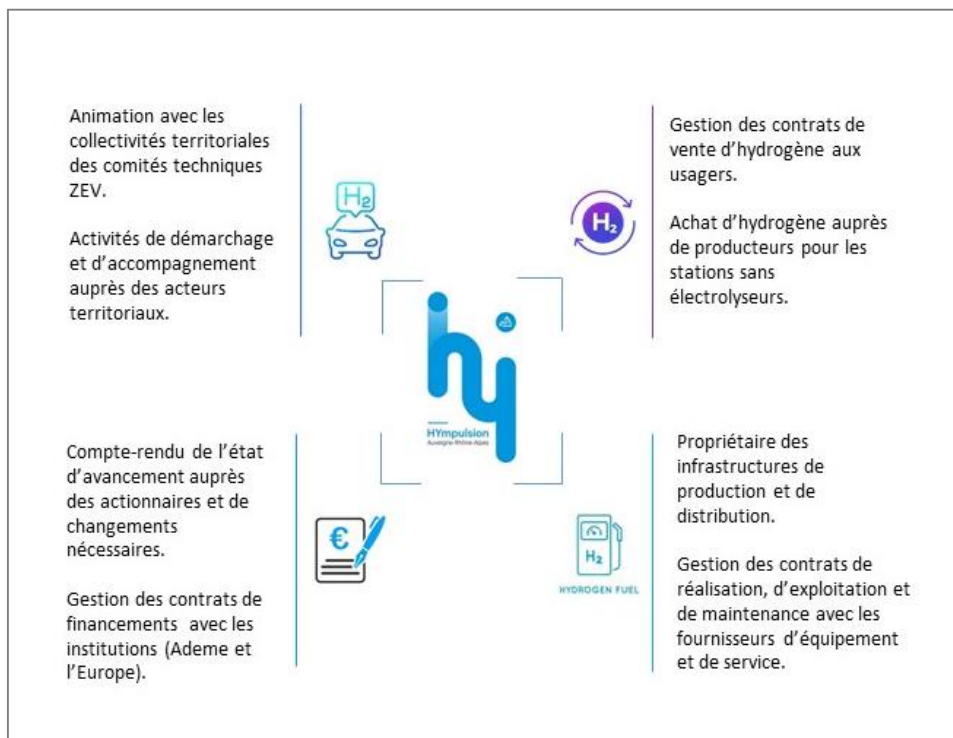


Figure 18 : rôle le SAS dans le projet ZEV.
Réalisation : auteure

La société joue donc un rôle d'interface entre les futurs usagers, les collectivités territoriales sélectionnées pour recevoir une station et les actionnaires du projet. Himpulsion se positionne comme un « porte-parole » du projet ZEV et plus largement de la mobilité hydrogène à l'échelle régionale. Son objectif est de parvenir à « intéresser » et « enrôler » aussi bien les acteurs publics que privés pour parvenir à la mise en œuvre du projet. Pour parvenir

à cela, plusieurs dispositifs sont mis en œuvre auprès des acteurs territoriaux pour les inciter à adhérer au projet, comme nous le verrons dans la partie suivante.

A travers Himpulsion, la Région souhaite se positionner comme un acteur qui « rassemble¹⁷² » l'ensemble des acteurs du projet et, plus largement, ceux de la filière hydrogène présents sur le territoire autour d'un objectif commun incarné par le projet ZEV : celui de créer une filière de mobilité hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes.

2) Mobiliser un large réseau d'acteurs : un enjeu majeur pour la réussite du projet ZEV

La société Himpulsion, pour parvenir à mettre en place les infrastructures hydrogène et à trouver des clients suffisamment nombreux, doit convaincre les acteurs territoriaux (collectivités territoriales et futurs usagers) situés dans les villes d'implantation ciblées.

2.1 Travail d'intéressement et d'enrôlement des acteurs territoriaux

Dans les discours tenus par les acteurs de la Région en charge du projet, trois « piliers » sont souvent présentés comme des éléments essentiels à la « réussite » du projet : la mise en place d'un partenariat public-privé pour porter les infrastructures, le concept de « pionnier » pour les futurs clients aidés par des subventions pour l'achat de leur véhicule et l'implication des territoires grâce à une gouvernance locale du projet. Le premier pilier ayant déjà été abordé précédemment nous souhaitons à présent nous focaliser sur ces deux derniers points pour comprendre les actions mises en œuvre dans le but de créer une coalition d'acteurs autour de ZEV.

2.1.1 Valoriser les « pionniers » du projet

Le modèle économique du projet est calculé pour que chaque station accueille au minimum 50 véhicules en recharge régulière. Pour mener à bien le projet, il est nécessaire de trouver un nombre de clients suffisants pour l'achat de véhicules hydrogène qui viendront s'avitailer aux stations Himpulsion. Ces 50 premiers usagers sont appelés, par les agents d'Himpulsion,

¹⁷² Communiqué de presse de la région Auvergne-Rhône-Alpes, 20 décembre 2017. Zero Emission Valley (ZEV), le plan régional pour le déploiement de l'hydrogène, remporter l'appel à projet européen Blending Call 2017.

« des pionniers ». Ce terme de pionniers est notamment utilisé en économie par Everett Rogers (1962) pour analyser la diffusion d'une innovation et son appropriation « par et dans un milieu social » (Gaglio, 2011). Les pionniers désignent alors les premiers acteurs qui prennent le risque et se saisissent de cette invention (Gaglio, 2011). Ici, le projet ZEV et les dispositifs mis en œuvre envers les pionniers ont pour objectif de construire ce « milieu social ». L'objectif est de « *mettre les clients au cœur du projet, et susciter le sentiment d'appartenance à une communauté d'utilisateurs précurseurs*¹⁷³ ».

En reprenant le terme de pionniers, les porteurs de projets cherchent à mettre en avant le côté innovant de la démarche. Ils montrent que ces premiers clients souhaitent avant tout à valoriser leur image en montrant qu'ils prennent une part de risque en participant au projet. « *(Les pionniers) ne sont pas là pour économiser, gagner des sous, ils sont là pour en gagner différemment sur du market, sur de l'image, sur la relation politique* » (entretien agent 2 Conseil régional AURA, décembre 2019). Dans cette optique, les dispositifs de communication sont pensés pour mettre en avant les premiers acquéreurs en leur garantissant une visibilité et une publicité. C'est le cas, par exemple, avec les prospectus distribués pour promouvoir l'arrivée d'une station à Moutiers, dans lesquels des témoignages des premiers usagers sont rapportés. Dans le même registre, lors de webinaires de présentation du projet à la métropole de Saint-Etienne, un usager de la station de Chambéry est intervenu pour faire part de son expérience. Himpulsion s'appuie donc sur la valorisation de l'image des premiers usagers en tant que pionniers pour « enrôler » des clients en leur donnant le sentiment d'appartenir à une même « famille », constituée autour du projet ZEV.

Pour Himpulsion, l'enjeu est de créer une forme d'engagement avec les pionniers pour éviter toute contre-référence, qui peut s'avérer néfaste lorsqu'une innovation commence à se diffuser (entretien agent 2 conseil régional AURA, décembre 2019). Une des craintes des initiateurs du projet ZEV est de mettre en place des stations qui ne sont pas utilisées. Cela peut être le cas si les clients n'utilisent pas leur véhicule ou s'ils vont s'avitailer à d'autres stations hors du réseau mis en place par ZEV. Pour éviter une telle situation, Himpulsion a mis en place un dispositif d'engagement sous la forme d'une contractualisation avec ses clients. Pour Himpulsion, ce contrat est à la fois une justification pour construire une station hydrogène dans le lieu choisi grâce aux engagements reçus et une assurance sur les futures quantités d'hydrogène vendues. Cette contractualisation n'est d'ailleurs pas uniquement passée avec Himpulsion mais aussi avec la Région, puisqu'elle détermine le niveau de subvention qu'un client peut obtenir en fonction du kilométrage annuel auquel il s'engage. En échange, Himpulsion garantit d'assurer un « prix de pionniers » du kilogramme d'hydrogène aux stations. En effet, le prix de vente de l'hydrogène est situé entre 10 et 12 euros/kg en fonction du type d'utilisation. Ce prix ne reflète pourtant pas la réalité puisque

¹⁷³ Synthèse du bilan de la phase 1 du projet Hyway 2014 – 2017.

le coût de production à la pompe est environ le double. En garantissant un prix stable, c'est ainsi un engagement réciproque qui est passé entre Hympulsion et les pionniers.

Les pionniers bénéficient également de subventions européennes pour l'achat de véhicules hydrogène. Ces subventions n'imposent pas un seuil minimal de distance annuelle à parcourir, mais ne sont attribuées qu'aux 50 premiers véhicules pour chaque station. Ainsi, les porteurs de projets jouent également sur le fait que seuls les pionniers, c'est-à-dire ceux faisant partie du cercle restreint des 50 premiers et perçus comme les plus audacieux, auront le droit à des avantages financiers supplémentaires.

Les subventions européennes et régionales, la contractualisation d'un prix de l'hydrogène et la construction d'une image de « pionniers » constituent différents éléments du dispositif d'intéressement » du projet ZEV à destination des futurs usagers. L'objectif, pour la société, est de garantir à ces premiers usagers des avantages pour les faire adhérer au projet et de faire ainsi baisser le coût de production de l'hydrogène. De plus, le système de pionniers s'avère aussi être un levier d' enrôlement dans la mesure où on leur attribue un rôle, celui de pionniers qui participent à la promotion du projet mais aussi à sa réussite.

2.1.2 Faire adhérer les collectivités territoriales ciblées au projet

Cette intention de constituer un réseau, « une communauté » d'utilisateurs autour du projet, se trouve également à l'œuvre envers les collectivités territoriales.

Pour Hympulsion, la réussite du projet est conditionnée par l'implication des acteurs locaux pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit de s'appuyer sur leur réseau et leur connaissance du territoire pour l'animation locale du projet. Les collectivités territoriales permettent aux agents d'Hympulsion d'avoir accès à un carnet d'adresses important des forces en présence sur les territoires d'implantation et de prospecter auprès de ces derniers. Le « pilotage local » décrit par les agents de la Région ou Hympulsion est majoritairement un travail d'animation. Un agent de la collectivité est chargé d'organiser des comités techniques avec les acteurs présents sur le territoire pouvant mettre à profit leurs réseaux pour le projet (Chambre des Métiers et de l'Artisanat, Chambre du Commerce et de l'Industrie, concessionnaires, autres services de la collectivité, etc.). L'enjeu principal de ces réunions est de faire régulièrement le point sur l'état d'avancement des recherches de clients et sur les actions mises en œuvre en termes d'animation. Le travail d'animateur passe par l'organisation d'événements pour « promouvoir localement la démarche et partager les valeurs¹⁷⁴ » afin de récolter le plus possible des lettres d'engagement de clients et pour faire connaître l'hydrogène auprès du grand public. Dans cette perspective, les agents d'Hympulsion et de la Région développent plusieurs

¹⁷⁴ Dossier de candidature du projet ZEV à l'appel à projets de l'Ademe, 2018

arguments pour sensibiliser les collectivités locales et promouvoir leur démarche, en insistant sur le caractère attractif que peut susciter un projet hydrogène sur leur territoire¹⁷⁵.

En outre, les collectivités locales ciblées participent à la recherche d'emprises foncières, sujet qui n'est d'ailleurs pas négligeable dans les villes d'implantation choisies, où le foncier peut être difficile à trouver. L'appui de la collectivité peut alors être déterminant, dans la mise à disposition d'un terrain qui répond aux critères du cahier des charges d'Hypulsion.

Enfin, les collectivités territoriales constituent surtout de potentiels clients pour le projet ZEV, compte tenu des obligations réglementaires sur le verdissement des flottes de véhicules détenus par les acteurs publics¹⁷⁶. A travers les flottes de véhicules légers ou lourds (bus ou bennes à ordures) dont elles disposent, elles peuvent soutenir le projet en acquérant des véhicules hydrogène. Elles ont également un levier d'action considérable à travers les contrats de délégation de service public qu'elles signent pour imposer des critères sur les motorisations choisies par les délégataires.

Pour toutes ces raisons, l'implication des collectivités locales infra-régionales apparaît comme l'une des conditions de réussite du projet ZEV.

« Donc là il faut travailler le territoire. La Région, elle est d'accord pour payer mais elle ne peut pas se substituer au territoire pour faire une station donc il faut qu'il y ait des acteurs territoriaux qui s'impliquent. Même si la Région elle est d'accord pour payer, ça ne suffit pas, il faut qu'il y ait une implication locale. » (Entretien agent 1 conseil régional AURA, décembre 2019). »

L'adhésion des collectivités territoriales est jugée par Hypulsion comme nécessaire pour permettre la mise en œuvre des stations de distribution (entretien agent 2 du Conseil régional AURA, décembre 2019). Même si les villes d'implantation ont été identifiées par Hypulsion au moment du dépôt de la candidature européenne, la cartographie n'est pas définitive. Les villes ciblées par Hypulsion doivent, en retour, « prouver » leur volonté de faire partie du projet ZEV et de s'engager dans l'hydrogène. Ainsi, la notion « d'engagement » est mentionnée plusieurs fois durant des entretiens, notion qu'il nous semble important de questionner. Il est attendu des collectivités territoriales pré-ciblées par Hypulsion qu'elles fassent preuve d'une motivation à prendre part dans le projet ZEV.

¹⁷⁵ Ibid.

¹⁷⁶ LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités et la LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. Cette loi impose un quota de véhicules à faibles émissions pour les flottes des organisations publiques et privées au-dessus d'un certain nombre de véhicules.

« Non, la Région, ce qu'ils demandent c'est que ceux [les collectivités territoriales] qui veulent des stations s'organisent et prouvent à la région qu'ils ont l'écosystème. Et je trouve ça très pertinent comme ça eux après ils ont juste à donner leur feu vert comme quoi ça correspond aux besoins, y'a suffisamment de véhicules, on est sur un axe passant, enfin voilà leurs critères qui sont les leurs je ne les connais pas précisément. »
(Entretien agent Chambéry Grand Lac Économie, décembre 2019)

L'expression de cette motivation passe à la fois par le soutien politique des élus locaux et par la mise à disposition d'agents pour participer à la mise en œuvre du projet localement. Concrètement, la collectivité territoriale accueillante doit être prête à animer un réseau avec des acteurs locaux pour trouver des usagers, aider les agents d'Hypulsion dans la recherche de fonciers disponibles et participer directement au projet en achetant des véhicules hydrogène. Il s'agit alors d'un véritable enrôlement par les porteurs du projet qui attribuent un rôle aux agents des collectivités territoriales dans la conduite du projet ZEV.

A travers la recherche d'adhésion et d'implication des collectivités, Hypulsion tente de tisser des alliances avec ces acteurs locaux. De cette façon, comme pour les pionniers, les agents d'Hypulsion souhaitent faire adhérer ces derniers à une représentation commune autour du projet ZEV. Au départ, un « club de chefs de projet locaux » était organisé pour permettre un échange sur les pratiques des collectivités recevant une station (entretien agent 2 conseil régional AURA, décembre 2019). Cette initiative a rapidement été arrêtée faute de temps de la part des chefs de projets locaux. En effet, l'animation du projet ZEV s'ajoute en général aux autres missions qu'ont les agents des collectivités locales, entraînant de fait des difficultés à tout mener de front. L'enrôlement des acteurs locaux au projet ZEV n'est donc pas chose aisée et va entraîner des modifications dans la cartographie du projet.

2.2 Des jeux politiques qui viennent redessiner l'assemblage sociotechnique

Parmi les trois « piliers » considérés comme nécessaires par la Région pour la réussite du projet, le dernier concerne la gouvernance locale. Les collectivités infra-régionales apparaissent ainsi comme des intermédiaires indispensables entre Hypulsion et les acteurs économiques présents sur leur territoire. Néanmoins, celles-ci ne sont pas toujours à la hauteur des attentes, comme nous allons le constater à présent.

2.2.1 Les collectivités territoriales volontaires : le cas de la ville de Moutiers

Le cas de Moutiers illustre celui d'une collectivité volontaire, qui témoigne spontanément son appui au projet. Au départ, la ville n'est pas destinée à recevoir une station du projet ZEV mais son maire, également conseiller régional et proche politiquement du président de Région¹⁷⁷, montre sa motivation pour que la ville soit incluse dans le projet. Il souhaite donner une nouvelle image à sa ville, durable et innovante, en promouvant la mobilité douce et des alternatives aux moteurs thermiques (entretien agent mairie de Moutiers, octobre 2020). Moutiers est présentée comme une ville où un nombre important de voitures transite chaque jour¹⁷⁸ et comme étant un « cœur professionnel » malgré un faible nombre d'habitants (entretien agent 2 conseil région AURA, décembre 2019). Ces éléments suffisent pour justifier son intégration dans le projet ZEV. Localement, l'implication de Moutiers au sein du projet régional est justifiée par la volonté du maire d'améliorer la qualité de l'air des vallées de montagne en proposant des solutions de mobilité décarbonées adaptées au climat et à la topographie montagnarde¹⁷⁹.

Le portage politique et les attentes de résultat de la part du maire participent à la mise en place d'une forte implication de la collectivité territoriale notamment avec la mise à disposition partielle d'un agent pour le projet (entretien agent ville de Moutiers, octobre 2020).

De la même manière, la Métropole de Saint-Etienne exprime son appui au projet. A l'issue de plusieurs sollicitations d'acteurs économiques qui lui demandent de s'engager sur l'hydrogène, celle-ci choisit de soutenir le projet régional et de travailler avec Himpulsion (entretien agent 1 Métropole de Saint-Etienne, décembre 2020). En septembre 2020, lors de la semaine de la mobilité organisée par la collectivité, les agents de la Métropole organisent un webinaire pour présenter le projet ZEV et l'implication de leur institution. Le chef de projet local commence sa présentation en dressant un état des lieux de la pollution de l'air sur la zone métropolitaine et des enjeux sanitaires associés. La Métropole s'approprie ainsi les arguments mis en avant par Himpulsion et la Région pour montrer comment l'hydrogène s'inscrit dans une politique d'amélioration de la qualité de l'air et répond aux futures contraintes imposées par la zone à faible émission (ZFE).

Les villes de Moutiers et de Saint-Etienne s'inscrivent pleinement dans la dynamique régionale de l'hydrogène. Dans les deux cas, les agents sont pleinement actifs sur le projet grâce à un portage politique fort. Ce soutien politique passe par une adhésion au projet

¹⁷⁷ Fabrice Pannekoucke, maire de Moutiers et conseiller régional est également Vice-président du Comité de massif des Alpes mais aussi Président Délégué aux relations Institutionnelles du Cluster Montagne depuis 2020 et, depuis octobre 2021, Président d'Auvergne-Rhône-Alpes Tourisme.

¹⁷⁸ D'après des estimations données lors d'un entretien avec un agent du conseil régional, 25 000 véhicules et camions transiteraient par Moutiers quotidiennement.

¹⁷⁹ La Région Auvergne-Rhône-Alpes (2019, 12 juillet). *La Région investit pour construire une station de recharge hydrogène à Moutiers en Savoie*. Communiqué de presse.

régional des élus et par une communication dans la presse locale, perçues comme des « vecteurs d'accélération » pour le projet et pour la recherche d'usagers (entretien agent Himpulsion, octobre 2020). Cette adhésion se traduit également dans les actions menées par les services de la collectivité aux côtés d'Himpulsion. Les agents locaux en charge du projet convoquent les comités techniques (cotech) avec la SAS, proposent des fonciers disponibles appartenant à la collectivité territoriale, mettent à disposition leurs contacts pour aider les agents de la SAS à trouver des usagers et organisent régulièrement des événements autour de l'hydrogène. Certains agents participent pleinement à la recherche d'usagers en appelant directement les acteurs économiques du territoire pour les informer du projet et les inciter à s'engager (entretien agent de la ville de Moutiers, octobre 2020). C'est donc un investissement conséquent de la part des collectivités territoriales, qui nécessite l'aval de l'exécutif, malgré des agendas parfois très chargés.

L'exemple de Moutiers met aussi en avant les jeux politiques entre acteurs et la manière dont certaines collectivités parviennent à convaincre de la pertinence de leur participation pour faire partie du projet alors qu'elles n'étaient pas ciblées au départ. La proximité politique de certains élus locaux avec ceux de la Région facilite l'implantation et l'adhésion locale au projet ZEV. A titre d'exemple, le maire de Chambéry siège au Conseil régional et fait partie de la même famille politique que le président de Région. Sa proximité partisane favorise aussi la mise en place très rapide de la première station de production et de distribution de ZEV à Chambéry.

2.2.2 La Métropole de Lyon : des ambitions politiques différentes concernant la mobilité hydrogène

A l'opposé, l'entente avec d'autres collectivités apparaît plus difficile, là où des clivages politiques peuvent exister, comme c'est le cas avec la Métropole de Lyon par exemple, où les relations entre le président de Région et les différents présidents de la Métropole¹⁸⁰ successifs ne semblent pas aisées.

« Au niveau politique, c'est l'effet d'entraînement ou l'engouement que peut lancer la région Auvergne-Rhône-Alpes qui, effectivement, a un effet d'entraînement avec les collectivités qui sont plutôt du bord politique de la région. [...] Et ceux qui ne sont pas du même bord politique que la Région, eux, ils ont tendance, effectivement, à voir, enfin à regarder le sujet de leur angle qui n'est pas forcément le sujet de la Région. Donc on a un peu des visions qui peuvent être

¹⁸⁰ Jusqu'en juin 2020, le président de la Métropole de Lyon était Gérard Collomb puis lui a succédé Bruno Bernard, tous les deux issus de partis politiques différents.

différentes. » (Entretien agent 1 Ademe Auvergne-Rhône-Alpes, décembre 2020).

La Métropole de Lyon est un exemple du poids de la dimension politique dans le processus d'intéressement, qui souligne les divergences stratégiques concernant le développement de la mobilité hydrogène à l'échelle locale. Initialement, la Métropole est ciblée pour accueillir 7 stations de distribution, soit près d'un tiers des stations du projet. Sa forte densité et la présence d'un nombre important de véhicules ont poussé les concepteurs de ZEV à faire de la Métropole un lieu d'implantation majeur pour le projet (entretien agent 2 conseil régional AURA, décembre 2019). La mise en place de restrictions réglementaires (zone à faible émission) sur le territoire métropolitain, dès 2020, et la présence de la Compagnie nationale du Rhône¹⁸¹(CNR), partie prenante de *Hyway* et impliquée sur le sujet hydrogène, constituent *a priori* des atouts importants pour l'engagement de la collectivité métropolitaine dans le projet ZEV. De plus, la CNR a pour objectif l'installation d'un électrolyseur à Lyon, ce qui permet d'envisager une mutualisation de la production à destination des stations de distribution ZEV prévues sans électrolyseur sur le territoire.

Si, le projet ZEV apparaît comme parfaitement adapté au cas de la Métropole, sa mise en œuvre ne s'avère pas aisée. Le clivage politique entre la Métropole de Lyon et la Région freine la mise en place des comités de pilotage locaux. Le nouvel exécutif, élu durant l'été 2020, n'apporte pas son soutien au projet régional, sans toutefois s'y opposer fermement. En conséquence, sans appui officiel du politique, aucune communication sous l'égide de la Métropole n'est entreprise et l'agent ciblé par *Hympulsion* pour être le relais local n'a que très peu de marge de manœuvre dans sa recherche de futurs usagers.

Ce manque d'appui s'explique notamment par une divergence concernant les politiques de mobilité urbaine entre la Métropole de Lyon et la Région. L'ambition du Président de la Métropole, issu du parti Europe Ecologie Les Verts, est de réduire le nombre de véhicules individuels sur son territoire et non pas de l'encourager en promouvant un changement de motorisation, comme c'est le cas avec l'hydrogène. Pour la Métropole, l'hydrogène doit être réservé prioritairement à l'industrie et, dans une moindre mesure, à la mobilité lourde (entretien agent 2 Métropole de Lyon, janvier 2021). Dans cette perspective, la Métropole

¹⁸¹ La CNR est un énergéticien historique au niveau de la vallée du Rhône. Premier producteur d'énergies renouvelables via sa production d'hydroélectricité et aménageur du Rhône, cet industriel s'intéresse aussi à l'hydrogène. Cette entreprise publique-privée (plus de 49% du capital détenu par ENGIE, environ 33% par la Caisse des dépôts, le reste étant partagé par 183 collectivités dont la Région) a pour objectif de développer le stockage des énergies renouvelables via l'hydrogène, à moyen terme. La CNR a pour projet la construction de stations hydrogène, dans la continuité de celle développée dans le cadre d'*Hyway*, sur le port de Lyon, et la construction d'une usine de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau au sud de Lyon pour alimenter les stations ZEV.

développe, à partir de 2021, son propre projet hydrogène au niveau d'une zone industrielle, la Vallée de la Chimie située dans le sud de Lyon. La Métropole réunit un ensemble d'acteurs industriels présents sur ce territoire, producteurs ou consommateurs d'hydrogène, dans le but de développer une plateforme de production d'hydrogène renouvelable.

C'est donc une autre problématisation de l'hydrogène qui est développée au sein de la Métropole de Lyon, celle de décarboner en premier lieu l'hydrogène industriel et de ne pas miser sur la mobilité, contrairement à la Région. Ces divergences politiques ont un impact direct sur le dimensionnement du projet ZEV puisqu'en 2021, les sept stations prévues initialement à Lyon sont réduites au nombre de 3. Le désintérêt de la Métropole lyonnaise contraint les agents d'Hypulsion à revoir la cartographie du projet et à répartir les quatre autres stations prévues dans d'autres villes exprimant un soutien plus marqué.

L'adhésion au projet régional ZEV révèle donc l'importance de la dimension politique dans l'analyse des assemblages sociotechniques autour de l'hydrogène. Dans le cas de Moutiers, l'hydrogène devient une « ressource politique » pour le maire et légitime son action par la dynamique de décarbonation dans laquelle il engage la ville (Amand, 2021) A l'inverse, pour d'autres collectivités, l'hydrogène ne s'inscrit pas dans la vision qu'elles portent politiquement de la mobilité et vient donc contraindre le projet à modifier l'implantation initiale. Les enjeux politiques apparaissent, dans le cas du projet ZEV, structurants, dans la mesure où ils viennent cadrer la spatialisation du projet.

Ces oppositions politiques sont également révélatrices de la manière dont le projet ZEV, élaboré sans concertation, se heurte à la réalité. Comme mentionné précédemment, ce projet a été pensé entre la Région et les deux industriels ENGIE et Michelin, sans échange collectif avec les collectivités territoriales, qui, pourtant allaient être pleinement ciblées par les mesures mises en œuvre. Finalement, les obstacles rencontrés entraînent une quasi-inversion du rapport de force prévu initialement. Les porteurs de projet attendaient que les collectivités démontrent elles-mêmes leur intérêt et se voient finalement contraints de trouver des moyens pour les faire adhérer au projet.

L'enrôlement des différentes collectivités territoriales autour de la problématisation de l'hydrogène portée par le projet ZEV et la Région n'est donc pas un processus linéaire et simple. Celui-ci se confronte à des configurations politiques qui viennent renforcer ou fragiliser le système d'alliances. La non adhésion de l'exécutif de la Métropole de Lyon, qui constitue une composante majeure du projet, va contraindre les acteurs à repenser les lignes du projet.

Cette « matrice » sociotechnique initiale n'est pas seulement redessinée au gré des jeux politiques mais également par les contraintes économiques rencontrées. Le modèle d'affaire élaboré en 2017 fait face à des difficultés.

2.3 A la recherche d'un modèle économique robuste : adaptations et recadrages

Le modèle d'affaire du projet ZEV, élaboré lors de la candidature à l'appel à projets européen, apparaît également trop fragile, au regard de l'environnement économique dans lequel l'opération se développe. Lorsqu'ils font « tourner » le modèle d'affaire, c'est-à-dire lorsqu'ils simulent son évolution sur plusieurs années, ses concepteurs constatent qu'il est nécessaire de trouver des solutions pour le « dérisquer » (entretien agent 1 conseil régional AURA, décembre 2019). Autrement dit, il s'agit de le rendre plus robuste d'un point de vue financier en termes de rentabilité ou de profitabilité.

2.3.1 Le recours aux dispositifs nationaux : entre contrainte et opportunité

Hormis les risques étudiés, c'est également la réalité du marché qui contraint les porteurs du projet à revoir les hypothèses et les amène à chercher d'autres sources de financement. A titre d'exemple, l'une des premières estimations concernant le coût des stations est rapidement revue à la hausse. Durant l'été 2018, les porteurs du projet mènent une première consultation pour avoir une vision plus claire des coûts d'investissements pour les 20 stations de distribution et les 14 électrolyseurs prévus. Les chiffres obtenus auprès de trois fournisseurs indiquent une augmentation de 20 % par rapport aux prévisions initiales¹⁸². Par conséquent, pour renforcer le modèle économique et lui assurer une viabilité et une bonne rentabilité en prenant en compte les risques et surcoûts éventuels, une des solutions est d'avoir recours à des subventions publiques complémentaires aux subventions européennes. Les aides communautaires ne couvrent que 20 % des investissements prévus pour la production et la distribution de l'hydrogène, alors que, d'un point de vue réglementaire, ce taux peut aller jusqu'à 40 %. Les porteurs du projet se saisissent donc de l'opportunité offerte par l'appel à projets national de l'Ademe « écosystèmes de mobilité hydrogène » pour garantir un meilleur taux de subvention pour les infrastructures.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'objectif pour l'Ademe est de montrer aux acteurs étatiques la pertinence de la logique d'écosystèmes hydrogène. Dans cette optique, pour l'agence, devenir partie prenante d'un projet de grande ampleur lui permet de participer aux comités de pilotage et de renforcer ainsi son expertise en bénéficiant de retours d'expérience concrets. C'est aussi un moyen de légitimer son rôle pour le déploiement de l'hydrogène en tant qu'expert, grâce aux projets qui dépassent le stade de démonstrateur.

« Et donc eux, ils sont intéressés parce que le projet ZEV c'est le grand projet zéro émissions hydrogène et donc ça les intéresse de recueillir les retours d'expérience sur les

¹⁸² Nous ne savons pas quelle est l'origine d'une telle augmentation et si les caractéristiques des stations ont été modifiées.

projets comme ça. Donc eux, ils étaient très intéressés parce qu'ils ont leur expertise à entretenir et quand y'a un projet qui dépasse un peu les normes, c'est leur expertise qui est concernée. Et donc eux, ils étaient demandeurs qu'ils puissent rentrer quelque part en tant que financeur de ce projet et nous on était demandeur aussi parce qu'on avait besoin de dérisquer. » (Entretien agent 1 conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes, décembre 2019).

Ainsi, à l'automne 2018, le projet ZEV est lauréat de l'appel à projets national et reçoit une subvention d'environ 14 millions d'euros par l'Ademe. Cette aide est bien supérieure à celle des autres lauréats du même appel à projet, qui reçoivent des sommes n'excédant pas 5 millions d'euros¹⁸³. L'agence témoigne ainsi de son intérêt pour ZEV et de sa volonté de prouver qu'ils « croient au projet » et d'envoyer « un signal fort » de leur ambition concernant l'hydrogène (entretien agent 2 Ademe Auvergne-Rhône-Alpes, février 2021). Pour l'agence nationale et le ministère de la Transition Écologique, le soutien apporté au projet ZEV est un moyen de montrer publiquement leur engagement pour la filière hydrogène (entretien agent 2 Ademe Auvergne-Rhône-Alpes, février 2021).

Cet appui financier concerne à la fois l'aide au développement des stations et unités de production hydrogène ainsi que des subventions pour 200 véhicules supplémentaires. En effet, les 1000 véhicules prévus dans le projet ZEV bénéficiant déjà du taux maximal de subventions grâce aux dispositifs européens et régionaux, ils ne peuvent pas faire l'objet de soutien financier additionnel. Par conséquent, Himpulsion décide d'inclure 200 véhicules supplémentaires dans le dossier de candidature de l'Ademe. Pour cette nouvelle flotte, il est envisagé de cibler d'autres usages de mobilité professionnelle avec deux bus, une cinquantaine de taxis et d'autres véhicules utilitaires, en fonction de ce qui est disponible sur le marché en 2019 (entretien agent 1 Ademe AURA, décembre 2020).

L'Ademe devient ainsi partie prenante dans le pilotage du projet, ce qui lui permet de pouvoir en proposer des modifications. Sa participation et l'ajout de 200 véhicules supplémentaires laissent une marge de manœuvre pour adapter les usages en fonction des dynamiques industrielles et nationales, comme nous le verrons dans les chapitres suivants (entretien agent 2 Ademe, AURA, février 2021). L'agence justifie ce choix par la volonté de ne pas être trop « prescriptive » pour un premier appel à projets hydrogène et de laisser la place « aux jeux d'acteurs » (entretien agent 1 Ademe, juin 2020).

¹⁸³ Nous ne connaissons pas le budget des autres projets lauréats mais le montant de la subvention allouée par l'Ademe a été souligné comme important lors de plusieurs entretiens.

2.3.2 Les écosystèmes de mobilité hydrogène : des cadrages descendants et ascendants

Les coûts onéreux des technologies de l'hydrogène contraignent les collectifs d'acteurs qui se forment autour d'un écosystème de mobilité hydrogène à s'élargir et à trouver des solutions pour le financement de leur projet. Ainsi, la recherche de subventions nationales ou européennes devient presque systématique dans le cas de l'hydrogène. L'exemple de ZEV a montré que les financements européens, régionaux et privés ne suffisent pas à assurer un équilibre économique. Dans ces conditions, les porteurs de projet ont recours à plusieurs sources de financement, afin de rendre le coût de l'hydrogène pour les usagers plus abordable, c'est-à-dire avec un surcoût par rapport au véhicule thermique le plus faible possible.

« La phase [du projet] qu'on connaît actuellement, en gros, c'est de maximiser les subventions publiques. [...] Donc à chaque fois on engrange des subventions. On n'a pas le choix, parce que le coût d'investissement reste quand même très important. »
(Entretien agent Métropole de Montpellier, mai 2020).

L'opportunité qu'offrent les appels à projets européens ou nationaux permet de cristalliser des initiatives et de structurer des collectifs autour d'un projet hydrogène. Par exemple, en Occitanie, les initiatives évoquées précédemment (I.1.3) profitent chacune de financements nationaux et européens : le projet de station dans l'Aveyron profite des financements disponibles par le FCH-JU et le projet de station en Ariège bénéficie du programme européen Interreg. C'est le cas également pour le projet d'écosystème à Montpellier pour lequel les appels à projets de l'Ademe ont été perçus comme une opportunité en faveur de l'hydrogène. Ces mécanismes, européens ou nationaux, sont donc de véritables catalyseurs des projets hydrogène. Ils apportent une sécurité financière supplémentaire sans laquelle certains acteurs privés et publics ne se lanceraient pas. Les appels à projets sont donc des instruments à l'appui de processus d'intéressement et de constitution d'alliances transcalaires autour de l'hydrogène.

Ces subventions ont néanmoins un impact sur la trajectoire des projets dans la mesure où les acteurs qui les proposent peuvent imposer des cadrages à travers des cahiers des charges. Comme nous l'avons vu pour l'opération ZEV, les financements européens fixent des dimensions à la fois spatiales – les stations doivent être situées près des axes routiers principaux – et temporelles – les financements ont une durée limitée et le projet doit être terminé avant 2024. Dans ces conditions, ces mécanismes financiers recadrent les assemblages sociotechniques des projets hydrogène en excluant certaines villes trop éloignées des axes principaux.

Ces logiques ne sont toutefois pas uniquement descendantes, dans la mesure où les projets territoriaux participent eux-mêmes au cadrage des dispositifs nationaux et européens. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les projets *Hyport* et *ZEV* sont parmi les premiers projets français fondés sur le modèle d'écosystème. Par conséquent, ils sont sources de retours d'expérience qui viennent influencer les appels à projets nationaux voire européens. L'exemple du projet *ZEV* illustre ces dynamiques ascendantes. Les lettres d'engagement des futurs usagers pour garantir une consommation minimale ainsi que l'échelonnement des subventions en fonction de seuils sont repris par la suite dans les appels à projets de l'Ademe.

De la même manière, *Hyport* est la première opération à être labellisée par l'Ademe en 2019. Elle permet d'alerter les acteurs nationaux et européens sur les limites de ces dispositifs, notamment concernant certains aspects réglementaires. Ces projets territoriaux initiés en Auvergne-Rhône-Alpes et en Occitanie participent donc au cadrage de la filière hydrogène au niveau national voire européen par les retours d'expérience qu'ils apportent.

Plusieurs éléments politiques et institutionnels participent à la légitimation des Régions en tant qu'échelle jugée pertinente pour le déploiement de l'hydrogène. Des membres du consortium H2MF diffusent l'idée que l'échelle régionale est stratégique au regard du maillage nécessaire pour les stations de distribution et des caractéristiques techniques des véhicules hydrogène (cf. chapitre 2). Dans cette perspective, de premiers projets voient le jour, où acteurs privés et Conseils régionaux se regroupent, au sein de consortiums, afin de déployer la mobilité hydrogène sur le territoire régional. Tel est, par exemple, le cas du projet *ZEV*, comme nous l'avons vu, ou du projet *Hyport* en Occitanie, qui prévoit de développer un écosystème de mobilité hydrogène sur les zones aéroportuaires de Toulouse-Blagnac et de Tarbes¹⁸⁴.

Le projet *ZEV* montre que des réseaux d'acteurs émergent grâce à quelques figures emblématiques politiques et industrielles persuadées du potentiel de l'hydrogène et dotées de ressources techniques, politiques et institutionnelles pour intéresser et enrôler d'autres acteurs à différents échelons. Ces collectifs sont souvent constitués d'alliances entre acteurs publics et privés. Des partenariats public-privés se formalisent par des sociétés de projet (SAS), introduisant de nouveaux acteurs dans la gestion énergétique territoriale. Ces

¹⁸⁴ Dossier de presse de la Région Occitanie, les rencontres régionales sur l'hydrogène, 10 novembre 2016.

dispositifs témoignent d'une volonté de partager à la fois les investissements mais aussi les risques que représentent les projets hydrogène en y apportant une garantie technique ou politique grâce aux différents concepteurs.

Le projet ZEV reflète bien les dynamiques françaises autour de la mobilité hydrogène. Initié par des acteurs industriels qui cherchent à développer un nouveau marché, il trouve un écho à travers les ambitions politiques du président de Région. L'objectif est d'accélérer le marché de la mobilité hydrogène en mettant en place un projet conséquent en termes de nombres de véhicules et de stations de recharge par rapport à ce qui était fait habituellement.

Pour parvenir à cet objectif, l'intéressement et l'enrôlement des acteurs territoriaux aussi bien publics que privés devient un réel enjeu. Ainsi, le cas d'Auvergne-Rhône-Alpes montre que les écosystèmes de mobilité hydrogène se construisent autour d'un large panel d'acteurs à différents niveaux. La figure 20 ci-dessous résume le rôle des différentes parties prenantes de l'hydrogène dans le projet ZEV.

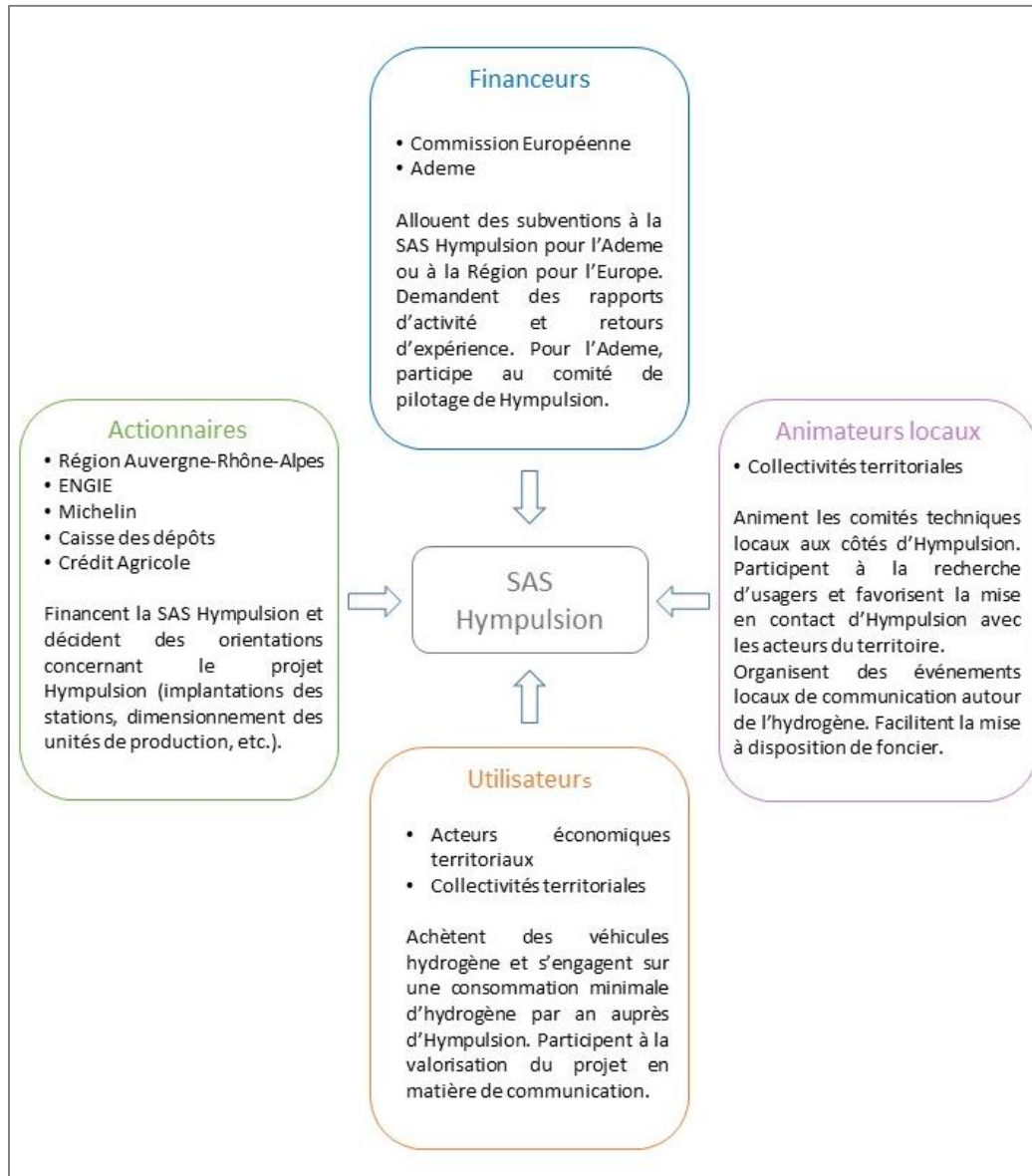


Figure 19 : Rôle des différentes parties prenantes du projet ZEV.
Réalisation : auteure

CONCLUSION DU CHAPITRE

Ce chapitre nous a permis de montrer comment émerge, à partir des années 2014 - 2015, une nouvelle configuration pour l'hydrogène, autour d'un usage clé (la mobilité) et d'un concept (l'écosystème).

Certains acteurs issus du secteur de l'automobile (Michelin, Symbio) associés au sein du consortium H₂ Mobilité France, ont construit une nouvelle problématisation de la mobilité hydrogène. Pour eux, l'enjeu est de parvenir à proposer une stratégie permettant de faire baisser les coûts associés à la mobilité hydrogène et favoriser ainsi des premiers développements. Leur mobilisation donne lieu à l'élaboration d'un plan d'action national du déploiement de la mobilité hydrogène qui s'appuie, dans un premier temps, sur la logique de flottes captives mises en place dans des villes. Face aux difficultés rencontrées lors de sa mise en œuvre, une nouvelle logique se développe consistant à mutualiser les infrastructures de distribution et de recharge au travers d'un écosystème de mobilité local.

Ce concept, issu également du milieu automobile pour décrire une approche plus globale de l'hydrogène, va alors jouer un rôle d'objet-frontière entre un ensemble d'acteurs. Cette logique d'écosystème intéresse à la fois les acteurs publics nationaux, qui y voient une opportunité pour financer l'hydrogène sans avoir besoin d'investissements coûteux de leur part, et les collectivités territoriales, qui semblent pouvoir jouer un rôle d'acteurs pivots dans la mise en place de ces objets. Les écosystèmes de mobilité hydrogène deviennent ainsi un maître mot pour développer l'hydrogène en France, sans pour autant définir une logique très claire, donnant lieu à des appropriations différentes de la démarche.

Ces écosystèmes ne suivent pas une manière de faire unique mais renvoient à une diversité de projets, comme en témoignent les lauréats des appels à projets de l'ADEME qui font suite au plan Hulot en 2018. Le dispositif national s'inspire fortement des dynamiques territoriales et laisse ainsi la main aux acteurs territoriaux pour être forces de proposition. Aucune forme de standardisation¹⁸⁵ n'est imposée concernant les modes de production, l'échelle du projet ou encore la gouvernance. Même si le plan Hulot met en avant la logique écosystémique pour la mobilité hydrogène, le positionnement qu'il reflète reste ambiguë. En effet, nous verrons dans le chapitre suivant, que la stratégie nationale comporte finalement des éléments de différentes configurations de l'hydrogène témoignant du comportement tâtonnant et hésitante de l'action publique étatique sur ce sujet.

¹⁸⁵ Seules quelques restrictions concernant les usages et le mode de production issu d'énergies fossiles sont données.

Au final, pour l'État, à travers ces dispositifs, l'objectif est d'envisager toutes les possibilités qui peuvent émerger grâce aux candidatures pour ensuite s'inspirer de celles qui fonctionnent le mieux, notamment d'un point de vue économique. Les projets lauréats sont ainsi différents dans les caractéristiques techniques qu'ils présentent : certains envisagent une production issue d'électricité renouvelable, de biomasse ou du réseau et les usages ciblés concernent aussi bien la mobilité légère professionnelle (véhicule utilitaire léger) que la mobilité lourde avec des bus ou des bennes à ordures et des expérimentations de mobilité fluviale.

Ces assemblages sociotechniques de l'hydrogène, s'articulent autour d'une vision de l'hydrogène construite par les réseaux d'acteurs qui le présentent comme une solution publique locale pour le développement des énergies renouvelables et pour la mobilité électrique. Dans les cas de l'Occitanie et de l'Auvergne-Rhône-Alpes, l'émergence d'initiatives hydrogène et la structuration de projets résultent de réseaux d'acteurs interconnectés sur le territoire. Ces réseaux se forment autour de quelques acteurs capables de jouer le rôle de « traducteurs » entre différents publics à des échelles variées pour « intéresser » et « enrôler » un maximum d'acteurs autour des projets qu'ils développent. Les motivations pour investir dans l'hydrogène sont différentes d'un territoire à l'autre et dépendent de la présence de spécificités territoriales (ressources renouvelables, présence d'acteurs industriels, etc.). Des blocages politiques peuvent toutefois être présents et venir ré-agencer le réseau d'acteurs et la cartographie d'un projet. Le modèle économique et les coûts onéreux d'un projet d'écosystème hydrogène contraignent les porteurs de projet à rechercher des financements supplémentaires pouvant générer des formes de recadrage et l'élargissement du réseau d'acteurs de l'écosystème.

Nous considérons que cette problématisation impulsée par H2MF puis reprise par plusieurs acteurs, dont l'AFHYPAC, autour du concept des écosystèmes de mobilité hydrogène donne lieu à une configuration sociotechnique de l'hydrogène. Cette dernière se caractérise, selon nous, par une production décentralisée d'hydrogène, gérée par les acteurs locaux, définie en fonction des besoins en termes d'usages locaux. Les écosystèmes de mobilité hydrogène se cristallisent autour de réseaux d'acteurs publics et privés regroupant l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur de la mobilité hydrogène (production, distribution et usages).

Cette vision de l'hydrogène, qui promeut les usages de mobilité et l'idée de penser production, distribution et usages au sein d'un même projet pour faire correspondre offre et demande, semble partagée par de nombreux acteurs à l'échelle nationale (Ademe, ministère de la Transition Écologique, AFHYPAC, etc.) et territoriale (Régions, Métropoles, producteurs d'énergie, etc.). Cette problématisation s'incarne alors au niveau des territoires, où les porteurs de projet s'approprient à leur manière la logique développée par le consortium H₂ Mobilité France et en proposent une traduction concrète à leur échelle.

Cette configuration sociotechnique de l'hydrogène telle qu'elle est pensée par le consortium H2MF, semble néanmoins rencontrer des difficultés dans sa concrétisation à l'échelle territoriale. De nombreux projets ne vont finalement pas voir le jour, comme c'est le cas avec la métropole de Montpellier, donnant lieu à une remise en cause, au cours de l'année 2019, de cette logique écosystémique. De plus, les financements annoncés par le plan Huelot ne sont finalement pas accordés par le ministère de l'Économie (cf. chapitre 4) réduisant les marges de manœuvre de l'Ademe et du ministère de la Transition Écologique.

Nous verrons dans les chapitres suivants que la notion d'écosystème hydrogène reste présente au fur et à mesure du temps. Néanmoins, cette logique se retrouve adaptée en fonction des acteurs et des nouvelles visions dans lesquelles elle s'insère. La manière de penser les écosystèmes territoriaux évoluent tant en termes d'échelles que d'usages (mobilité légère puis mobilité lourde puis mutualisation avec l'industrie) illustrant l'approche tâtonnante et hésitante des différents acteurs publics et privés.

Tableau 6 : caractéristiques de la première configuration sociotechnique et de la problématisation de référence.
Réalisation : auteure

	Problématisation de référence : l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique	Première configuration : les écosystèmes locaux de mobilité hydrogène
Principales fonctions données à l'hydrogène	H ₂ comme vecteur de stockage des ENR.	H ₂ comme vecteur de stockage et de décarbonation de la mobilité.
Principaux enjeux	Déployer les ENR grâce à l'hydrogène et décarbonation des usages	Déployer la mobilité hydrogène (véhicules et infrastructures).
Vision du déploiement territorial	Système décentralisé autour d'une production à l'échelle locale. Hydrogène issu d'énergie renouvelable	Système décentralisé, production et distribution locales. Hydrogène issu d'énergie renouvelable.
Stratégies et dispositifs	X	Plan d'action de H2MF et appels à projets de l'Ademe.
Acteurs dominants	X	H2MF et collectivités territoriales

Chapitre 3 : La construction de hub hydrogène régionaux

Le chapitre 2 a montré l'émergence d'une problématisation de l'hydrogène en tant que vecteur de décarbonation de la mobilité, fortement soutenue par quelques acteurs du secteur de l'automobile. La vision qui en résulte, s'articule autour de la logique d'écosystèmes territoriaux de mobilité et suscite un vif intérêt auprès des collectivités territoriales et d'acteurs privés.

Ces premières initiatives ne constituent néanmoins qu'une configuration encore instable et éphémère, l'intégration de l'hydrogène dans les politiques énergétiques nationales continuant de faire débat. L'élaboration du plan national de juin 2018 (plan Hulot), rédigé par le ministère de la Transition Écologique, va se heurter à des oppositions sur les directions à suivre, tant de la part des acteurs industriels issus des différents secteurs concernés (électrique, gazier, industrie), que de celle de certains acteurs étatiques.

En analysant la construction du plan Hulot, il s'agit de montrer que cette stratégie, élaborée par le ministère de la Transition Écologique, se révèle être davantage un plan de compromis qu'une véritable prise de position par l'administration étatique. En effet, ce plan contient les éléments de différentes visions du déploiement. Il met en avant l'approche par les écosystèmes de mobilité hydrogène (cf. chapitre 2) et amorce une nouvelle problématisation (mobilité lourde, industrie) qui va venir s'activer dès les années 2019, comme nous le verrons dans ce chapitre.

La première section de ce chapitre met en lumière les controverses concernant les usages de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage et leurs conséquences sur la manière d'envisager la production et le déploiement de l'hydrogène sur le territoire national. Des modifications dans la manière d'appréhender l'hydrogène et des interrogations concernant les applications et les modes de production à favoriser voient le jour. L'État n'adopte pas une position claire sur ces questions et laisse ouverts au débat différents chemins envisageables pour développer la production d'hydrogène décarboné en France.

Par ailleurs, d'autres dynamiques sont visibles à l'échelle infranationale. Rapidement identifiées par certains acteurs industriels et publics comme des échelons pertinents pour déployer l'hydrogène en France, la majorité des Régions se sont saisies du sujet. À cet effet, elles mettent en œuvre des feuilles de route régionales pour structurer le déploiement de l'hydrogène sur leur territoire. La seconde section s'intéresse à cette prise en charge du sujet hydrogène et aux politiques de planification régionales. Si, à travers leurs actions, les Régions manifestent un intérêt à se positionner comme un échelon stratégique sur le sujet, nous souhaitons toutefois questionner leur rôle véritable rôle dans le déploiement territorial de l'hydrogène.

En analysant les dynamiques nationales et régionales, ce troisième chapitre met en lumière la manière dont certaines caractéristiques propres à la configuration précédente, écosystémique, sont remises en question durant la période 2018-2019. La focale n'est alors plus uniquement centrée sur la mobilité légère et des unités de production locale, mais se déplace peu à peu vers des unités de production semi-centralisée et des usages industriels ou de mobilité lourde. Le coût de production de l'hydrogène devient un enjeu majeur, favorisant certaines sources énergétiques et certains procédés par rapport à d'autres.

Ce chapitre montre le rôle joué par certains acteurs (les Régions, les industriels du secteur électrique) et actants (les controverses, les coûts) dans la reformulation des assemblages sociotechniques de l'hydrogène, donnant lieu à une nouvelle problématisation et configuration articulée autour de « hubs régionaux hydrogène ».

SECTION 1 : ÉLÉMENTS DE CONTROVERSES DU SYSTEME ELECTRIQUE

Pour comprendre les controverses liées au déploiement de l'hydrogène en France, il convient, dans un premier temps, de dresser un rapide panorama du contexte énergétique des années 2017 – 2018. Dans un second temps, nous montrerons que les débats qui émergent à cette occasion ont des conséquences sur la manière d'envisager le déploiement de l'hydrogène, donnant lieu à une nouvelle forme de problématisation.

1) La politique énergétique sous Nicolas Hulot : l'épineuse question de la réduction du nucléaire dans le mix énergétique français

En 2017, Emmanuel Macron, élu en tant que président de la République, annonce la poursuite de la réduction de la part du nucléaire dans le mix énergétique amorcée par son prédécesseur, François Hollande. Pour autant, la mise en œuvre de cette mesure se heurte au respect des objectifs de neutralité carbone à horizon 2050 et à la garantie d'une production électrique suffisante pour les usages. Différents choix en matière d'orientation énergétique sont alors envisagés. Des scénarios sont élaborés par différentes entités (RTE, Ademe, Négawatt) dans l'optique de projeter le futur mix énergétique. Ces derniers illustrent alors les divergences de visions concernant la politique énergétique et la manière d'appréhender le système énergétique.

1.1 Neutralité carbone et réduction du nucléaire : deux objectifs contradictoires ?

L'introduction d'un objectif de neutralité carbone et la révision des orientations énergétiques, plus particulièrement le maintien du nucléaire après 2025, vont influencer la problématisation de l'hydrogène.

1.1.1 L'objectif de neutralité carbone

En mai 2017, après les élections présidentielles, Nicolas Hulot est nommé ministre de la Transition Écologique et Solidaire. Dès juillet 2017, il présente un nouveau plan, le plan Climat, qui vise à accélérer la transition énergétique et la lutte contre le changement

climatique pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. Ce plan se décline en 23 axes et concerne de nombreux domaines comme la mobilité¹⁸⁶, la production d'énergie, l'agriculture, la biodiversité, l'économie, etc.

Ce plan correspond à un nouvel objectif ambitieux, issu de l'Accord de Paris, celui de la « neutralité carbone », appelé également « zéro émission nette », d'ici 2050. L'ambition est de trouver « un équilibre entre les émissions de l'Homme et la capacité des écosystèmes à absorber du carbone¹⁸⁷ », c'est-à-dire de ne pas émettre une quantité de gaz à effet de serre supérieure à celle que les technologies et les puits naturels de carbone sont capables d'absorber. En d'autres termes, la neutralité carbone renvoie à l'idée de « bilan nul » c'est-à-dire que les émissions de gaz à effet de serre doivent être égales à la capacité d'absorption disponible (Guillemot, 2020). Guillemot (2020) montre que le concept de neutralité carbone s'avère être un élément mobilisateur, dans la mesure où il peut être facilement décliné à différentes échelles et pour différents secteurs. Un domaine particulier (l'industrie, la mobilité, etc.) peut alors viser la neutralité carbone sur son périmètre d'action à une échéance qu'il se fixe lui-même. Contrairement aux objectifs de 1,5 °C et 2 °C, fixant une augmentation limite de la température à ne pas dépasser, l'objectif de zéro émission nette est plus facilement appropriable par les acteurs et plus facile à évaluer par chacun (Guillemot, 2020). Néanmoins cet objectif est lui-même soumis à controverse, notamment en ce qui concerne la contribution demandée à chaque secteur.

Dans cette optique, le plan Climat proposé par le ministre Nicolas Hulot vise à traduire l'ajustement des objectifs nationaux à la neutralité carbone. Il s'agit d'aller plus loin que le facteur 4 (réduction des émissions de gaz à effet de serre de 75 % à l'horizon 2050) inscrit dans la loi TECV de 2015 et de viser une réduction par 6 des émissions de gaz à effet de serre, par rapport à 1990, sur le territoire national. Cette ambition est alors déclinée en quatre axes : décarboner la production d'énergie et assurer une transition maîtrisée, sortir progressivement des hydrocarbures d'ici 2040, renforcer la fiscalité écologique en révisant le prix du carbone et élaborer une nouvelle stratégie de neutralité carbone d'ici 2050 avec la révision de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et de la Stratégie nationale bas carbone¹⁸⁸ (SNBC).

En ce qui concerne la décarbonation de la production d'énergie, le plan Climat prévoit un arrêt progressif des centrales électriques à charbon à horizon 2022. Le plan inclut une simplification du cadre de développement des énergies renouvelables pour atteindre l'objectif de 32 % d'énergies renouvelables d'ici 2030, fixé par la loi TECV, sans toutefois aborder la question du nucléaire. Or, la loi TECV vise une réduction de 50 % de la part du nucléaire dans le mix énergétique d'ici 2025 et la fermeture de la centrale de Fessenheim avant 2017.

¹⁸⁶ Ce plan inclut notamment l'arrêt des ventes des véhicules émettant des gaz à effet de serre d'ici 2040.

¹⁸⁷ Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, Plan Climat, 2017.

¹⁸⁸ Ibid.

Aucune feuille de route n'a été élaborée durant le quinquennat précédent pour concrétiser la mise en œuvre de ces mesures¹⁸⁹ et les objectifs de réduction du nucléaire semblent être en contradiction avec ceux de neutralité carbone. Dans ce contexte, le ministre, Nicolas Hulot, lors de la prise de ses fonctions, est contraint de revoir la feuille de route annoncée par le président de la République et son prédécesseur.

1.1.2 *Le bilan prévisionnel 2017 de RTE : choisir entre réduction du nucléaire ou réduction des émissions de CO₂*

En mars 2017, RTE, gestionnaire des réseaux de transport électriques, publie un bilan prévisionnel¹⁹⁰, qui consiste en « une étude approfondie de l'évolution de la production et de la consommation d'électricité et des solutions permettant d'en assurer l'équilibre¹⁹¹ ». Cette étude prospective analyse sur des périodes de 5 à 15 ans différents scénarios énergétiques envisageables. La réflexion est menée par RTE en concertation avec un ensemble d'acteurs du secteur énergétique (producteurs, fournisseurs et distributeurs, institutions, académiques, ONG, associations, etc.).

Ce bilan prévisionnel remet en question la capacité d'assurer une réduction de 50 % du nucléaire d'ici 2025, objectif fixé par la loi TECV¹⁹² de 2015. Cinq scénarios sont présentés par RTE pour tenter de répondre aux ambitions nationales (réduction du nucléaire, baisse des émissions de CO₂, développement des énergies renouvelables) et analyser les possibilités envisageables.

Un premier scénario, dit scénario de base et appelé Ohm, s'appuie sur les objectifs fixés dans le cadre de la loi TECV et met en avant les conséquences attendues concernant le mix énergétique et les émissions de gaz à effet de serre. En s'appuyant sur cette analyse, RTE estime qu'il n'est pas possible d'assurer à la fois la fermeture des centrales à charbon et celle de quatre réacteurs nucléaires arrivant à 40 ans de fonctionnement d'ici 2022. La réduction de 50 % du nucléaire équivaut à la fermeture de 24 réacteurs d'ici 2025, dont 22 atteignent 40 ans de fonctionnement en 2025 et 2 supplémentaires. La fermeture simultanée de centrales à charbon et nucléaires vient mettre en péril, selon RTE, la sécurité d'approvisionnement en énergie. Le gestionnaire du réseau électrique suggère qu'il est nécessaire de faire un choix entre la fermeture des réacteurs nucléaires ou des centrales à charbon. Si la fermeture des réacteurs nucléaires est choisie, cela nécessite le maintien des

¹⁸⁹https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/11/08/la-baisse-du-nucleaire-a-50-en-2025-une-promesse-jamais-suivie-de-moyens_5212107_4355770.html

¹⁹⁰ Ces bilans prévisionnels, régis par le Code de l'énergie, sont publiés annuellement.

¹⁹¹ RTE. (2017). *Synthèse du bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande de l'électricité en France* : Edition 2017 (p. 44). p5

¹⁹² LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), 2015-992 (2015).

centrales à charbon et la construction de nouvelles centrales à gaz. Par conséquent, l'arrêt de ces 24 réacteurs entraînerait de fait une augmentation des émissions de CO₂ pour la production d'énergie électrique, ce qui rentre en contradiction avec les objectifs nationaux de réduction des gaz à effet de serre.

À partir de ces constats, les quatre autres scénarios présentés dans le bilan prévisionnel, envisagent une réduction du nucléaire à horizon 2035 (cf. tableau 7). Le premier scénario, Ampère, évoque une réduction de 50 % du nucléaire en 2035, grâce à une augmentation des énergies renouvelables qui atteint 40 % dès 2030. Il prévoit une sortie plus lente du nucléaire pour laisser le temps au développement des énergies renouvelables, sans avoir recours à des centrales à charbon ou thermiques. Dans ce cas de figure, il devient nécessaire de développer des moyens de flexibilité pour gérer les problèmes d'intermittence liés à l'augmentation de la part des énergies renouvelable.

Le deuxième scénario, Hertz, privilégie le choix politique de sortir le plus rapidement possible du nucléaire. Il est visé une réduction du nucléaire 5 ans plus tôt que pour Ampère, grâce au développement de centrales à gaz. Cette possibilité ne permet pas une diminution des émissions de CO₂, mais en garantit une stabilité.

Le troisième scénario, Volt, s'appuie sur une réduction plus faible du nucléaire, portant sa part à 56 % d'ici 2035. Il prévoit l'augmentation des énergies renouvelables dans le mix énergétique et le maintien de plusieurs réacteurs nucléaires. RTE le justifie par la diminution des émissions de CO₂ nettement plus importante que les deux précédents et met en avant les retombées économiques positives du maintien de la filière nucléaire.

Enfin, le quatrième scénario, Watt, est un « scénario de rupture » selon RTE. Ce dernier étudie une fermeture systématique des réacteurs nucléaires après 40 ans de fonctionnement, portant ainsi la part du nucléaire à 11% et celle des énergies renouvelables à 70 % d'ici 2035. Ce scénario s'accompagne nécessairement d'une production thermique et d'émissions de CO₂ plus importantes, ne répondant pas aux objectifs de réduction carbone.

*Tableau 7 : récapitulatif des scénarios de bilan prévisionnel.
Données issues de RTE 2017. Réalisation : auteure*

Scénario	Composition du mix énergétique à 2035	Émissions de CO ₂ annuelles
Ampère	46 % nucléaire, 50 % énergies renouvelables et 4% énergie thermique	12 millions de tonnes de CO ₂
Hertz	47 % nucléaire, 45 % énergies renouvelables et 8 % énergie thermique	19 millions de tonnes de CO ₂
Volt	56 % nucléaire, 40 % énergies renouvelables et 4 % énergie thermique	9 millions de tonnes de CO ₂
Watt	11 % nucléaire, 71 % énergies renouvelables et 18 % énergie thermique	32 millions de tonnes de CO ₂

Le bilan prévisionnel de RTE montre que la réduction de la production d'énergie nucléaire en France ne peut se faire rapidement sans entraîner une augmentation des émissions de CO₂ annuelles. Pour le gestionnaire, la date de 2035 apparaît comme étant la plus réaliste pour réduire la part du nucléaire, de façon plus ou moins importante, sous condition d'un déploiement massif des énergies renouvelables.

Parmi les quatre scénarios exposés, seuls Ampère et Volt apportent des réponses satisfaisantes, compte tenu des objectifs nationaux du plan Climat. Dans ce contexte, lors du Conseil des ministres du 7 novembre 2017, Nicolas Hulot déclare que l'objectif de 50 % de nucléaire à échéance 2025 n'est pas atteignable¹⁹³. Pour justifier cette décision, le ministre affirme vouloir maintenir à tout prix la fermeture des centrales à charbon d'ici 2022, ce qui l'oblige, comme l'a montré le rapport RTE, à revoir la feuille de route concernant le nucléaire. L'échéance initiale est finalement repoussée à 2030 voire 2035 sans toutefois prévoir un calendrier de mise en œuvre plus précis.

¹⁹³ https://www.lemonde.fr/energies/article/2017/11/07/nicolas-hulot-reporte-l-objectif-de-baisse-du-nucleaire-de-50-d-ici-a-2025_5211451_1653054.html

1.1.3 Des visions différentes sur le mix électrique

Cette décision sur le nucléaire s'inscrit dans le travail mené depuis septembre 2017 par le ministère de la Transition Écologique, relatif aux orientations énergétiques nationales. En effet, il est prévu, au cours de l'année 2018, de réviser la programmation pluriannuelle énergétique (PPE) afin d'élaborer un programme d'actions national pour les dix prochaines années, partagées en deux périodes de cinq ans. Dans le dossier de maîtrise d'ouvrage de la PPE, qui fixe les lignes directrices de cette révision, il est indiqué que le gouvernement a pris acte de la difficulté d'atteindre un seuil de 50 % du nucléaire d'ici 2025 et qu'il met tout en œuvre pour atteindre cet objectif « dès que possible » sans toutefois préciser une date.

Après un premier travail de cadrage réalisé par le ministère de la Transition Écologique, des débats sont menés entre mars et juin 2018 au sujet de la révision de la PPE. Cette décision du report, inscrite dans la PPE, suscite des controverses. Un débat intitulé « nucléaire et PPE » se tient en mars 2018 auquel l'association NégaWatt, EDF, RTE et Global Chance¹⁹⁴ participent. L'association NégaWatt remet en cause l'étude de RTE et critique le fait qu'elle ne prend en compte que la production d'électricité. Elle estime qu'il est nécessaire d'avoir une vision plus systémique de la production d'énergie totale, c'est-à-dire intégrer l'ensemble de la production énergétique¹⁹⁵ (électricité, gaz, etc.). L'association dénonce une position « attentiste » des pouvoirs publics qui repoussent le choix de réduction du nucléaire « à plus tard » sans donner une nouvelle date. Ce positionnement ne livre pas, selon l'association, une vision à long terme après 2035 et risque d'entraîner un « système sous perfusion », c'est-à-dire dépendant de subventions publiques pour combler les surcapacités nucléaires et le déploiement des renouvelables. Les membres de l'association appellent à une remise en cause plus profonde du système énergétique en ne prenant pas en compte uniquement les énergies électriques, mais en incluant l'ensemble des énergies, comme c'est le cas dans le scénario « 100 % renouvelable » qu'ils ont élaboré.

Ce positionnement de l'association fait face à celui d'EDF, qui considère que l'atteinte de 50 % du nucléaire se fera après 2025, sans pour autant se prononcer sur un calendrier précis, considérant que celui-ci dépend de la vitesse de déploiement des énergies renouvelables. EDF envisage également la possibilité de prolonger des réacteurs après 40 ans de fonctionnement, ainsi que la construction de nouveaux réacteurs pressurisés européens (EPR) pour remplacer à terme les centrales nucléaires existantes et incite le gouvernement à prendre une décision rapidement sur ce sujet¹⁹⁶.

¹⁹⁴ Association française créée en 1992 qui vise un promouvoir un développement mondial plus équilibré face aux menaces environnementales.

¹⁹⁵ NégaWatt. (2018). *Débat public – Programmation pluriannuelle de l'énergie Nucléaire et électricité—Atelier de controverse*. https://negawatt.org/IMG/pdf/180328_intervention-debat-public_ppe_nucleaire.pdf (Consulté le 20/06/2022)

¹⁹⁶ <https://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-ppe/atelier-controverse-nucleaire-ppe.html>

Les années 2017 – 2018 sont donc marquées par l'enjeu du nucléaire. Le report de la date de réduction de la part du nucléaire au-delà de 2035 et la perspective de la construction de nouveaux réacteurs viennent questionner l'urgence du déploiement de moyens de stockage de l'électricité d'origine renouvelable et, ainsi, la place accordée à l'hydrogène dans le mix énergétique (cf chapitre 1).

1.2 Le plan Hulot : reflet de l'emprise des acteurs du secteur électrique

Le décalage du calendrier de réduction du nucléaire de cinq à dix ans n'est pas sans impact sur les mesures prises pour le stockage des énergies électriques et entraîne, de fait, une remise en question du soutien public à certaines technologies liées à l'hydrogène. Il se manifeste à l'occasion du plan adopté par Nicolas Hulot en 2018, qui met en avant deux axes de développement de l'hydrogène : la mobilité notamment lourde et certains secteurs industriels.

1.2.1 La stratégie hydrogène du ministre Nicolas Hulot : légitimer l'hydrogène comme vecteur de décarbonation dans l'industrie et la mobilité

En maintenant une part importante de nucléaire, les acteurs du secteur électrique (RTE, EDF) estiment que des besoins de stockage ne seront nécessaires qu'à partir de 2035, voire 2040. En particulier, le stockage par hydrogène ne serait utile qu'à partir du moment où la part d'énergies renouvelables serait comprise entre 40 et 60 %¹⁹⁷, ce qui ne sera pas le cas, selon les projections de RTE, avant 2035. Les acteurs historiques du secteur électrique expriment ainsi des réticences à propos de certaines applications dites stationnaires de l'hydrogène, concernant le stockage d'électricité et la réinjection dans le réseau impliquant des couplages localisés entre réseaux d'électricité et de gaz (cf. principe de *Power-to-gas-to-Power*¹⁹⁸, chapitre 1).

Ce positionnement s'explique par leur crainte de voir une diminution de l'utilisation des réseaux et la remise en question du modèle centralisé des infrastructures. En effet, l'introduction des électrolyseurs comme système de flexibilité et moyen d'interconnexion entre réseau électrique et réseau gazier laisse envisager l'émergence de nouveaux acteurs et de nouvelles formes de production et de régulation du système énergétique (cf chapitre 1).

¹⁹⁷ CEA & DGEC. (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. MTES.

¹⁹⁸ Le *power-to-gas-to-power* est une solution de *power-to-gas* où l'hydrogène stocké dans le réseau de gaz est ensuite utilisé pour produire de l'électricité.

Cette possibilité pourrait alors menacer leur position dominante, liée à une situation de quasi-monopole.

Pour parvenir à débloquer ces situations tout en satisfaisant la volonté du ministre Hulot, qui croit personnellement au potentiel hydrogène et souhaite le déployer en France, la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) du ministère de la Transition écologique et le CEA, tous les deux auteurs de la stratégie nationale hydrogène, vont mettre l'accent sur les autres usages de l'hydrogène afin de parvenir à une vision plus ou moins consensuelle de l'hydrogène, comme l'explique clairement un interlocuteur du CEA.

« Le marché du stationnaire n'était pas très en vue en France pendant très longtemps. Sur le marché du stationnaire il faut savoir que des acteurs comme ENEDIS¹⁹⁹, RTE nous disaient qu'il n'y avait pas d'intérêt à mettre des systèmes de flexibilité sur les réseaux avant 2035-2040. C'était le discours tenu par RTE pendant très longtemps, disant que le stockage n'était pas une solution, que ça coûtait cher et qu'ils n'y voyaient pas d'intérêt car les réseaux étaient tellement robustes, tellement fiables qu'on n'aurait pas de problème de gestion d'intermittence en France avant très très très longtemps. [...] Donc l'histoire qu'on a dû écrire, c'est une histoire qui disait l'hydrogène sera là pour les systèmes énergétiques à terme, quand je vous disais qu'en 2050 tout le monde était d'accord pour dire que ça sera l'une des composantes y'a pas de problème. Lui [Nicolas Hulot,] il espérait qu'en 2030 – 2035 ça soit déjà un besoin. Les opérateurs électriques ont continué en disant que ce n'était pas la peine. Du coup on a contourné le problème en disant pour que la France soit prête à horizon 2030 – 2035 – 2040 à introduire des technologies françaises sur ces sujets-là, il faut trouver des marchés d'amorçage et ici les marchés d'amorçage ça va être l'industrie, avec une production d'hydrogène carbonée qu'il faut décarboner, et la mobilité, pour laquelle il y a des besoins réglementaires qui font que, on parlait de l'arrêt des moteurs thermiques en 2040, il faut mettre en place des filières de mobilité à batterie et à hydrogène d'ici là en France. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020)

Ces réticences ont des effets sur la manière dont le Ministère de l'écologie formule sa stratégie hydrogène, dite « plan Hulot ». Cette dernière considère que le stockage d'énergie électrique par hydrogène n'est pas nécessaire dans les dix prochaines années, mais estime qu'il faut déployer, dès à présent, les technologies de l'hydrogène pour ne pas accumuler de retard face à d'autres pays. Si l'hydrogène n'est pas envisagé, à court terme, comme un vecteur énergétique de stockage et de flexibilité, il est présenté comme un moyen de décarboner la mobilité et certaines industries. En priorisant le déploiement sur ces deux secteurs, l'objectif

¹⁹⁹ ENEDIS est le gestionnaire des réseaux électriques de distribution en France.

est de construire, dès 2018, une filière française de l'hydrogène afin de positionner la France sur de nouveaux marchés.

Le plan Hulot fixe ainsi des objectifs nationaux, repris ensuite dans la PPE : la décarbonation de l'hydrogène industriel de 10 % à horizon 2023 et de 20 à 40 % à horizon 2028 et le développement des véhicules électriques hydrogène grâce au déploiement d'écosystèmes de mobilité (cf. chapitre 2). Un dernier volet du plan concerne les services aux réseaux électriques et gaziers, mais s'adresse uniquement aux zones non interconnectées²⁰⁰ (ZNI) au réseau électrique métropolitain. Ce dernier volet ne fera cependant pas l'objet de soutien, contrairement aux deux autres pour lesquels des appels à projets sont publiés.

A partir de 2018, la mobilité lourde fait l'objet d'attentions plus marquées. Considérée, par le plan Hulot, comme « *une application clé*²⁰¹ » pour le déploiement de l'hydrogène en France, compte tenu des volumes de consommations qu'elle nécessite, elle fait l'objet d'applications concrètes dans plusieurs villes²⁰². Plusieurs projets de bus à hydrogène voient le jour et d'autres usages sont visés, comme le développement d'autocars, de bennes à ordures ménagères ou de poids lourds à hydrogène, autant d'applications pour lesquelles la batterie n'apporte pas de réponse satisfaisante.

En ce qui concerne l'usage industriel de l'hydrogène visé par le plan Hulot, il s'agit de venir remplacer l'hydrogène utilisé dans les secteurs de l'industrie (métallurgie, chimie, raffinerie, etc.) et produit à partir d'énergies fossiles par de l'hydrogène décarboné, c'est-à-dire produit à partir de procédés moins émetteurs de CO₂. Si cet usage est ciblé comme prioritaire par la stratégie nationale, le facteur économique ralentit sa mise en œuvre. Le tarif de vente de l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau est nettement supérieur à celui issu d'énergies fossiles (d'un facteur 5 environ) et le coût d'investissement des électrolyseurs demeure aussi élevé. Changer le procédé de production pour l'hydrogène n'est pas chose aisée et demande un investissement massif des industriels et un soutien économique ou financier des pouvoirs publics.

L'identification des usages industriels dans le plan Hulot et l'idée d'en faire une priorité ne fait néanmoins pas l'objet de consensus. Ces modifications n'entraînent pas seulement un changement technologique mais viennent perturber le fonctionnement de la filière et les relations de marché. En effet, le marché de l'hydrogène pour l'industrie est institué depuis plusieurs décennies et quelques entreprises (Air Liquide, Linde et Air Product) forment un oligopole pour la production et le conditionnement de l'hydrogène. En introduisant une

²⁰⁰ Par exemple la Corse, les DOM TOM et les îles métropolitaines, zones qui ne sont pas raccordées au réseau électrique national.

²⁰¹ CEA, & DGEC. (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. MTES. p35

²⁰² Par exemple, en 2019, trois villes françaises, Pau, Versailles et Artois-Gohelle, déploient des bus à hydrogène sur certaines de leurs lignes.

production par électrolyse de l'eau, c'est donc leur positionnement dans la chaîne de valeur de l'hydrogène qui peut être menacé.

Même si certains aspects de la stratégie nationale ne font pas consensus, la publication du plan Hulot met en avant les usages devant être couverts prioritairement par l'hydrogène : la mobilité, plus spécifiquement la mobilité lourde, et l'industrie, reportant l'aspect stockage électrique à des perspectives plus lointaines.

1.2.2 Repousser à une échéance encore plus lointaine le besoin de stockage hydrogène

Devant l'incertitude concernant l'échéance pour le besoin de stockage par hydrogène, Nicolas Hulot mandate RTE et GRT Gaz pour élaborer chacun un rapport pour « *identifier les services rendus au réseau par les électrolyseurs et les moyens existants ou à mettre en place pour valoriser ce type de service*²⁰³ ». Celui-ci²⁰⁴ est publié en janvier 2020, un an et demi après le plan national hydrogène, et étudie le rôle de l'hydrogène dans le système électrique. Dès les premières pages du rapport, il est indiqué qu'une distinction est à faire entre l'utilisation de l'hydrogène pour décarboner certains secteurs ou comme moyen de flexibilité et de stockage pour le système électrique. Cette distinction marque ainsi une rupture avec la vision construite dans le milieu des années 2010 (cf chapitre 1). Il n'est plus question d'adopter une approche systémique de l'énergie et de penser au couplage possible entre les réseaux électrique et gazier.

Pour les enjeux de décarbonation, l'hydrogène apparaît comme une solution à développer à court et moyen terme. A l'opposé, pour les services de stockage de l'énergie électrique, l'hydrogène n'est envisagé qu'à plus long terme, entre 2040 voire 2050. Encore une fois, aucune date précise n'est donnée, mais l'échéance de réduction du nucléaire à 2035 est décalée.

Le gestionnaire des réseaux électriques considère qu'à l'horizon 2030, l'hydrogène est utile pour décarboner les secteurs de la mobilité, de l'industrie et du gaz. Il n'exclut pas le recours au Power-to-gas²⁰⁵ (P2G), c'est-à-dire l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau dans le réseau de gaz pour des applications à court terme. En revanche, le couplage du réseau de gaz vers le réseau électrique semble poser plus de problème. La solution de stockage dite de Power-to-gas-to-power (P2G2P), autrement dit une interconnexion réciproque entre réseau de gaz et réseau électrique, n'apparaît pas comme une solution à privilégier, mais plutôt une possibilité parmi d'autres. Le rapport met en avant les faibles rendements des

²⁰³ CEA, & DGEC. (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. MTES. p. 17

²⁰⁴ RTE. (2020). *La transition vers un hydrogène bas carbone*.

²⁰⁵ Nous rappelons que le *power-to-gas* est un procédé qui consiste à produire de l'hydrogène à partir d'énergies renouvelables électriques et d'injecter l'hydrogène produit dans le réseau de gaz. Ce gaz peut soit être directement injecté soit transformé en méthane de synthèse. L'objectif de ce procédé est à la fois de verdir le réseau de gaz, mais également d'offrir un débouché pour la production d'énergie renouvelable excédentaire.

procédés de P2G2P (voir figure 22) et montre que le choix de se tourner vers cette solution n'est pas évident, mais dépend surtout des choix énergétiques nationaux.

Selon RTE, si les orientations nationales décident d'un scénario sans nucléaire et sans importation de biogaz ou de biomasse comme source d'énergie électrique, alors la solution P2G2P s'avère nécessaire. Dans ce cas de figure, les sources d'énergie électrique seront majoritairement l'éolien et le solaire, toutes les deux fortement dépendantes des conditions météorologiques, ce qui nécessite des moyens de stockage de grande capacité et sur des durées longues. À l'opposé, le besoin de stockage et de flexibilité s'avère moins important dans le cas d'un maintien du nucléaire ou de l'importation de biogaz, dans la mesure où ceux-ci permettent d'avoir une production d'énergie électrique pilotable et programmable et de ne pas avoir recours uniquement à des sources renouvelables dépendantes des conditions météorologiques. Comme le souligne un interlocuteur à RTE, la solution P2G2P se trouve alors en concurrence avec d'autres solutions qui peuvent s'avérer plus économiques et meilleures d'un point de vue du rendement énergétique.

« Donc en fait vous voyez que la question de l'hydrogène pour satisfaire les besoins électriques, il n'y a pas une réponse univoque. C'est probablement une question de quel système on conçoit et pour quels besoins de flexibilité ? Et puis quelle part peut prendre l'hydrogène dans ces besoins de flexibilités en concurrence avec d'autres solutions possibles ? » (Entretien agent RTE, juillet 2020).

La Figure 21 illustre les usages identifiés par RTE à moyen terme. Il est surtout question de décarboner les secteurs du gaz, de l'industrie, de la mobilité voire celui des bâtiments, en substituant l'hydrogène décarboné aux énergies fossiles. Ce schéma montre qu'il n'est pas envisagé de réinjection d'électricité produite à partir d'hydrogène. La Figure 22 schématise la notion de *Power-to-gas-to-Power* c'est-à-dire le couplage entre réseau électrique et gazier. Différentes étapes peuvent être envisagées pour réinjecter de l'électricité à partir d'hydrogène : soit grâce à un stockage d'hydrogène pur et l'utilisation d'une pile à combustible, soit par un stockage dans le réseau de gaz et l'utilisation d'une turbine à combustion (TAC) ou d'une centrale thermique à cycle combiné gaz (CCG). Les faibles rendements de ces processus techniques sont néanmoins soulignés par le gestionnaire comme étant un frein.

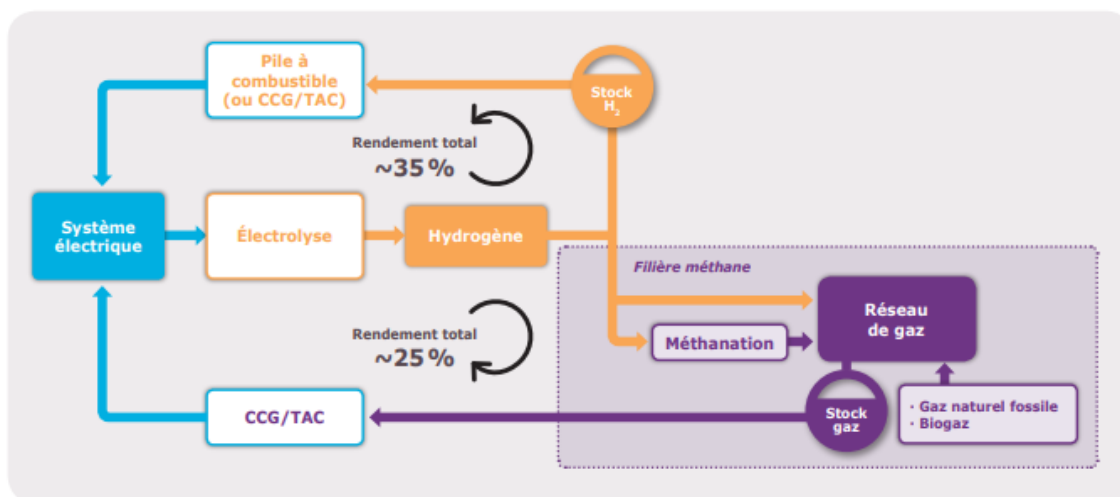


Figure 20 : schéma du concept de Power-to-gas-to-power et les rendements associés.
Source : RTE, 2020

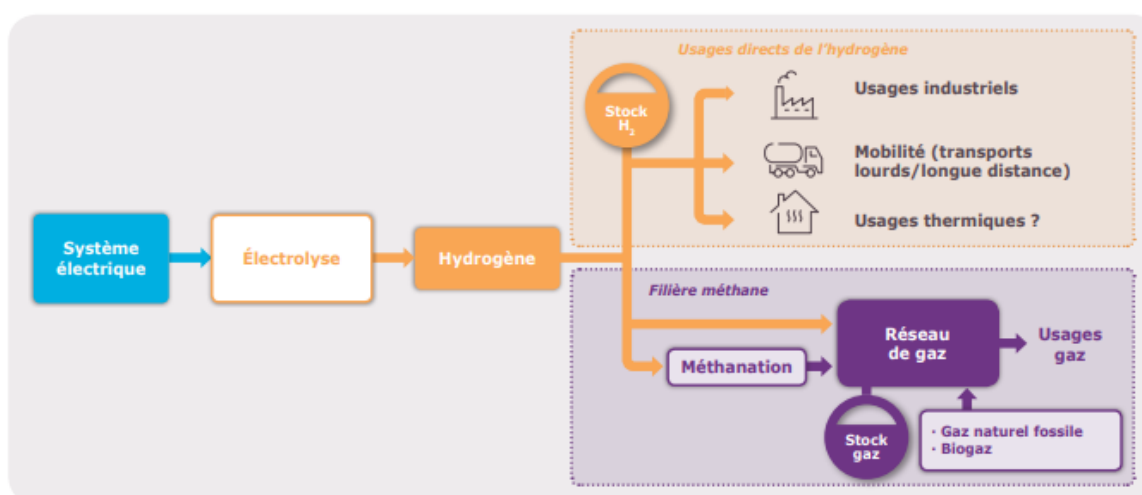


Figure 21 : Les usages de l'hydrogène à horizon 2030 - 2035 selon RTE.
Source : RTE, 2020

Ainsi, le plan Hultot et le rapport RTE légitiment une nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que vecteur de décarbonation de certains secteurs. Les fonctions confiées à l'hydrogène sont alors séparées en deux catégories : d'un côté les usages dits « directs » de l'hydrogène pour décarboner les secteurs pour lesquels un effort doit être réalisé dès 2018 pour son déploiement et, de l'autre, les usages de stockage et de flexibilité pour le réseau, où des actions ne sont pas envisagées avant une dizaine d'années.

Néanmoins, aucune vision précise à plus long terme ne se dessine sur le rôle de l'hydrogène après 2035 voire 2040. Les acteurs du secteur électrique laissent la porte ouverte à d'autres solutions, alors que, pour les acteurs du gaz, l'hydrogène constitue une solution privilégiée pour assurer un maintien de leur activité.

1.3 Une vision différente pour les gaziers

A première vue, la date de 2035 semble faire consensus auprès des acteurs des secteurs électriques et des acteurs politiques pour considérer que le stockage par hydrogène n'est pas nécessaire avant cette échéance. La réalité ne semble cependant pas si simple et des divergences voient le jour en fonction des échelles dans lesquelles les acteurs se situent (européenne, nationale, locale).

1.3.1 L'hydrogène, une solution de substitution pour le réseau de gaz

Pour les acteurs gaziers, l'enjeu est de trouver de nouveaux débouchés au regard des consommations de gaz qui sont amenées à diminuer fortement, selon les prévisions de la PPE et de la SNBC. Les orientations nationales projettent une réduction du gaz naturel de 22 % d'ici 2028, obligeant les acteurs du secteur à trouver de nouvelles solutions de substitution. L'hydrogène fait partie des options envisageables pour « verdir » le secteur, en ayant recours à une production décarbonée d'hydrogène et assurer ainsi aux acteurs une continuité de leur activité. L'enjeu, pour eux, est donc de mettre en œuvre, le plus tôt possible des projets de *Power-to-gas* afin de leur garantir une certaine maîtrise du sujet.

L'un de nos interlocuteurs de GRT Gaz, gestionnaire du réseau de gaz en France, met en avant plusieurs arguments qui viennent nuancer la conclusion de RTE à propos de l'absence de besoin en l'hydrogène comme moyen de stockage. Le premier concerne l'intérêt des acteurs territoriaux pour le développement des énergies renouvelables et les problèmes de congestion locaux présents au niveau du réseau de distribution électrique. Le deuxième souligne la nécessité de démarrer rapidement des projets expérimentaux pour assurer un déploiement à plus grande ampleur dès 2035.

« Alors, deux éléments qui viennent contrebalancer cette conclusion [de RTE], c'est d'une part l'échelle à laquelle est regardé ce problème. RTE, l'exercice qu'ils ont fait sur l'hydrogène n'a regardé que l'équilibrage sur le réseau national. Or le sujet qui est en train de monter très fortement dans le territoire c'est que les énergies renouvelables électriques ne sont pas raccordées au réseau de transport national. Elles sont à 95 % raccordées au réseau de distribution avec des phénomènes, pour le coup, un peu différents du grand équilibre national. [...] Et puis le deuxième phénomène, c'est une considération de dynamique industrielle. Certes, le besoin du point de vue du réseau n'est pas avant 2035, mais pour être capable de déployer des solutions et de s'appuyer sur un industriel national à partir de 2035, encore faut-il avoir commencé à démarrer des projets, avoir accompagné des premières réalisations, des premiers démonstrateurs et être prêt au moment venu. » (Entretien agent GRT Gaz, août 2020).

Pour les acteurs gaziers, comme pour les homologues du secteur électrique, l'enjeu est de maintenir leur activité et l'utilisation de leurs infrastructures. Dans ce contexte, injecter l'hydrogène dans le réseau de gaz ou avoir recours au processus de méthanisation (cf chapitre 1) présentent des avantages : ces deux solutions permettent de bénéficier du réseau de gaz sans avoir besoin de profondes modifications. Ainsi, la réalité ne semble pas si simple et des divergences apparaissent en fonction des intérêts mais aussi du référentiel dans lequel les acteurs se situent.

1.3.2 Une désectorisation de la politique énergétique difficile

Comme nous l'avons vu, la question du stockage de l'hydrogène est fortement liée à celle du couplage avec le réseau gazier. GRT Gaz, dans le rapport commandé par Nicolas Hulot et publié en 2019²⁰⁶, appelle ainsi à la mise en place par l'État d'un groupe de travail pour coordonner l'ensemble des acteurs des deux secteurs. Bien qu'il y ait un consensus affiché sur le fait de ne pas avoir besoin de stockage pour le réseau électrique avant 2035, la vision à plus long terme du système énergétique n'est pas si évidente. Plusieurs questions restent en suspens : réduction du nucléaire, date à partir de laquelle l'hydrogène en tant que solution de stockage sera nécessaire, etc.

En apparence, l'ensemble des acteurs interrogés semble en accord avec l'échéance 2035, mais les chemins pour y parvenir ne sont pas forcément similaires. Les représentations de l'hydrogène du secteur électrique et du secteur gazier ne sont pas forcément similaires. Les intérêts des acteurs de l'électricité et du gaz ne se croisent pas, les premiers cherchant à conforter leur position sur le marché, les seconds essayant de maintenir leur activité, très contestée par l'État (SNBC, PPE). Il en résulte l'absence de vision commune et systémique de la gestion de l'énergie, qui se fait au détriment du développement de l'hydrogène en tant que vecteur à l'interface entre plusieurs secteurs.

« On a mis quand même cinq réunions à expliquer qu'il fallait que l'électricien et le gazier se parlent un peu. [...] Aujourd'hui, on a quand même un système énergétique qui fonctionne en silo. Vous avez les électriciens, d'un côté, qui sont quand même très dominants dans le système français donc des EDF, RTE, ENEDIS et compagnie sur la vision électrique et puis, vous avez les opérateurs gaziers qui essaient de survivre avec la baisse de consommation en gaz. Et en fait, chacun est à un bout de la chaîne. Quand on parle du système énergétique du futur, on parle d'un croisement des vecteurs, c'est créer des synergies entre chaleur, gaz, électricité, hydrogène, bioressource enfin bioénergie. Et tout ça, c'est un mélange qui a du mal à prendre car chaque opérateur est bien campé sur son domaine. [...] Donc, en fait, on a vraiment du mal, aujourd'hui,

²⁰⁶ GRT Gaz. (2019). *Conditions techniques et économiques d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel* (p.46)

à constituer un bloc énergéticien français, à converger vers une vision du système énergétique futur à court/moyen et moyen/long termes. Tout le monde s'entend à dire qu'en 2050, l'hydrogène aura une place surement importante dans le système énergétique, ça ils le disent tous. Mais y'en a qui voudraient que ça soit maintenant, y'en qui veulent attendre 2030, 2040 etc., en fonction de leurs propres intérêts pour l'hydrogène. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020).

La controverse sur l'hydrogène comme moyen de stockage de l'hydrogène montre finalement des stratégies différentes entre les acteurs dominants des secteurs électriques et gaziers. L'approche sectorielle développée par chacun d'entre eux ne permet pas de penser le système énergétique différemment c'est-à-dire de manière systémique.

Finalement, cette controverse vient alimenter, selon nous, le glissement amorcé par le plan Hulot concernant la priorité des usages à mettre en place. Il n'est plus uniquement question de coupler directement source d'énergie renouvelable avec production d'hydrogène pour assurer un stockage de l'énergie électrique, mais de développer un marché de l'hydrogène avec comme applications la mobilité et l'industrie.

Dans cette perspective de décarbonation, un des enjeux qui devient prédominant est de pouvoir garantir un prix de l'hydrogène décarboné compétitif par rapport à celui de l'hydrogène issu d'énergie fossile. Cette nouvelle problématisation pose également la question du mode de production et des sources d'énergie à privilégier pour garantir un prix de l'hydrogène décarboné faible aux utilisateurs, et ainsi attirer de plus en plus de consommateurs.

2) Garantir un prix compétitif à l'hydrogène : de l'hydrogène « vert » à l'hydrogène « bas-carbone »

La nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que solution de décarbonation de la mobilité et de l'industrie vient remettre en question la nécessité d'avoir recours à une production uniquement issue d'énergies renouvelables à l'échelle locale, comme cela pouvait être mis en avant dans les phases précédentes. A cet effet, des débats émergent concernant les modes et échelles de production à mettre en œuvre pour répondre aux objectifs nationaux.

2.1 Favoriser l'hydrogène renouvelable ou l'hydrogène décarboné ?

Si l'enjeu est de décarboner la production d'hydrogène²⁰⁷, la manière d'y parvenir n'est pas toujours définie de manière précise. La définition des termes qualifiant le mode de production de l'hydrogène a fait l'objet de plusieurs débats et ne semble pas toujours claire. Des couleurs sont utilisées au niveau national et européen pour désigner l'hydrogène, la technologie et la source d'énergie. L'hydrogène est donc qualifié de vert, de bleu ou de jaune, ou d'hydrogène renouvelable, bas-carbone ou décarboné. Dans cette partie, nous nous intéressons aux définitions données à l'hydrogène et à la manière dont une terminologie s'est peu à peu imposée en France en faveur de l'hydrogène bas-carbone ou décarboné.

2.1.1 Les couleurs de l'hydrogène

Grâce à notre enquête, nous avons pu dresser le constat suivant : si plusieurs acteurs (agents des collectivités territoriales, acteurs économiques, industriels nationaux) témoignent de leur ambition d'avoir recours à de l'hydrogène « vert », la définition précise du terme et du mode de production associé est assez confuse. Pour certains, l'hydrogène « vert » correspond à l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau issu d'énergies renouvelables uniquement, alors que d'autres l'entendent comme l'hydrogène produit par électrolyse issu du mix du réseau (et donc aussi du nucléaire). Cette confusion, constatée au niveau des acteurs, est également présente dans la définition des termes dans les documents nationaux. À titre d'exemple, dans le plan Hulot, en 2018, est utilisé tantôt le terme d'hydrogène « décarboné » et d'hydrogène « vert », sans en avoir une définition précise. De manière générale, c'est le recours aux couleurs qui est utilisé pour désigner l'hydrogène, celui-ci pouvant être qualifié de « vert », de « jaune », de « bleu » ou de « rose », sans réellement savoir quelles technologies sont concernées. Il faut attendre la publication d'une ordonnance en février 2021 pour avoir une terminologie officielle des termes.

Cette ambiguïté, cultivée par les pouvoirs publics nationaux, peut notamment s'expliquer par le fait que la qualification de l'hydrogène s'inscrit dans un débat plus large sur le mix énergétique et notamment sur la place du nucléaire et des énergies renouvelables. Dans le plan Hulot, s'il n'est question que d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau, les termes hydrogène décarboné et hydrogène renouvelable sont mobilisés de manière confuse.

Le tableau ci-dessous, élaboré par l'AFHYPC, dresse une liste des couleurs mobilisées pour définir les modes de production de l'hydrogène. Il catégorise également les différentes technologies en fonction des émissions de carbone associées. Pour l'association, l'objectif est

²⁰⁷ Nous rappelons que la production d'hydrogène est à plus de 90% issue d'énergies fossiles (gaz naturel, charbon, hydrocarbures).

de clarifier les terminologies utilisées et de sortir de cette catégorisation par couleur pour adopter plutôt une approche dite « *colorblind*²⁰⁸ », c'est-à-dire en utilisant les termes hydrogène renouvelable, hydrogène bas carbone et hydrogène carboné. A cet effet, l'association associe chaque couleur à un de ces termes. Son objectif est de promouvoir « *toutes les formes d'hydrogène bas-carbone et renouvelable*²⁰⁹ » afin de développer massivement la production et l'utilisation de ce vecteur énergétique. Il ne s'agit donc pas, pour l'AFHYPAC, de privilégier uniquement l'hydrogène renouvelable mais de présenter aussi l'hydrogène bas-carbone comme « *le pilier de la transition énergétique*²¹⁰ » permettant de répondre aux enjeux de décarbonation.

Tableau 8 : les différentes couleurs de l'hydrogène en fonction des modes de production.
Source : AFHYPAC, Maxime Saingot

L'arc-en-ciel de l'hydrogène : ses différentes voies de production, son empreinte carbone et sa terminologie

	Couleur	Technologie	Source d'énergie ou d'électricité	Empreinte carbone ¹	Terminologie ²
Production via biomasse	Hydrogène vert	Thermolyse	Biomasse	Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène vert	Vaporeformage	Biométhane	Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
Production via l'électricité	Hydrogène vert	Electrolyse de l'eau	Solaire, éolienne, hydroélectricité	Minimale (< 2 kgCO2/kgH2)	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène rose		Nucléaire	Minimale (< 2 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène jaune		Réseau électrique (FR)	Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
Production via les énergies fossiles	Hydrogène bleu	Vaporeformage Gazéification	Gas naturel + CCUS Charbon	Basse (< 3 kgCO2/kgH2)	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène turquoise	Pyrolyse	Gaz naturel	Noir de carbone (co-produit)	/
	Hydrogène gris	Vaporeformage		Elevée (~ 11 kgCO2/kgH2)	Hydrogène carboné
	Hydrogène marron	Gazéification	Lignite	Très élevée (> 20 kgCO2/kgH2)	Hydrogène carboné
	Hydrogène noir		Charbon bitumineux	Très élevée (> 20 kgCO2/kgH2)	Hydrogène carboné

¹ Méthode d'évaluation des émissions de GES en périmètre well-to-gate incluant le scope 1, le scope 2 et le scope 3 « amont ».

² En reprenant la terminologie légale introduite à l'article L811-1 du code de l'énergie.

Cette terminologie hydrogène renouvelable et hydrogène bas carbone permet de mettre en avant l'hydrogène produit à partir d'électricité d'origine nucléaire. Pour l'État français,

²⁰⁸<https://www.lemondedelenergie.com/pour-approche-colorblind-hydrogene-soutenons-formes-renouvelables-bas-carbone/2022/06/17/>

²⁰⁹ Ibid.

²¹⁰ Ibid.

compte tenu de la forte place du nucléaire dans le mix électrique, le recours à cette source d'énergie est présenté, par plusieurs acteurs de la filière, comme un atout considérable sur lequel s'appuyer.

Dans notre cas et pour la suite de la thèse, nous considérons que l'hydrogène bas-carbone ou décarboné renvoie à une production d'hydrogène par électrolyse de l'eau alimentée par le réseau électrique, tandis que l'hydrogène renouvelable concerne une production par électrolyse de l'eau issue de sources renouvelables.

2.1.2 Le CEA : retour d'un acteur précurseur sur les questions d'hydrogène

Le lien entre hydrogène et nucléaire n'est pas nouveau et a déjà fait, en France, l'objet d'intérêt. Comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, dans les années 1970 la production d'hydrogène est envisagée comme un débouché de la production électrique nucléaire. L'hydrogène est perçu comme un moyen d'augmenter la rentabilité des installations prévues dans le plan Messmer de 1974 grâce à l'utilisation des surplus d'électricité. Les acteurs du secteur énergétique notamment EDF, le CEA et GDF mènent alors des recherches à ce sujet jusqu'au début des années 1980.

« L'hydrogène, il a commencé à être étudié très largement dans le monde comme solution énergétique dans les années 1980 après le choc pétrolier des années 1970. Et là y'a eu un engouement mais partout dans le monde c'est-à-dire que tous les grands laboratoires se sont mis à travailler sur l'hydrogène et puis comme la pression est retombée sur le prix de l'essence au milieu des années 1980 eh bah le souffle est retombé et tout le monde a un peu arrêté. Sauf que on avait sorti les grandes idées lors de cette période-là et en particulier il y avait une vision nucléaire de production hydrogène par des cycles thermochimiques²¹¹ qui utilisaient la chaleur des réacteurs nucléaires principalement. »
(Entretien agent du CEA, juillet 2020).

Au début des années 2000, l'hydrogène fait une nouvelle fois l'objet d'un intérêt particulier pour les acteurs du nucléaire. Cette « phase du renouveau », selon Belot et Picard (2014), est marquée par la présence d'acteurs industriels et de ceux du nucléaire (CEA, EDF, SORAPEC, AREVA, etc.). Plusieurs recherches sont menées entre production d'hydrogène et nucléaire par ces derniers. En effet, l'un des objectifs assignés aux nouveaux réacteurs nucléaires de quatrième génération (GEN IV) est de pouvoir produire de l'hydrogène. « Et

²¹¹ Procédé de production d'hydrogène qui décompose l'eau grâce à la chaleur des réacteurs nucléaires.

puisque nous sommes dans l'innovation, rien n'interdit d'imaginer que ces nouveaux réacteurs nucléaires puissent satisfaire un autre objectif d'actualité : la production d'hydrogène²¹² ».

Dans ce contexte, certains acteurs du secteur se démarquent plus que d'autres en étant fortement actifs sur le sujet. Le CEA joue un rôle important dans l'orientation des recherches sur l'hydrogène. A titre d'exemple, au début des années 2000, dans le cadre du programme de coopération internationale génération 4 (GEN IV), piloté par les États-Unis et regroupant une quinzaine de pays, il participe aux recherches menées sur la production d'hydrogène grâce à ces nouveaux réacteurs. La focale est davantage axée sur la production par cycle thermochimique. Après plusieurs années, en 2009, l'organisme conclut avec le département de l'Énergie américain (DOE) que les procédés thermochimiques sont moins intéressants d'un point de vue économique comparativement à l'électrolyse de l'eau (entretien agent du CEA, juillet 2020). Le CEA n'abandonne pas pour autant ses activités sur l'hydrogène puisqu'il mène depuis 2004 des recherches sur l'électrolyse haute température, celles sur les cycles thermochimiques ne faisant plus l'objet de financement depuis 2007.

Le CEA est également fortement présent dans les différents réseaux autour de l'hydrogène. A la fin des années 1990, le réseau PACO est mis en place pour regrouper les acteurs autour de la thématique pile à combustible et hydrogène. Ce réseau est alors coordonné par le CEA jusqu'en 2004, date à laquelle il prendra fin. Enfin, dans les années 2005 et 2010 les différents appels à projets lancés par l'agence nationale de la recherche sont coordonnés par le CEA (cf chapitre 1). Ce dernier se démarque dans la mesure où il est présent dans plus de la moitié des projets lauréats. Le CEA est également impliqué dans les sphères nationale (participation à la rédaction du plan Hulot ; membre du conseil d'administration de l'association AFHYPAC depuis sa création) et européenne (partenariat européen FCH JU²¹³).

Aussi bien dans les années 1970 (cf. chapitre 1) qu'au début des années 2000, l'hydrogène intéresse donc les acteurs du nucléaire, qui y voient un moyen d'augmenter la rentabilité des centrales. En 2018, après la publication de la stratégie nationale, l'objectif pour ces acteurs n'est plus le même puisqu'il ne s'agit pas de mettre la production d'hydrogène au service du nucléaire mais plutôt l'inverse, afin de garantir une production du vecteur énergétique à plus bas coûts.

²¹² Extrait du magazine La Jaune & La Rouge, magazine des anciens polytechniciens, Jacques Bouchard et Dominique Vignon, 2001

²¹³ Le FCH-Ju (*Fuel cell hydrogen joint undertaking*) est un partenariat public-privé européen qui soutient les recherches et le développement des technologies hydrogène. Ce partenariat regroupe des associations nationales, des industriels et des laboratoires de recherche.

2.1.3 Le nucléaire, sauveur de l'hydrogène ?

L'analyse publiée par RTE, en janvier 2020, étudie trois scénarios possibles pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau²¹⁴, reflétant l'état des réflexions des acteurs de la filière. Le premier propose une production alimentée en électricité durant les périodes de surplus (nucléaire et renouvelable). Le deuxième prend en compte un approvisionnement sur le marché d'électricité de base hors période de pic de consommation. Le troisième considère un couplage direct entre production d'électricité renouvelable et électrolyseur, c'est-à-dire sans avoir recours au réseau. Dans ce dernier cas, l'électrolyseur est alors sous-dimensionné par rapport à la capacité de production d'énergie renouvelable disponible, afin d'assurer une production d'énergie électrique suffisante pour alimenter les électrolyseurs et permettre également de revendre ou d'injecter le surplus d'électricité dans le réseau.

De cette analyse, le gestionnaire des réseaux électriques tire plusieurs conclusions. D'abord, le premier scénario est celui qui présente les coûts de production d'hydrogène décarboné les moins compétitifs par rapport à ceux de l'hydrogène fossile. La seule utilisation des surplus d'électricité ne permet qu'une utilisation limitée des électrolyseurs, ce qui induit des coûts fixes importants et un faible amortissement des électrolyseurs. Le deuxième scénario présente les coûts de production les plus faibles, mais est tributaire du prix de l'électricité sur le marché. Il apparaît donc nécessaire d'avoir accès à un prix le plus bas possible de l'électricité. Enfin, pour le dernier scénario, les principaux coûts sont liés à l'installation d'une production d'énergie renouvelable et dépendent donc de critères géographiques et météorologiques.

En conclusion, selon l'analyse de RTE, le deuxième scénario semble être le plus à même de produire un hydrogène décarboné à un coût compétitif par rapport à l'hydrogène issu d'énergie fossile.

Dans le même registre, une étude de l'agence internationale de l'énergie (AIE) montre qu'il est optimal d'utiliser un électrolyseur pour une durée comprise entre 3000 et 6000 heures par an pour baisser les coûts²¹⁵. Selon l'agence, de telles durées d'utilisation nécessitent de faire appel au réseau électrique pour garantir une alimentation en électricité de façon quasiment continue ou du moins pour venir compléter une alimentation directe par énergie renouvelable. Il est également préconisé d'avoir accès à une électricité bon marché puisque le coût de l'électricité influence fortement le coût de production de l'hydrogène²¹⁶.

Ces deux arguments viennent appuyer les visions en faveur du recours au mix énergétique français défendues par l'AFHYPAC et des acteurs du secteur de l'énergie (EDF, CEA, Air

²¹⁴ RTE. (2020). *La transition vers un hydrogène bas carbone*. p. 8

²¹⁵ International Energy Agency. (2019). *The Future of Hydrogen: Executive Summary and recommendations*

²¹⁶ Durville, J.-L., Gazeau, J.-L., Nataf, J.-M., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène énergie—CGEDD - CGE* (p. 161).

Liquide, etc.). En effet, le mix énergétique français à 70 % nucléaire, permet d'assurer une électricité décarbonée et à un coût peu élevé par rapport à d'autres pays européens. Ce besoin d'avoir des durées d'utilisation élevées voire très élevées et un prix de l'électricité le plus bas possible vient discréditer le recours aux énergies renouvelables. Plusieurs acteurs considèrent qu'il n'est pas possible d'atteindre les objectifs français et européen de production d'hydrogène en misant exclusivement sur une production par électrolyse issue des énergies renouvelables.

Dès lors, l'énergie nucléaire est mise en avant pour son contenu carbone faible et sa capacité à répondre aux objectifs de production d'hydrogène. Le mix énergétique français est présenté, par plusieurs acteurs, comme un atout considérable pour la France pour assurer une production massive d'hydrogène. Pour l'AFHYPAC et ses alliés du secteur de l'énergie, il n'est pas question de se passer de cet avantage si on veut parvenir à produire un hydrogène décarboné à coût compétitif. L'association mais aussi l'électricien français EDF mettent en avant l'opportunité de s'appuyer sur l'électricité du réseau français et l'avance considérable par rapport à d'autres pays européens ne disposant pas d'un mix énergétique décarboné.

« Donc une des difficultés auxquelles on va se heurter si on ne fait ça qu'avec des énergies renouvelables... c'est peut-être le deuxième aspect je dirais à côté de ces aspects de coûts et ces aspects à l'énergie, c'est le fait que si on ne fait ça qu'avec des renouvelables, il faut énormément de renouvelable. [...] La situation en France est complètement différente, c'est vrai, tant qu'on garde le nucléaire ! » (Entretien agent EDF, décembre 2020).

Cette question sur l'origine de la source d'énergie (renouvelable ou nucléaire) à privilégier fait néanmoins débat. L'AFHYPAC et certains acteurs du secteur de l'énergie (EDF, RTE, etc.) interpellent l'État sur l'importance de soutenir à la fois l'hydrogène bas carbone et l'hydrogène renouvelable. En revanche, pour d'autres énergéticiens comme ENGIE, fortement impliqué dans le déploiement des énergies renouvelables en France, il ne s'agit pas de mettre sur un pied d'égalité hydrogène renouvelable et hydrogène décarboné. L'énergéticien considère que l'hydrogène issu d'énergies électriques renouvelables doit faire l'objet d'un soutien plus important pour favoriser la production d'hydrogène renouvelable par rapport à celle décarbonée²¹⁷.

Du côté de l'État, les signaux envoyés en faveur d'une production exclusivement issue d'énergies renouvelables sont plutôt faibles. Par exemple, l'appel à projets de l'Ademe « Ecosystèmes de mobilité hydrogène » ne prévoit pas de soutien très important au

²¹⁷ Assemblée nationale, Compte-rendu de la mission d'information relative aux freins à la transition énergétique, table ronde du 24 janvier 2019.

développement d'une production d'énergie renouvelable pour alimenter un électrolyseur, dans la mesure où une bonification assez faible (5 %) est prévue. En témoignent aussi les débats qui se tiennent à l'occasion de l'élaboration de la loi Énergie-Climat au Sénat et à l'Assemblée nationale durant l'été 2019. Dans le projet de loi, déposé initialement par le gouvernement, aucune proposition relative à un cadre de soutien à l'hydrogène n'est présente. Un premier amendement, introduit par la Commission de l'Assemblée nationale²¹⁸, propose d'élargir certaines dispositions à l'hydrogène et prévoit la mise en place d'un cadre juridique pour l'hydrogène renouvelable par ordonnance. Le nouvel article 52²¹⁹ de la loi Énergie-Climat habilite alors le gouvernement à préciser par ordonnance la définition des termes liés à la production d'hydrogène ainsi que le cadre de soutien pour l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables.

En première lecture de la Commission du Sénat, un nouvel amendement est déposé afin de ne pas restreindre ce dispositif seulement à l'hydrogène renouvelable, mais de l'élargir à l'hydrogène bas carbone produit par électrolyse de l'eau. Cet amendement est repris et adopté par le gouvernement. S'il soutient la production d'hydrogène bas carbone par électrolyse de l'eau, il écarte toutefois les procédés ayant recours au captage de CO₂, technologie que le gouvernement ne veut pas favoriser²²⁰.

Finalement, ces dispositifs législatifs envisagent de soutenir l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau issu du mix du réseau électrique au même titre que l'hydrogène issu d'énergies renouvelables. Pour autant, le terme hydrogène renouvelable n'est toujours pas défini par l'État. Ce terme reste donc ambigu et fait l'objet de débats lors de l'ordonnance rédigée par le ministère de la Transition Écologique en 2020 – 2021, comme nous verrons dans le chapitre suivant.

Outre ces questionnements concernant les sources d'énergie à mobiliser et les soutiens étatiques pour l'hydrogène bas carbone et l'hydrogène renouvelable, ce sont également des interrogations concernant les échelles de production qui font l'objet de visions divergentes entre les acteurs.

2.2 Quelle échelle de production pour l'hydrogène ?

Cette nouvelle vision concernant une production d'hydrogène par électrolyse issue du mix du réseau électrique et la nécessité de faire fonctionner les électrolyseurs de manière intensive pour assurer un meilleur amortissement remettent en cause l'idée d'avoir recours à une

²¹⁸ https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion-eco/115b2063_rapport-fond#_Toc256000056 (Consulté le 25/10/2022)

²¹⁹ Article 52 de la LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

²²⁰ https://www.senat.fr/amendements/2018-2019/658/Amdt_331.html (Consulté le 25/10/2022)

production locale c'est-à-dire aux plus proches des usages. Face à ces questionnements, l'État n'adopte pas une position claire et reste en retrait, contrairement aux Régions qui semblent de plus en plus concernées par le sujet.

2.1.2 Une remise en cause du modèle d'écosystèmes de mobilité locaux ?

La logique de l'écosystème local mettant en avant une source d'énergie électrique renouvelable directement couplée à une production d'hydrogène par électrolyse (alimentant une station de distribution à hydrogène) semble peu à peu remise en question. Le couplage direct énergie renouvelable – électrolyseur et petites unités de production locales ne fait pas l'unanimité auprès de plusieurs acteurs, pour des raisons économiques, mais aussi techniques. D'ailleurs, parmi les projets qui émergent durant la période 2018 – 2019, peu d'unités de production sont directement couplées à une source d'énergie renouvelable.

Cette vision développée par l'Ademe notamment se heurte à celles d'acteurs industriels qui prônent l'idée de mettre en place des unités de production de grande capacité (plusieurs centaines de kilogrammes d'hydrogène par jour produit²²¹). Ces acteurs considèrent que la première étape pour faire baisser les coûts est de prévoir des systèmes de production centralisés.

« Ils [l'Ademe et la DGEC] sont encore restés fortement axés sur... ils ont cette image que vous allez avoir une éolienne ou un panneau solaire, une station enfin un électrolyseur et une station. Ça, ce n'est pas réel ! Peut-être en 2050, quand tout ça sera tellement développé. Je veux dire si vous voulez commencer à amorcer la pompe, il faut une centralisation au départ. » (Entretien agent 2 Air Liquide, mai 2019).

Ces débats sur la manière de déployer l'hydrogène mettent également en lumière des points de vue divergents entre les secteurs concernés. Par exemple, la configuration développée par le consortium H2MF autour des écosystèmes de mobilité laisse effectivement entrevoir de petites unités de production associées aux stations de distribution, comme c'est le cas pour le projet ZEV. Cette approche a surtout pour objectif de développer la mobilité hydrogène et de vendre des véhicules rapidement, dans la mesure où les électrolyseurs de petite capacité sont déjà disponibles sur le marché. La mise en place de production *in situ* permet également de s'affranchir des coûts de distribution et de transport souvent onéreux.

Pour le monde de l'énergie et de l'industrie, l'enjeu est de pouvoir produire un hydrogène décarboné à un coût compétitif afin de le substituer à l'hydrogène issu d'énergie fossile. Ainsi,

²²¹ Aucune vision claire n'est donnée sur un seuil minimal lorsque l'on parle d'unité grande capacité.

ces acteurs prônent davantage la mise en place d'unités de production de grande capacité afin d'avoir un meilleur taux d'amortissement de leurs équipements.

« D'ailleurs les gens de la mobilité, alors quand je parle de la mobilité ce sont surtout les constructeurs et les équipementiers automobiles. Voilà, eux, ils sont vraiment sur leur industrie véhicule, il faut qu'ils sortent des véhicules en nombre. Donc, eux, disons le foisonnement va dans leur sens par contre il est contre-productif sur le volet production décarbonée. Donc, eux, pour pouvoir sortir du véhicule, voilà, ils disent si côté énergie/industrie ils ne sont pas capables de nous donner un modèle d'énergie décarboné, bah nous on va le mettre en place avant par de l'électrolyseur diffus. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020).

Les représentants de la filière, tels que l'AFHYPAC et certains industriels, notamment dans le domaine de l'énergie et de l'industrie, considèrent que seules des installations d'une taille suffisante (autour du MW c'est-à-dire plusieurs milliers de tonnes par an) permettent d'assurer un modèle économique viable à l'hydrogène. Pour eux, il faut envisager de déployer l'hydrogène à une échelle « centralisée ou semi-centralisée », c'est-à-dire mettre en place quelques unités de production à l'échelle régionale voire nationale.

L'AFHYPAC met en avant le besoin de regrouper des usages pour atteindre des volumes de production de plusieurs centaines de kilogrammes par jour. Pour cela, l'association considère qu'il faut s'appuyer sur des zones favorables, comme les ports ou les plateformes industrielles pour produire de l'hydrogène et ensuite ravitailler l'ensemble des stations de distribution présentes sur une zone plus étendue. Cette volonté de massifier l'offre en matière d'hydrogène décarboné s'accompagne nécessairement, pour les acteurs industriels, d'une forte augmentation de la demande. Ainsi, dans l'esprit de certains, pour favoriser l'implantation de grosses unités de production d'hydrogène, il est nécessaire de trouver des « espaces » qui répondent à plusieurs critères qu'ils jugent pertinents. Ces critères sont la présence d'industriels consommant beaucoup d'hydrogène et prêts à investir, des infrastructures de production d'électricité renouvelable et des outils réglementaires aussi bien sur l'industrie que sur la mobilité (par exemple les zones à faibles émissions) pour inciter des usagers à investir dans des solutions d'hydrogène.

Cette logique est énoncée par l'AFHYPAC dans un rapport publié²²² en septembre 2018. L'association cible les territoires « pertinents », de son point de vue, pour mettre en place des écosystèmes hydrogène. Ces territoires sont soit des ports maritimes, des plateformes

²²² AFHYPAC. (2018). *L'hydrogène, enjeu national, défis territoriaux* (p. 28)

chimiques ou de grandes plateformes logistiques, autant de sites qui réunissent les caractéristiques nécessaires pour engendrer une demande jugée suffisante.

« En termes d'implantation, le modèle qui semble se dégager dans l'immédiat est semi-centralisé, ce qui correspondrait à un électrolyseur de taille significative de plusieurs mégawatts pour atteindre les effets d'échelle, situé près d'un gros consommateur, comme un important dépôt de bus ou une grande entreprise industrielle, et délivrant également de l'hydrogène dans des stations de recharge satellites, certainement par camions dans un premier temps, puis progressivement par réseau. » (Extrait de la table ronde de l'Assemblée nationale, AFHYPAC, janvier 2019).

Pour l'AFHYPAC, il s'agit donc de sortir du caractère « local » de la logique des écosystèmes, tels qu'ils se sont développés depuis quelques années, pour penser plutôt des projets de plus grande envergure permettant à des industriels d'augmenter leur capacité de production. L'association montre que, derrière l'enjeu de massification des usages, c'est aussi la volonté de permettre aux industriels d'industrialiser les procédés. L'objectif est de pouvoir, à terme, construire une filière française de l'hydrogène, c'est-à-dire avoir des industriels français qui fournissent les technologies et services nécessaires.

« On travaille aussi sur ce qu'on appelle les écosystèmes à fort enjeux, c'est-à-dire les écosystèmes qui dépassent un petit peu le strict cadre du projet local, qui auront un impact sur la structuration de la filière nationale. [...] Et pour massifier, en fait, il y a des territoires qui sont particulièrement propices pour ça, typiquement une zone industrialo-portuaire. » (Entretien agent 2 AFHYPAC, novembre 2019).

Pour ces acteurs issus de l'industrie et du secteur de l'énergie principalement, il n'est donc plus question de restreindre les projets à des petites unités de production sur site avec quelques véhicules associés à une station mais de changer d'échelle. Pour ces derniers, la vision qui se dessine est celle d'un déploiement d'unités de production de moyenne et grande capacité situées dans les zones qui présentent, selon eux, un potentiel élevé en termes de besoins en hydrogène. Face à ces nouveaux enjeux, le rôle des pouvoirs publics dans la planification du déploiement de l'hydrogène reste à questionner. Quelle posture adopte l'État vis-à-vis de cette nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène ? Quel rôle les Régions jouent-elles dans l'implantation d'unités de production à leur échelle ?

2.2.2 Une action publique nationale tâtonnante

Lors d'un débat, en janvier 2019, sur les freins à la transition énergétique à l'Assemblée nationale, une table ronde est organisée sur l'hydrogène, à laquelle participent l'AFHYPAC, ENGIE, l'association NégaWatt, le laboratoire de recherche FC Lab et la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du ministère de la Transition Écologique. Le compte-rendu de la séance reflète bien les positions divergentes entre les participants, ainsi que la position encore hésitante de l'État sur ces questions. La DGEC exprime le fait de ne pas avoir encore tranché entre deux visions qui se profilent : privilégier et soutenir uniquement la production d'hydrogène issue d'énergies renouvelables ou soutenir la production d'hydrogène décarboné, dans le sens issu du réseau, afin d'assurer une meilleure rentabilité économique des installations.

« Nous envisageons potentiellement deux modèles sensiblement différents. Le premier est un modèle d'autonomie énergétique, avec des énergies renouvelables à hydrogène. [...] Cette solution serait toutefois limitée à la durée de production de ces énergies intermittentes. Le second modèle consiste en de l'hydrogène raccordé sur le réseau, donc en mesure de fonctionner sur des durées plus longues, avec une flexibilité plus importante. Nous en sommes là de notre réflexion, qui évoluera selon la structuration du marché et l'offre que les industriels vont nous proposer²²³. » (Extrait de la table ronde de l'Assemblée nationale, DGEC, janvier 2019)

Les appels à projets de l'ADEME, publiés en 2018, montrent une forme d'articulation et de cohabitation entre les problématiques précédentes et la nouvelle en cours d'émergence. Ces dispositifs, comme le plan Hulot, confirment que le choix au niveau ministériel n'est pas arrêté. De crainte de ne pas avoir assez de candidatures en étant trop prescriptive, l'agence laisse le choix concernant les modes de production (entretien agent 1 ADEME, juin 2020) (cf. chapitre 2). Ainsi, plusieurs technologies autres que l'électrolyse de l'eau (vaporeformage de biométhane, pyrogazéification de biomasse) sont éligibles. Néanmoins, la production par électrolyse de l'eau constitue la majorité des projets lauréats.

En outre, pour ce premier appel à projets « écosystèmes de mobilité hydrogène », aucun critère de dimensionnement n'est imposé par l'Ademe en ce qui concerne les infrastructures. L'agence considère que des petites unités utilisées à 100 % de leur capacité permettent d'assurer une rentabilité des stations, plutôt que de prévoir des unités surdimensionnées. Pour elle, il s'agit également d'un moyen de s'affranchir des coûts de logistique en installant les unités de production proches des usages.

²²³ Assemblée nationale, Compte-rendu de la mission d'information relative aux freins à la transition énergétique, table ronde du 24 janvier 2019. P. 17

Le plan Hulot ne donne pas de ligne directrice et n'affirme pas de choix concernant les échelles de production et les sources d'énergies électriques. L'État, à travers les appels à projets de l'Ademe, adopte une position « attentiste », où il tâtonne en fonction des projets qui émergent et dont il espère pouvoir tirer des modèles pertinents à répliquer. Ce positionnement de l'État fait l'objet de vives critiques par les acteurs industriels des différents secteurs qui réclament une meilleure visibilité sur ses intentions. Les difficultés rencontrées par les financements du plan Hulot viennent renforcer le manque d'un positionnement étatique clair. En effet, les annonces de Nicolas Hulot, lors de la présentation du plan hydrogène, concernant un budget de 100 millions d'euros par an sur cinq ans pour soutenir la filière, ne sont finalement pas tenues. Ce décalage entre les promesses et le budget alloué s'explique par une situation de tension entre le ministère de la Transition Écologique et le ministère de l'Économie sur l'approche à adopter pour soutenir la filière hydrogène (cf. chapitre 4).

2.2.3 Les Régions, un échelon majeur dans le déploiement de l'hydrogène ?

Les années 2018 – 2019 sont donc marquées par une action publique étatique balbutiante. Dans ce contexte, l'État compte sur les collectivités territoriales et leurs capacités d'action pour soutenir le déploiement de l'hydrogène. Le plan Hulot, à travers la notion d'écosystèmes territoriaux de mobilité, met en avant l'idée que les projets de mobilité hydrogène doivent être portés par les territoires (cf. chapitre 2). Dans cette optique, le ministère de la Transition Écologique encourage les territoires, et plus spécifiquement les Régions, à créer un contexte favorable au déploiement « *d'écosystèmes d'hydrogène locaux* » et à accompagner financièrement à l'aide de partenariats publics-privés les « *premiers écosystèmes hydrogène* ». Il désigne l'investissement financier des régions, comme une « *condition* » nécessaire pour que les industriels décident d'investir à leur tour. « *Les régions qui croient en ces écosystèmes les accompagnent naturellement au niveau financier, les industriels impliqués étant de nature à créer des emplois locaux*²²⁴ ».

Ainsi, l'État mais également certains acteurs industriels comme le consortium H2MF et des membres de l'AFHYPAC identifient les Régions comme des acteurs nécessaires au déploiement de l'hydrogène en France.

« On va dire que de fait les Régions de par leurs compétences sont des interlocuteurs privilégiés. Parce que c'est elles qui ont à leur charge toute la partie développement économique, c'est elles qui vont pouvoir monter des sociétés de projets. [...] La région elle va mailler tout son territoire, aller chercher les collectivités, c'est elle qui a les fonds aussi pour venir en appui aux projets, c'est elle qui draine les fonds européens. C'est elles qui ont les SRADDET donc schéma directeur qui s'impose aux autres schémas

²²⁴ CEA, & DGEC. (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. MTES. p40

intercommunaux. Donc voilà, de fait, la Région est une instance qui s'impose dans la filière. » (Entretien agent 2 de l'AFHYAPAC, novembre 2019).

Pour autant, si le plan Hulot va jusqu'à affirmer que la bonne réussite du déploiement de l'hydrogène en France est « conditionnée » par leur implication et leur soutien²²⁵, il ne livre cependant pas plus d'informations sur les attentes vis-à-vis de leurs actions.

« Mais là on est dans la phase où tout le monde attend tout le monde. L'État attend que les industriels proposent des choix structurés, les industriels attendent que l'État les oriente vers de la structuration et tout le monde se dit : les Régions pourraient avoir un rôle à jouer sans les solliciter réellement. Voilà, on en est là aujourd'hui. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020)

Du côté des Régions, certaines n'ont cependant pas attendu les dynamiques nationales pour mettre en place des actions sur l'hydrogène, comme en témoigne la région Auvergne-Rhône-Alpes avec le projet ZEV. Ces dernières font preuve d'un fort engouement sur le sujet et d'une volonté de se positionner comme des acteurs clés dans le déploiement de ce vecteur énergétique.

Cette section nous a permis de montrer la manière dont les controverses associées au stockage de l'énergie électrique viennent modifier les problématisations construites autour de l'hydrogène. La remise en cause initiée par les acteurs historiques du secteur électrique modifie la perception de l'hydrogène. Celui-ci ne doit pas être envisagé, prioritairement, comme un vecteur de stockage des énergies renouvelables, mais comme un moyen de décarbonation pour certains domaines. Cette nouvelle problématisation de l'hydrogène marque, selon nous, un glissement dans la manière de projeter son déploiement. Les enjeux de stockage et de flexibilité sont relégués au second plan et l'objectif principal est de substituer l'hydrogène décarboné aux énergies fossiles.

Cette nouvelle vision est également soutenue par le ministre de la transition écologique, Nicolas Hulot, avec la publication d'un plan national en juin 2018, qui envisage de déployer

²²⁵ Ibid.

massivement l'hydrogène pour décarboner la mobilité notamment lourde et l'industrie. Cette première stratégie nationale s'avère néanmoins ambiguë. Il reflète, selon nous, un positionnement tâtonnant de l'action publique étatique qui ne parvient pas à proposer une vision unique du déploiement territorial de l'hydrogène. Cette stratégie encourage tant l'approche des écosystèmes locaux que les usages industriels et le changement d'échelle de production et de distribution.

Si l'enjeu de parvenir à un coût de l'hydrogène décarboné compétitif était déjà présent lors des années précédentes, l'identification de ces nouveaux objectifs positionne cette problématique au cœur de tous les intérêts. A cet effet, des interrogations émergent concernant les formes de production à privilégier. Au-delà des échelles de production, c'est le recours aux énergies renouvelables qui est questionné et pour lesquelles des divergences de vision se manifestent. Les acteurs de l'énergie et de l'industrie ainsi que l'AFHYPAC soutiennent l'idée d'aller vers des unités de production centralisées, voire semi-centralisées, sans toutefois en définir clairement les contours. A l'opposé, l'Ademe et quelques acteurs du secteur de la mobilité plaident pour une production plus diffuse, à une échelle locale.

Cette période est donc caractérisée par la coexistence de choix non tranchés et la position attentiste de l'État vis-à-vis des territoires conçus en tant qu'espaces d'expérimentations. La tendance semble néanmoins se diriger vers des installations de plus grandes capacités, délaissant peu à peu la vision « locale » en cours d'amorçage dans les territoires. En témoignent les « Journées hydrogène dans les territoires »²²⁶, organisées par l'AFHYPAC à Marseille en juillet 2019, où les mots d'ordre sont « passage à l'échelle » et « massification » de la production et des usages pour satisfaire des logiques économiques et industrielles. Dans cette perspective, les collectivités territoriales, notamment les Régions, sont explicitement ciblées par le déploiement de l'hydrogène, en raison de leurs compétences institutionnelles et leur capacité de planification.

²²⁶ <https://www.france-hydrogene.org/publication/7e-edition-des-journees-hydrogene-dans-les-territoires/>

SECTION 2 : ÉMERGENCE DE LA LOGIQUE DES HUBS HYDROGENE REGIONAUX

En parallèle de ces dynamiques à l'échelle nationale, plusieurs Régions, au cours de l'année 2018, manifestent un réel intérêt à devenir actrices du déploiement de l'hydrogène en France. Ces ambitions régionales s'inscrivent, selon nous, dans la volonté de « massifier » la production et les usages. Des dispositifs d'action publique sont mis en œuvre par ces échelons infranationaux qui développent une vision du déploiement de l'hydrogène sur leur territoire et proposent une première structuration de projets de plus grande ampleur formant un « hub hydrogène régional ».

Depuis les changements institutionnels successifs²²⁷, les Régions détiennent davantage de compétences administratives. Leur rôle de chef de filât du développement économique, de l'innovation et de la transition énergétique laisse penser qu'elles ont les cartes en main pour structurer un déploiement régional de l'hydrogène et se positionner comme un échelon majeur dans la gouvernance d'une filière française hydrogène. Néanmoins, leurs marges de manœuvre dans la planification régionale du déploiement de l'hydrogène sont parfois limitées.

En nous intéressant à la mise en œuvre de stratégies régionales hydrogène, nous souhaitons questionner, dans cette section, le caractère stratégique attribué aux Régions par une pluralité d'acteurs (État, Europe, acteurs industriels, etc.).

1) 1) Structurer des filières hydrogène à l'échelle régionale

Avant d'analyser la manière dont certaines Régions se sont intéressées au sujet hydrogène, nous souhaitons faire un bref rappel des compétences qu'exercent une Région française dans les différentes politiques sectorielles qui touchent l'hydrogène (mobilité, énergie, développement économique, recherche et innovation, formation, etc.). À cet effet, le Tableau 9 ci-dessous **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** recense brièvement les compétences exclusives des Régions dans les différents domaines.

²²⁷ LOI n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles et la LOI n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République.

Tableau 9 : les compétences régionales relatives aux domaines concernant l'hydrogène. Réalisation : auteure à partir des données de l'association Régions de France.

Politiques sectorielles	Compétences exclusives des régions
Transports	Autorité organisatrice des transports : <ul style="list-style-type: none"> - TER - Transports interurbains et scolaires - Gestion des gares publiques routières, des aérodromes et des ports régionaux
Enseignement supérieur et recherche	Schéma régional pour l'enseignement supérieur, la recherche et l'innovation
Formation professionnelle	Politique régionale de la formation professionnelle
Développement économique et innovation	<ul style="list-style-type: none"> - Chef de filât développement économique - Schéma régional de développement économique, d'innovation et d'internationalisation. - Anime les pôles de compétitivité - Définis les orientations en matière d'aides aux entreprises, des politiques d'attractivité
Aménagement du territoire et environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Chef de filât dans la transition énergétique - Schéma régional de l'aménagement, du développement durable et d'égalité des territoires. - Définis les objectifs en matière de lutte contre le changement climatique, les objectifs de maîtrise et de valorisation de l'énergie
Gestion des fonds européens	Gestion des fonds européens et devoir de coproduire avec des collectivités territoriales des projets territoriaux

1.1 Identification du rôle des Régions dans le déploiement de l'hydrogène en France

L'exemple de l'Occitanie met en lumière la façon dont la Région se saisit de la question de l'hydrogène pour en faire un axe stratégique de sa politique énergétique et de développement économique. L'Occitanie est l'une des premières Régions à publier une feuille de route hydrogène qui promeut une vision régionale et planifie le déploiement territorial de ce vecteur²²⁸. Il nous semble donc important de revenir sur cet exemple qui a inspiré, selon nous, d'autres stratégies régionales par la suite.

1.1.1 Exemple du plan hydrogène de la région Occitanie

La présidente de la Région Occitanie fait de l'hydrogène un des sujets emblématiques de sa politique énergétique et l'Occitanie devient l'une des premières régions à publier une stratégie sur l'hydrogène²²⁹. Dans le plan régional « Hydrogène vert²³⁰ », des objectifs sont fixés, aux horizons 2024 et 2030, en matière de production et d'usages. Un budget de 150 millions d'euros est dédié pour la période 2019 – 2030, avec une répartition des financements autour de cinq axes de développement (voir Tableau 10).

Cette stratégie occitane témoigne de l'ambition de mettre en place une filière régionale de l'hydrogène et de positionner des acteurs présents sur le territoire sur le marché de l'hydrogène vert. À travers sa feuille de route hydrogène, la Région Occitanie montre sa volonté d'être un pilote du déploiement de l'hydrogène sur le territoire régional, en mettant en place un panel de dispositifs d'action (appels à projets, subventions, etc.) déclinés dans plusieurs des politiques sectorielles régionales.

²²⁸ La Normandie a publié en novembre 2018 une feuille de route hydrogène mais celle-ci n'était pas, selon nous, aussi détaillée et aboutie que celle de l'Occitanie.

²²⁹ La Normandie a publié, en octobre 2018, une feuille de route hydrogène avec un budget de 15 millions d'euros sur cinq ans.

²³⁰ Par hydrogène vert il est entendu ici une production issue d'énergie renouvelable (électrolyse de l'eau, vaporeformage de biomasse, pyrogazéification de biomasse, etc.).

Tableau 10 Plan Hydrogène Occitanie publié en juin 2019.

Source : dossier de presse de la région Occitanie sur le plan hydrogène vert. Réalisation : auteure

Domaines d'action	Objectifs	Budget alloué (M€)
Production, stockage et distribution d'hydrogène vert	En 2024 : 20 stations, 2 sites de production par électrolyse et une usine de production d'hydrogène. En 2030 : 55 stations, 10 sites de production et 2 usines de production.	20
Développer les usages de mobilité hydrogène	Développement d'autobus, trains, barges et avion à hydrogène. Acquisition de 3 rames de train H ₂ par la Région d'ici 2024.	45 (dont 33 millions pour les TER)
Aider et soutenir l'acquisition de véhicules hydrogène	En 2024 : 200 véhicules (autocars, véhicules lourds ou utilitaires). En 2030 : 2000 véhicules.	25
Soutenir des écosystèmes territoriaux	En 2024 : 8 stations hydrogène. En 2030 : 25 stations et l'acquisition de véhicules associés.	10 (appel à projets lancé en 2019)
Positionner l'Occitanie en tant que leader européen de l'hydrogène	Mise en place d'un consortium sur le déploiement d'un « corridor H ₂ » pour le transport de marchandises.	50 (peut-être disponible via les fonds européens)

1.1.2 Émergence des feuilles de route régionales

Plusieurs Régions vont alors s'inspirer de la feuille de route occitane pour élaborer leur propre feuille de route sur l'hydrogène. Le cabinet Seiya Consulting, qui a réalisé l'étude préliminaire et a accompagné la région Occitanie dans la construction de son plan, intervient dans d'autres Régions (Bretagne, Pays de la Loire, Centre-Val de Loire, Grand Est), dans le but de révéler le potentiel de l'hydrogène sur leur territoire.

À partir de la fin de l'année 2018, la majorité des régions françaises publient une feuille de route sur l'hydrogène et intègrent le sujet dans leurs politiques publiques de mobilité, énergétique et de développement économique. Ces stratégies concernent le déploiement à la fois d'unités de production-distribution et des usages, mais aussi des actions concernant la recherche et développement et les formations. Elles s'appuient sur les spécificités régionales industrielles, géographiques et institutionnelles dans le but de créer des retombées économiques sur le territoire et de positionner la Région comme « *leader* » sur un maillon de la chaîne de valeur de l'hydrogène. À titre d'exemple, la région Bretagne souhaite valoriser ses ressources énergétiques en faisant de la production d'hydrogène par électrolyse issu de l'éolien offshore un axe stratégique de sa politique énergétique (Muller, 2020). De la même manière, d'autres régions comme celle des Pays de la Loire s'appuient sur les savoir-faire locaux pour développer des usages dans les domaines maritimes et fluviaux.

Pour mettre en œuvre ces stratégies, les Régions impulsent des initiatives qui sont directement liées à leurs compétences institutionnelles. En tant qu'autorités organisatrices des transports (AOT), ces échelons administratifs ont à leur charge la gestion des transports interurbains et scolaires, des trains régionaux, des aéroports et des ports régionaux. Autant de sujets de mobilité lourde où l'hydrogène peut avoir une place, comme cela a été identifié dans le plan Hulut. Grâce à ces compétences, les Régions peuvent être directement maîtres d'ouvrage, en commandant des TER, des autocars ou encore des navettes maritimes à hydrogène.

En tant que cheffes de file de la transition énergétique, mais n'ayant pas de compétences en matière de mobilité urbaine ou de production d'énergie, les Régions peuvent « inciter les acteurs infrarégionaux à agir » (entretien agent 3 conseil régional Occitanie, octobre 2021). Dans cette perspective, elles instaurent des dispositifs pour favoriser le développement de projets territoriaux portés par des collectivités territoriales infrarégionales ou des partenariats public-privés (Muller, 2020). Ces leviers d'incitation se traduisent sous différentes formes : des soutiens financiers régionaux sont prévus, la maîtrise des Régions dans la gestion des fonds européens structurels et d'investissements renforce de fait leur capacité financière et des moyens d'accompagnement pour le montage des projets sont mis en place grâce à des dispositifs d'animation territoriale (organisation de webinaire, réunions d'information).

Dans cette optique, des « clubs » régionaux hydrogène voient le jour, souvent animés par une agence régionale ou un pôle de compétitivité régional. Par exemple, en Occitanie l'agence régionale de développement économique élabore l'outil Hydéo pour réunir l'ensemble des acteurs publics et privés autour de la filière hydrogène.

Pour les Régions, l'hydrogène apparaît donc comme un sujet stratégique pour le développement économique du territoire. Bien que la logique d'écosystèmes de mobilité locaux reste présente dans les plans régionaux, dans le but de faire émerger des usages de

mobilité, elle est toutefois comprise comme une brique d'un plan d'action régional de plus grande envergure. L'objectif n'est plus seulement de déployer quelques projets d'écosystèmes de mobilité locaux, mais de construire une représentation régionale globale de toute la chaîne de valeur de l'hydrogène qui participe à la structuration d'une filière française de l'hydrogène. Il ne s'agit toutefois pas de penser que les projets d'écosystèmes de mobilité sont abandonnés. Ils constituent une brique de ces plans régionaux révélant finalement une superposition de logiques.

1.1.3 Structurer et accompagner une filière régionale : les exemples des Régions Auvergne-Rhône-Alpes et Occitanie

Avec sa feuille de route, la Région Occitanie ambitionne de massifier les usages et de déployer l'hydrogène sur une large échelle. Lors d'une assemblée plénière du Conseil régional²³¹, la Vice-présidente en charge de la transition énergétique et du plan hydrogène affirme que « *seule cette montée en charge concomitante des trois maillons structurants de cette filière pourra assurer son développement massif, mais aussi la baisse des coûts attendus pour asseoir un modèle économique compétitif et donc alternatif*²³². » Les trois maillons en question sont la production, la distribution et les usages, qu'il faut penser de manière concomitante afin d'assurer une rentabilité suffisante au projet.

La présidente de Région présente l'hydrogène comme « *une filière du futur* » et « *un projet pour le territoire régional*²³³ », afin de créer de la valeur et de nouveaux emplois. Elle met en avant le fait d'être la première Région française à mettre en place une stratégie d'une telle ampleur, qui permet de « *prendre un temps d'avance*²³⁴ » par rapport aux autres Régions.

L'hydrogène n'est donc pas seulement perçu, par l'Occitanie, comme un vecteur de stockage au service des énergies renouvelables, mais comme une filière industrielle créatrice de valeur et d'emploi. La Région montre une volonté de participer à la structuration de cette filière en intervenant sur différents maillons de la chaîne de valeur. L'objectif est d'aider des entreprises à développer des technologies hydrogène. La Région Occitanie soutient financièrement différentes entreprises spécialisées dans l'hydrogène, comme le constructeur de bus SAFRA, implanté à Albi, ou la société Genvia, fabricant d'électrolyseurs à haute température à Béziers, afin de les positionner sur le marché de l'hydrogène en France.

« L'idée, là, c'est de voir où est-ce qu'il y a des places à prendre. Ou est-ce qu'il y a des sujets stratégiques, des acteurs clés, chez nous, qui sont capables d'y répondre et voir comment on peut les accompagner pour combler ces manques. Arriver à proposer des

²³¹ La Région Occitanie : Procès-verbal de l'Assemblée plénière du 27 juin 2019.

²³² Ibid. p60

²³³ Ibid. p61

²³⁴ Ibid.

nouvelles solutions, qui sont des briques technos stratégiques pour l'hydrogène, et faire en sorte que ce soit localisé en France. » (Entretien agent agence régionale de développement économique Occitanie, juin 2020).

Dans le même esprit, à l'été 2020, la Région Auvergne-Rhône-Alpes publie une feuille de route « hub hydrogène Auvergne-Rhône-Alpes ». Cette stratégie se décompose en quatre axes : développer des infrastructures régionales (production et station de distribution), déployer la mobilité lourde en s'appuyant sur le projet ZEV et sur les collectivités territoriales, développer une offre de formation et de compétences sur les campus régionaux et positionner Auvergne-Rhône-Alpes comme région *leader* de l'hydrogène à l'échelle européenne. Cette feuille de route permet d'identifier des actions à mener pour chacune des politiques sectorielles régionales concernées (mobilité, énergie, recherche et innovation, formation), mais ne donne pas d'objectif précis ni de budget dédié, contrairement à l'Occitanie.

La Région, à travers sa feuille de route, présente son action comme étant dans la continuité de celle déjà menée avec le projet ZEV. Elle montre que ce dernier a rempli sa fonction initiale en permettant à la société Symbio de se développer et estime que, pour « *garder son leadership* », elle doit poursuivre ses efforts en construisant « *un hub visible au niveau européen et mondial [...] pour faire d'Auvergne-Rhône-Alpes la première région hydrogène d'Europe*²³⁵ ». Si les actions ciblées sont nombreuses et concernent plusieurs politiques sectorielles régionales (mobilité, formation, recherche, énergie, industrie, etc.), cette feuille de route reflète surtout la volonté de développer la filière hydrogène sur le territoire. Il ne s'agit plus d'être seulement *leader* pour la mobilité hydrogène, comme c'était le cas avec le projet ZEV, mais d'aller plus loin en positionnant des acteurs régionaux sur toute la chaîne de valeur de l'hydrogène.

Pour réaliser ces ambitions, la Région s'appuie sur trois pôles de compétitivité régionaux, CARA, Axelera et Tenerrdis, dont les domaines d'intervention sont respectivement la mobilité, l'industrie et l'énergie. Ces trois pôles sont chargés de coanimer la filière hydrogène régionale et de soutenir la Région dans la mise en place de sa feuille de route. Ils interviennent chacun sur leur champ de compétences (mobilité, énergie et industrie) auprès des acteurs économiques territoriaux, dans le but de soutenir leurs actions et de les accompagner dans le montage de leur projet. Par exemple, Tenerrdis apporte une expertise technique aux membres qui le demandent et souhaitent déposer un projet auprès de guichets de financement. Le pôle dispose d'un système de labellisation qui joue le rôle de garantie auprès de l'Ademe lors des candidatures aux appels à projets. Les trois pôles organisent également des réunions et des groupes de travail dédiés, afin de favoriser la mise en relation de leurs

²³⁵ Délibération du 8 juillet 2020 : Annexe 4, Feuille de route Hydrogène pour un « HUB hydrogène Auvergne-Rhône-Alpes »

membres et la construction de partenariats. Ils bénéficient chacun d'une convention et d'un soutien financier supplémentaire de la Région et de l'Ademe pour exercer des missions spécifiques à l'hydrogène.

De la même manière que l'Occitanie, l'Auvergne-Rhône-Alpes fait preuve d'une intention d'inciter les acteurs régionaux à se positionner sur la filière hydrogène. Lors de sa réponse à un appel à manifestation d'intérêt (AMI) lancé en janvier 2020 par l'État²³⁶, la Région adopte un rôle de coordinateur-agrégateur en rassemblant l'ensemble des projets sous l'égide d'un « métaprojet » appelé « HUB hydrogène Auvergne-Rhône-Alpes » (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La réponse à l'AMI est accompagnée de plus de soixante-dix lettres de soutien d'acteurs territoriaux publics et privés afin de témoigner de la dynamique territoriale sur le sujet.

L'objectif est de regrouper les initiatives présentes sur son territoire pour montrer le potentiel de développement d'une filière. Cette réponse à l'AMI est un moyen de faire valoir que la Région Auvergne-Rhône-Alpes dispose d'un ensemble d'atouts pour permettre un passage à l'échelle des technologies de l'hydrogène et se positionner parmi les premières régions hydrogène d'Europe.

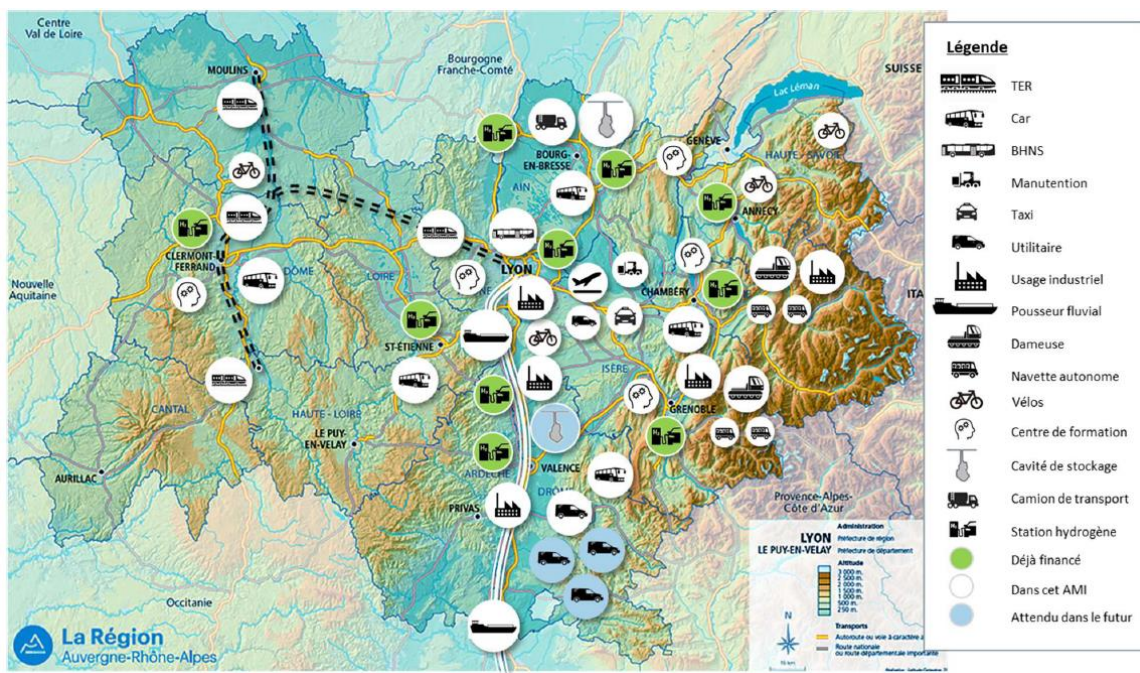


Figure 22 : Cartographie des projets répondant à l'AMI nationale.

Source : Région Auvergne-Rhône-Alpes

²³⁶ Le Gouvernement, appel à manifestation d'intérêt, janvier 2020 : *Projets innovants d'envergure européenne ou nationale sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène.*

Les Régions Occitanie et Auvergne-Rhône-Alpes, à travers leurs feuilles de route respectives, montrent que leur ambition en matière d'hydrogène ne s'est pas arrêtée à la seule mise en œuvre d'un projet. Elles manifestent, selon nous, le souhait d'être pleinement actrices du déploiement d'une filière française de l'hydrogène en soutenant les acteurs présents sur leur territoire. Leur objectif est d'assurer des retombées économiques régionales, la création d'emplois et d'impulser des initiatives publiques et privées afin de massifier la production et la demande. Dans cette optique, les deux Régions ont recours à plusieurs mécanismes pour structurer un maillage régional des infrastructures nécessaires.

1.3 Structurer la production d'hydrogène vert à l'échelle régionale

Les Régions envisagent de devenir de « futurs producteurs » d'hydrogène vert ou, du moins, décarboné, en fonction des ressources dont elles disposent. Pour cela, elles développent des projets d'unité de production afin d'alimenter les futurs besoins régionaux, voire extrarégionaux.

1.3.1 Des unités de production à l'échelle régionale

L'idée de petites unités de production locales d'hydrogène issue d'énergies renouvelables, évoquée au milieu des années 2010, semble peu à peu délaissée par les acteurs régionaux au profit de plus grandes installations. L'objectif, dès 2019, est de parvenir à produire un hydrogène compétitif pour le substituer aux énergies fossiles dans les marchés de la mobilité et de l'industrie. Dans cette optique, la Région Occitanie développe le projet « Littoral + », qui s'inscrit dans le cadre de l'appel à projets national « Territoires d'innovation ». Ce projet vise à « réinventer » le littoral occitan en tenant compte des risques présents sur ce territoire²³⁷ et regroupe plusieurs volets d'actions. L'un d'entre eux, « Littoral H₂ », prévoit le développement d'une usine de production d'hydrogène en grande quantité à Port-La Nouvelle. L'objectif de ce projet est de produire l'hydrogène grâce à deux parcs éoliens flottants et d'alimenter, en 2050, 21 % de la consommation locale en hydrogène²³⁸, soit une capacité de production de 10 tonnes/jour/H₂. Les applications visées sont le déploiement de stations de distribution associées à des flottes de véhicules lourds et à des usages portuaires, avec notamment la commande régionale d'une drague hybride à hydrogène. Pour ce projet, une société de projet Hyd'Occ est créée, dont l'agence régionale de l'énergie et du

²³⁷ Communiqué de presse « Littoral + » de la Région Occitanie publié le 25 septembre 2019.

²³⁸ Dossier de presse « La Région Occitanie pionnière sur le développement de l'hydrogène vert » publié le 23 octobre 2021.

climat (AREC) est coactionnaire avec un producteur d'énergie implanté dans la région, la compagnie Qair. Avec les projets Hyport et Hyd'Occ, la Région vient donc proposer, dès 2019, une première structuration de la production et distribution régionale en hydrogène autour des ports et aéroports régionaux, dont la gestion fait partie de son domaine de compétences.

La même ambition se retrouve en Bretagne autour des ports maritimes. Dans sa feuille de route, la Région prévoit le développement d'unités de production de plus de 1 tonne/jour/H₂ autour des zones portuaires.

Ces dynamiques pour structurer des unités de production de grandes capacités se retrouvent en Auvergne-Rhône-Alpes et plus particulièrement dans le projet ZEV.

1.3.2 Le projet ZEV : recentraliser les infrastructures de production à l'échelle régionale

En Auvergne-Rhône-Alpes, la répartition des unités de production du projet ZEV évolue en raison des coûts et des ambitions régionales. Les premiers retours d'expérience de l'électrolyseur installé à Chambéry montrent un coût de production nettement supérieur au prix de vente de l'hydrogène²³⁹, obligeant les porteurs du projet à revoir leurs objectifs.

Dans ce contexte, il n'est plus question de mettre en place des électrolyseurs de petite capacité adossés à chaque station de distribution, mais plutôt d'envisager des unités de production plus massives regroupées au niveau régional. De cette façon, la Région planifie un futur réseau régional de production et de distribution, afin de ravitailler les stations qui se développeront au niveau infrarégional. Elle développe une représentation en « *pouppée russe* », où l'idée est d'installer de grandes infrastructures de production autour des principaux axes régionaux, qui viendront ensuite alimenter en hydrogène, si besoin, des écosystèmes locaux qui se construisent (entretien agent 1 conseil régionale AURA, octobre 2020). Du point de vue de la Région, les écosystèmes locaux, au sens développé dans le chapitre 2, restent néanmoins pertinents pour certaines zones qui ne seraient pas à proximité des infrastructures régionales, par exemple des zones rurales ou de montagne. Ces dernières font d'ailleurs l'objet d'une attention particulière de la part de la Région, qui souhaite développer « *la première montagne durable d'Europe*²⁴⁰ », pour laquelle l'hydrogène est un moyen envisagé pour décarboner les usages de mobilité (dameuse à hydrogène, autocars, etc.).

Pour les agents d'Hypulsion et de la Région, le choix de centraliser les infrastructures de production s'impose comme un élément indispensable à la survie du projet ZEV au regard

²³⁹ Au cours d'un entretien, il est évoqué que le coût de production de l'unité de Chambéry est d'environ 24 euros/kg.H₂ tandis qu'Hypulsion vend l'hydrogène à 12 euros/kg.

²⁴⁰ <https://www.auvergnerhonealpes.fr/actualites/plan-montagne-faire-dauvergne-rhone-alpes-la-premiere-montagne-durable-deurope>

de facteurs économiques. Au cours de l'année 2020, compte tenu des coûts colossaux que représente un électrolyseur de petite capacité et du faible taux d'amortissement, les porteurs de projet revoient la répartition des électrolyseurs (entretien agent Hymulsion, mai 2021). Pour eux, l'objectif reste le même, c'est-à-dire celui produire 1,6 tonne par jour d'hydrogène par électrolyse de l'eau, capacité sur laquelle ils se sont engagés auprès de l'Europe et de l'Ademe. En revanche, la spatialisation du projet évolue en fonction des critères économiques. L'enjeu est de produire à un coût le plus faible possible pour assurer à la société Hymulsion des recettes grâce à la vente d'hydrogène. Dans cette perspective, trois scénarios possibles sont envisagés par la société Hymulsion. Le premier prévoit l'installation d'un seul électrolyseur de grande capacité à Lyon. Le deuxième projette l'installation de deux électrolyseurs à Lyon et à Clermont-Ferrand. Le troisième scénario comprend trois électrolyseurs implantés à Lyon, à Clermont-Ferrand et à Grenoble. Le choix final se porte sur ce dernier, qui est présenté par les porteurs du projet comme correspondant à des unités de production situées sur les trois bassins de vie principaux de la région.

En regroupant la production sur trois unités au lieu des 14 initialement envisagées, il est donc prévu de ravitailler les stations de recharge par camions, malgré des axes routiers régionaux déjà fortement congestionnés. La prise en compte de la présence d'une production d'énergie électrique renouvelable (panneaux solaires, éolienne) à proximité des électrolyseurs ne semble pas avoir constitué un critère pour choisir l'emplacement des unités de production hydrogène. L'enjeu, pour l'Auvergne-Rhône-Alpes, n'est donc pas de permettre un déploiement simultané d'une production d'énergie électrique renouvelable adossée à une production d'hydrogène, mais plutôt de produire un hydrogène décarboné afin de satisfaire les nouveaux usages de mobilité et de l'industrie. L'hydrogène n'est pas perçu comme une ressource spécifique avec une valeur locale, mais plutôt comme une ressource générique qu'il convient de vendre sur un marché plus large en garantissant un prix de l'hydrogène le plus faible possible.

Ainsi, la Région développe une vision de la production d'hydrogène centrée autour de quelques unités et sur lesquelles s'agrègent des stations dispersées sur le territoire. Cette logique, appelée par la Région « *hub régional* » et présentée lors de sa candidature à l'appel à manifestation d'intérêt, s'organise autour d'infrastructures de production permettant d'alimenter un réseau de stations et d'autres usages industriels à l'échelle régionale. L'extrait d'entretien ci-dessous illustre l'idée d'avoir une logique en « *poupées russes* » c'est-à-dire le déploiement d'infrastructures de capacité plus importante à l'échelle régionale et des écosystèmes locaux de plus petites envergures qui viennent s'agréger.

« On voit bien que, sur le plan régional, on a bien un échelon particulier qui amène quand même à réfléchir à des axes forts en matière d'infrastructures. [...] On a des infrastructures qui structurent le territoire et puis ensuite, on peut avoir des clusters, des

microécosystèmes locaux qui viennent quelque part se connecter à ces infrastructures régionales et qui permettent de faire quelque part un écosystème global, mais qui au niveau régional repose sur des infrastructures un peu centralisées on va dire, centralisées au niveau régional. » (Entretien agent 1 conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes, octobre 2020).

Les réflexions menées autour de la restructuration des infrastructures de production s'effectuent au niveau d'impulsion et des différents actionnaires sans inclure les acteurs locaux. Ces derniers sont néanmoins perçus comme facilitant l'implantation mais ne sont pas intégrés au processus de décision. La coordination avec les acteurs infrarégionaux reste donc à questionner. Il convient alors d'interroger la capacité d'action des Régions à mobiliser les différents acteurs infrarégionaux pour mettre en œuvre leur stratégie.

2) Quel rôle des Régions dans la gouvernance multi-niveaux de l'hydrogène ?

La construction de politiques régionales de déploiement de l'hydrogène s'accompagne de programmes d'actions, de dispositifs techniques et politiques afin de créer des projets et de susciter une demande autour de ce vecteur énergétique.

Plusieurs instruments d'action publique régionaux (appels à projets, subventions, etc.) tentent de cadrer les initiatives développées. En nous intéressant à eux, nous analysons les rapports de force entre acteurs et la capacité des Régions à « gouverner » une filière aussi complexe que celle de l'hydrogène.

2.1. Des Régions stratèges ?

2.1.1 Les SAS hydrogène, des instruments stratégiques ?

Que ce soit pour les projets ZEV ou Hyd'Occ, les Régions prennent un poids important dans les instances de décision des sociétés de projets qui organisent les partenariats publics-privés, aux côtés des acteurs de l'énergie. Ces instruments leur permettent d'intervenir directement dans l'implantation des infrastructures régionales, sans toutefois détenir les compétences institutionnelles nécessaires. Ces dispositifs d'action publique sont révélateurs de leurs ambitions à être pleinement actrices dans la construction d'un nouveau marché de l'hydrogène décarboné.

« C'est une manière aussi pour une collectivité à la fois d'être au tour de table, donc au même niveau qu'ENGIE finalement, sur les décisions, sur la feuille de route stratégique, sur la vision aussi de la filière. Parce qu'en fait, pour les acteurs publics, c'est des sujets [l'énergie, l'hydrogène] maintenant, qui relèvent du développement économique, de l'attractivité territoriale, des schémas directeurs des transports. Donc, il y a vraiment une volonté de ne pas juste dire : on vous donne quelque chose [...] pour développer des véhicules et je ne sais pas trop ce qui se passe, mais c'est vraiment d'être acteur et d'être moteur. » (Entretien agent ENGIE Solutions, novembre 2021)

Si, pour l'Occitanie, la Région n'intervient pas directement en tant qu'actionnaire dans les SAS Hyd'Occ ou Hyport, la proximité avec l'agence régionale lui permet d'être tout de même partie prenante. L'AREC s'est dotée de deux outils opérationnels, une société publique locale (SPL) et une société d'économie mixte (SEM). La SPL, dont l'actionnariat est 100% public, a pour vocation d'accompagner les collectivités territoriales actionnaires en réalisant des études d'ingénierie (plan d'actions, assistance à maîtrise d'ouvrage). La SEM AREC est, quant à elle, un outil d'investissement pour les projets énergie dans lequel la Région est actionnaire majoritaire à 80 %. On y trouve trois volets d'investissements : l'un concernant les énergies renouvelables dites matures (éolien, photovoltaïque essentiellement), l'autre pour les filières innovantes non matures, dont l'hydrogène fait partie, et le dernier sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Chaque volet d'investissement correspond à une filiale de la SEM AREC, sous forme de SAS, qui investit ensuite dans d'autres sociétés de projet aux côtés d'acteurs privés. Tel est par exemple le cas d'Hyport²⁴¹, où la SAS AREC Innovation a investi à hauteur de 49 % avec ENGIE (51 %) pour créer la société de projet Hyport SAS, ou encore d'Hyd'Occ pour lequel la SEM AREC a investi aux côtés de la société Qair.

L'enjeu pour la SEM AREC est de faire du codéveloppement avec d'autres partenaires et de cofinancer des projets, tout en apportant une *« valeur objective et neutre dans le développement des projets en ayant une approche et une appropriation des projets dans les territoires »* (entretien agent AREC, novembre 2019). L'AREC peut donc à la fois être un investisseur dans des projets d'infrastructures d'hydrogène, mais aussi proposer à des porteurs de projet ayant une solution d'usage ou de distribution de les accompagner pour déployer son offre sur le territoire en le greffant à un projet déjà existant.

Bien que la Région, en tant que principal actionnaire, fixe les axes stratégiques et les objectifs de l'AREC, elle ne prend pas part aux décisions concernant l'investissement dans des sociétés de projet. L'agence reste indépendante en la matière et dans les actions qu'elle met en œuvre pour répondre aux attentes régionales (Entretien agent 2 conseil régional Occitanie, juillet

²⁴¹ Projet de déploiement de mobilité hydrogène sur les aéroports de Toulouse-Blagnac et de Tarbes.

2021). Il est cependant précisé, dans une délibération d'avril 2021 portant sur l'état d'avancement du plan hydrogène régional, que l'AREC doit co-investir dans les sociétés de projets qui ont la charge de la production et de la distribution d'hydrogène pour un des projets régionaux, appelé Corridor H₂, « afin de conserver la maîtrise des investissements » et « dans la perspective d'optimiser les retombées économiques locales²⁴² ». L'AREC assure donc une mission de contrôle des investissements réalisés sur le territoire régional. Ce rôle reflète notamment la volonté de la Région de cadrer les initiatives publiques ou privées émergentes. À travers son agence régionale, celle-ci garde donc la main sur les projets hydrogène qu'elle subventionne et devient actrice dans leur gouvernance.

« Parce qu'en fait nous notre mission, pourquoi on investit dans des sociétés de projets et dans toutes ces sociétés, c'est que généralement la Région investit au format de subventions, remboursables ou pas. La Région après n'a plus aucun contrôle sur la société qu'elle a subventionnée. [...] Si la Région sort 800 000 euros pour que le projet vive, le minimum c'est que la Région puisse avoir un peu de vision sur le fonctionnement de la société de projet globalement, et puisse influencer ses décisions stratégiques sur la durée de vie du projet. C'est là que l'AREC arrive en renfort ! [...] Donc, nous on intervient comme bras droit de la Région, pour investir dans des sociétés de projets, pour que nous, on soit dans le circuit décisionnel et la gouvernance derrière qu'il y a de ces projets. Donc sur les projets H₂, on est présent quasi dans 100 % des projets de production distribution d'hydrogène, dans la mesure où la Région les subventionne. On est très à l'aise. Donc on a un maillage du territoire et une connaissance du déploiement de la filière en Région qui est quasi exclusive. De même que la Région finalement. »
(Entretien agent 2 de l'AREC, novembre 2021).

Grâce à l'AREC et aux investissements de l'agence réalisés dans des SAS auprès de partenaires privés, la Région se dote d'un levier pour mettre en œuvre la vision régionale de l'hydrogène. En témoigne l'exemple du projet Corridor H₂, porté par la Région Occitanie, et des lauréats retenus pour mettre en œuvre ce projet. Celui-ci vise à déployer la mobilité lourde en s'appuyant sur des flottes de poids lourds et d'autocars et l'implantation de deux unités de production et de 8 stations de distribution autour des grands axes routiers régionaux.

Pour mettre en œuvre ce projet, la Région a lancé deux appels à projets. L'un pour la production et la distribution de l'hydrogène et un second pour les usages. Concernant le premier, la Région a ciblé préalablement trois zones (Toulouse, Tarn et Littoral/A9) pour

²⁴² Délibération du 16 avril 2021 portant sur l'avancement du plan régional pour le développement de l'hydrogène vert.

accueillir des unités de production d'hydrogène et de distribution²⁴³. Pour autant, ces zones ne sont données qu'à titre indicatif, comme il est précisé dans le cahier des charges de l'appel à projets régional. Elles peuvent donc être amenées à évoluer en fonction des propositions reçues. Il est néanmoins indiqué dans le cahier des charges que les projets proposant des solutions dans ces zones pré-ciblées par la Région seront traités en priorité²⁴⁴.

En octobre 2021, les candidatures lauréates de l'appel à projets « Corridor H₂ : production et distribution » sont sélectionnées par la Région. La répartition spatiale des stations et des unités de production n'évolue que très peu finalement. Les unités de production sont situées sur les zones pré-ciblées par la Région et quelques ajustements sont proposés pour les stations de production. Parmi ces lauréats, c'est surtout l'omniprésence de la SAS Hyd'Occ (AREC et société Qair) dans le projet Corridor H₂ qui ressort. Sur les 7 stations, 5 doivent être gérées par Hyd'Occ ainsi qu'un des deux électrolyseurs. Ainsi, le positionnement de l'AREC en tant qu'investisseur dans la plupart des SAS hydrogène lui confère une certaine expertise.

De la même manière, en Auvergne-Rhône-Alpes, Himpulsion peut aussi être qualifié de maître d'œuvre de la vision régionale. Son rôle central entre les différentes entités (cf chapitre 2) et l'expertise que son personnel développe, grâce au projet ZEV, lui confèrent une position dominante dans le système d'acteurs qui se construit. Cette proximité entre Himpulsion et la Région se retrouve aussi dans le discours des acteurs territoriaux publics et privés, pour qui la distinction entre Himpulsion ou la Région n'est pas très claire. Au cours des entretiens, plusieurs enquêtés parlent tantôt de la Région tantôt d'Himpulsion pour les mêmes actions. Cette frontière floue entre ces deux entités est aussi présente visuellement puisque le logo d'Himpulsion reprend celui de la Région et, jusqu'à récemment, c'est la Région qui communiquait sur le projet ZEV. Dans l'esprit de certains, la SAS Himpulsion « *représente la Région, mais ce n'est pas la Région*²⁴⁵ ».

De plus, la société Himpulsion voit au fur et à mesure son champ d'action s'élargir. Elle n'assure plus uniquement des fonctions de maîtrise d'ouvrage pour le projet ZEV, mais vient régulièrement en appui à la stratégie hydrogène régionale, empiétant directement sur les actions de certains pôles de compétitivité. À titre d'exemple, Himpulsion organise des réunions de travail sur les poids-lourds à hydrogène auxquelles tous les acteurs de la chaîne de valeur sont conviés. Ces réunions s'organisent toutefois sans inviter le pôle de compétitivité concerné, qui, pourtant, exécute un travail similaire de son côté. Le cadre d'actions d'Himpulsion dépasse, nous semble-t-il, celui du projet ZEV, plaçant ainsi la

²⁴³ Cahier des charges de l'appel à projets « Corridor H₂ en Occitanie : de la production à la distribution d'hydrogène vert », Édition 2021.

²⁴⁴ Ibid.

²⁴⁵ Verbatim d'un agent du conseil régional lors d'un groupe de travail régional hydrogène de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

société comme un instrument stratégique pour l'ensemble de la stratégie régionale et intervenant parfois sur les domaines d'actions d'autres partenaires régionaux.

Néanmoins, le recours aux SAS ne suffit pas pour assurer des débouchés aux unités de production et distribution. Le développement de la mobilité lourde hydrogène dépend aussi (et principalement) du domaine de compétence relative à la mobilité urbaine, détenu par les métropoles et les agglomérations. Le succès des stratégies hydrogène régionales dépendent donc de l'implication des collectivités infra-régionales et des acteurs privés, notamment pour ce qui concerne le développement des infrastructures et l'acquisition de véhicules. Il convient de s'interroger sur les dispositifs adoptés par les Régions pour « intéresser » des acteurs autour de leur projet de mobilité lourde et la place que ces derniers occupent dans le système d'acteurs.

2.1.2 (Re)mobiliser les acteurs territoriaux autour de la mobilité lourde

Au cours de la période 2018 – 2019, le sujet de la mobilité lourde prend une importance croissante et devient prioritaire. Les dynamiques nationales et européennes placent les applications de mobilité lourde au centre des stratégies hydrogène. Le plan « 1000 bus » élaboré par H2MF met en lumière le rôle des autorités organisatrices des transports (Métropoles, syndicats, communautés d'agglomération, etc.) dans le déploiement des usages de l'hydrogène.

Dans ce contexte, Himpulsion et la Région Auvergne Rhône-Alpes vont suivre la tendance générale en se tournant vers les usages de mobilité lourde et en incitant les collectivités territoriales à investir dans des bus à hydrogène ou des bennes à ordures. Profitant d'un nouvel appel à projets de l'Ademe, « Écosystèmes territoriaux hydrogène », publié en octobre 2020 à la suite de la parution d'une nouvelle stratégie nationale hydrogène (cf. chapitre 4), la Région Auvergne-Rhône-Alpes décide de remodeler le projet ZEV. Cet appel à projets national vise essentiellement la mobilité lourde et les applications industrielles. La Région Auvergne-Rhône-Alpes profite de cette opportunité pour développer la mobilité lourde sur son territoire et apporter de nouvelles sources de financement aux stations Himpulsion prévues dans la version initiale du projet ZEV. L'ambition d'Himpulsion ne s'arrête pas là puisqu'en 2021, la société ambitionne aussi d'implanter un réseau de stations de ravitaillement pour les camions à hydrogène.

« En termes de mobilité, il n'y a pas de station, il faut des stations. C'est très cher donc il faut que ces stations-là, elles puissent vendre beaucoup d'hydrogène. Pour vendre beaucoup d'hydrogène, il faut des véhicules lourds. Donc, voilà, on est arrivé très très vite à dire : on a démarré par les véhicules légers mais il fallait bien démarrer par quelque chose, c'est cette technologie-là, européenne, dont on disposait. Maintenant

qu'on commence à voir apparaître des véhicules lourds disponibles, maintenant, il faut vraiment mettre l'accent sur les véhicules lourds. » (Entretien agent 1 du conseil régional AURA, octobre 2020)

En ciblant les bus et les bennes à ordures ménagères, ce sont les collectivités territoriales qui sont directement concernées. Ainsi, l'élaboration de cette nouvelle version du projet ZEV donne lieu à des mécanismes d'intervention sensiblement différents de ceux utilisés lors de la version initiale du projet ZEV. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, les collectivités territoriales n'ont été que peu associées à la construction du projet ZEV. Ces dernières étaient ciblées par Hympulsion et devaient ensuite répondre aux exigences du projet en aidant la société à trouver de futurs usagers et à implanter les stations. Cette démarche a suscité des oppositions de la part de certaines collectivités territoriales, entraînant une évolution de la géographie des lieux d'implantation des stations.

Pour la mobilité lourde, la Région souhaite adopter une nouvelle approche en incluant, dès le départ, les collectivités locales dans la construction du projet (entretien agent 1 conseil régional AURA, octobre 2021). Dans cette optique, elle organise des réunions bimensuelles avec les collectivités territoriales intéressées pour se doter de véhicules hydrogène (bus ou bennes à ordures ménagères) sur leur territoire. Lors du lancement de ces réunions, les agents de la Région se présentent comme des facilitateurs pour les collectivités territoriales qui souhaitent investir le sujet hydrogène. Ils mettent en avant le caractère lourd et compliqué des démarches demandées par l'Ademe et notamment des difficultés rencontrées dans la mise en œuvre d'infrastructures. Ainsi, la Région, avec Hympulsion, se positionne comme maîtrisant le sujet hydrogène grâce aux premiers retours d'expérience de ZEV et comme capable d'endosser un rôle d'accompagnateur pour les collectivités territoriales. Hympulsion offre son appui aux services techniques des collectivités territoriales intéressées à analyser leur flotte de véhicules et les lignes de bus pouvant être éligibles au passage à l'hydrogène. La société les aide également à calculer les coûts engendrés et à formuler les demandes de subventions auprès de l'Ademe. Les agents régionaux montrent ainsi que leur approche vise à faciliter celle des collectivités territoriales et à assurer une complémentarité entre les différents projets territoriaux. La Région et Hympulsion endossent un rôle d'intermédiaire entre l'ensemble des acteurs mobilisés, dans le but d'établir une cohérence régionale entre toutes les initiatives possibles.

« Donc nous, on est un agrégateur, si vous voulez, parce qu'on a permis aux collectivités de bénéficier d'une assistance à maîtrise d'ouvrage pour la rédaction du dossier, pour la rédaction du business plan, des business plans, parce que je ne sais pas si vous avez regardé les dossiers ADEME, il faut fournir des calculs de coût total de possession, les TCO. Ce sont quand même des tableurs assez compliqués. » (Entretien agent 1 conseil régional AURA, octobre 2020).

Hympulsion et la Région ont donc recours à des dispositifs d'intéressement envers les collectivités territoriales. Ces leviers sont à la fois d'ordre technique, en les accompagnant dans la structuration de leur dossier, mais également économique, en leur permettant d'intégrer un projet régional et de répondre rapidement à l'appel à projets de l'Ademe pour bénéficier des subventions disponibles. De cette manière, les dispositifs mis en place par Hympulsion et la Région tentent d'orienter le choix des collectivités vers la mobilité lourde hydrogène.

2.2. Les Régions, actrices ou agents du déploiement de l'hydrogène en France ?

À travers sa feuille de route, la Région Auvergne-Rhône-Alpes souhaite mettre en place des dispositifs pour « *déployer ses forces sur le territoire* » et inciter les collectivités territoriales à amorcer les usages de mobilité lourde²⁴⁶. Cependant, la coordination entre la Région et les collectivités territoriales semble pour le moment très faible, voire inexistante. Bien que plusieurs collectivités affirment « *s'inscrire dans la stratégie régionale* », leur engagement se limite à faire remonter des informations vers les services régionaux – ou à Hympulsion – sur le nombre de véhicules lourds qu'elles projettent d'acquérir.

2.2.1 Une logique descendante contestée ?

Le véritable rôle des collectivités infrarégionales et leur capacité de décision restent à questionner. La mise en œuvre concrète du projet ZEV ne leur laisse que peu la main. Les décisions concernant l'implantation et la dispersion des stations de recharge, le calendrier et le mode de production choisi sont autant d'éléments déjà arbitrés par Hympulsion, sans consultation au préalable de la collectivité locale. Celle-ci peut intervenir dans la recherche de foncier en facilitant la mise à disposition d'un terrain qui répond aux critères du cahier des charges d'Hympulsion. Certains événements sont organisés par les chefs de projets locaux, mais leur marge de manœuvre dans le pilotage du projet reste relativement faible. Tout doit être uniformisé sous l'égide Hympulsion. Par exemple, les collectivités locales doivent utiliser les supports de communication développés par Hympulsion qui sont identiques d'une ville à une autre ne permettant pas de mentionner l'implantation exacte de la station ni la manière dont celui-ci s'intègre dans un projet de territoire plus large.

Bien que la ville de Moutiers figure parmi les collectivités les plus engagées sur le sujet, grâce à un soutien politique assez fort (cf. chapitre 2), les porteurs de projet rencontrent tout de

²⁴⁶ Extrait d'échanges durant une réunion du groupe de travail transversal hydrogène en Auvergne-Rhône-Alpes.

même des difficultés dans la mise en œuvre de leurs objectifs. Cet exemple est révélateur d'un projet qui ne s'appuie pas sur les spécificités territoriales. Par exemple, l'offre de véhicules ne correspond pas aux besoins de certains acteurs économiques présents sur les territoires d'implantation. À titre d'illustration, avec le relief géographique de Moutiers et le climat montagnard, beaucoup de professionnels roulent avec des véhicules de type « 4x4 » ou des minicars pour transporter des personnes jusqu'aux stations de ski. L'offre actuellement proposée aux futurs usagers est uniquement composée de fourgons utilitaires Kangoo ou de berlines Toyota et Hyundai, ce qui ne correspond pas à leurs attentes.

Un enquêté déclare parfois « subir le projet », dans le sens où il a le sentiment de devoir avant tout répondre à une commande politique fixée par la Région. Les agents des collectivités infrarégionales doivent trouver 50 futurs usagers. Ce sentiment de « subir » le projet fait également écho au caractère descendant de sa mise en œuvre. Même si les collectivités territoriales sont impliquées, elles ne se trouvent pas dans un rapport de forces favorable vis-à-vis d'Hympulsion et de la Région pour discuter des choix techniques. Les décisions concernant l'implantation et la dispersion des stations, le calendrier, le mode de production sont déjà prises par Hympulsion, sans consultation préalable de la collectivité locale.

Le personnel d'Hympulsion est, de fait, aux commandes des comités techniques de Saint-Étienne Métropole et de Moutiers, alors qu'ils sont organisés par les agents des collectivités en charge du suivi du projet. Les agents de la SAS imposent ses outils de suivi pour la recherche de pionniers et suggèrent les membres à inviter à ces réunions, ainsi qu'aux événements. Les comités techniques apparaissent plus comme un moyen pour Hympulsion d'intervenir au niveau local, de valider les propositions et surtout de récupérer les carnets d'adresses des membres présents, afin de trouver de futurs acquéreurs. Un agent commercial d'Hympulsion se présente comme « *le service commercial décentralisé des cotechs [comités techniques]* » et attend des chefs de projet locaux qu'ils le mettent en relation avec les acteurs économiques du territoire. Cette notion de « service décentralisé » est à remettre en perspective de la manière dont le projet ZEV se déroule. En effet, si les agents d'Hympulsion continuent d'insister sur l'importance du « pilotage local » du projet, c'est-à-dire sa prise en charge par un acteur de la collectivité concernée, on se rend compte que c'est bien eux qui pilotent l'ensemble. En témoigne un extrait d'entretien auprès d'un agent d'Hympulsion qui avoue « *je n'impose rien, mais j'oriente tout* » en parlant des comités techniques et ne laisse finalement aux chefs de projet locaux qu'un rôle d'intermédiaires entre l'entreprise et les futurs clients.

La manière dont est pensé le projet ZEV laisse peu de place, finalement, à des assemblages territoriaux spécifiques. Les collectivités territoriales sont perçues, selon nous, comme des espaces d'implantation et de recherche de potentiels clients. L'enjeu n'est pas de prendre en compte la présence d'énergies renouvelables sur les lieux d'implantation pour envisager un couplage direct avec les électrolyseurs ou ancrer le projet dans un projet d'aménagement et

de mobilité du territoire plus large. Les agents des collectivités infrarégionales impliqués dans le projet endossent surtout un rôle d'intermédiaire entre Hymulsion et les acteurs économiques présents sur le territoire concerné. Ils doivent répondre à une commande, donnée par Hymulsion, où les enjeux et objectifs ne sont pas déclinés en fonction du territoire dans lesquels ils s'inscrivent. Les outils de suivi mis en place lors des comités techniques s'appuient sur plusieurs indicateurs²⁴⁷, décidés par Hymulsion, pour montrer l'avancement du projet. C'est sur la base de ces indicateurs que les actionnaires prennent ensuite leurs décisions pour donner un avis favorable ou non au lancement des travaux de la station.

Cette logique descendante des Régions vers les collectivités infrarégionales se retrouve également dans l'analyse menée par Amand (2021) sur le projet EAS'HyMob. Il montre que les échelons intermédiaires tels que les Régions reproduisent finalement « l'action technocratique » du schéma centralisé du système énergétique national (Amand, 2021). Dans le cas normand, la logique descendante est plus forte puisque la Région s'appuie directement sur les syndicats d'énergie pour mettre en œuvre les stations hydrogène, sans mobiliser les collectivités territoriales désignées comme lieu d'implantation. L'auteur montre qu'aucune « *délibération collective* » sur les besoins et la forme que peut prendre le déploiement de l'hydrogène n'a été initiée par la Région avec les différentes collectivités territoriales (Amand, 2021).

En Auvergne-Rhône-Alpes, si les collectivités sont parties prenantes du projet, elles ne participent pas réellement à son élaboration, mais répondent aux sollicitations régionales. A titre d'exemple, le nombre de véhicules dont la Région a besoin pour garantir une demande suffisante aux stations est fixé par Hymulsion. En l'espèce, la mise en œuvre de la stratégie régionale ne donne pas lieu à une forme de gouvernance territoriale, dans la mesure où la Région joue plutôt le rôle de décisionnaire, sans impliquer d'autres instances dans le processus. Le projet ZEV d'abord, puis la feuille de route régionale proposent ainsi un cadrage du déploiement de l'hydrogène sur le territoire qu'elle juge pertinent au regard de ses objectifs.

2.2.2 *Des moyens qui se révèlent ne pas être à la hauteur des ambitions ?*

L'approche régionale de la Région Auvergne-Rhône-Alpes n'est pas toujours bien accueillie ni comprise par les acteurs. Pour certains, cette dernière se repose majoritairement sur les collectivités infrarégionales et attend de ces échelons qu'ils participent aux objectifs régionaux en achetant des véhicules. Néanmoins, du côté de l'institution régionale, les actions

²⁴⁷ Ces indicateurs prennent plusieurs formes : recensement du nombre d'opportunités (c'est-à-dire des personnes ayant fait preuve d'un intérêt pour l'achat de véhicules), liste des lettres d'intention signées, recensement des acteurs à contacter, etc.

mises en place ne semblent parfois pas suivre les objectifs fixés en matière d'hydrogène. En témoigne, par exemple, le renouvellement de contrat pour des flottes régionales, où aucune mention ne figure à propos des véhicules à hydrogène. Cet exemple questionne ainsi la mise en cohérence des ambitions énergétiques régionales et de la politique de mobilité. La Région donne l'impression, du point de vue de certains acteurs infrarégionaux, de s'appuyer principalement sur les collectivités territoriales et de ne pas investir elle-même dans ses propres flottes de véhicules.

« [La Région], ils demandent, ils sont un petit peu en attente que les collectivités leur remontent des dossiers pour subventionner, etc. [...] Et en fait, aujourd'hui, ils nous ont laissé un peu travailler, les collectivités, en partant de zéro. Ils sont en train de renouveler les contrats de transport de cars sans aligner de véhicules H₂ dans ces contrats. [...] Si vous voulez, aujourd'hui, la Région n'apporte pas d'usages particuliers or, en étant autorité organisatrice de transport sur pas mal de choses, y compris les transports scolaires, enfin bref, je n'y comprends rien là-dessus. Ils pourraient amener leur pierre à l'édifice qui serait, à mon avis, structurante. » (Entretien agent d'une société située en AURA, avril 2021).

Cette incompréhension est renforcée par un manque de communication claire de la Région sur l'hydrogène. En effet, Auvergne-Rhône-Alpes, contrairement à d'autres, ne communique que très peu sur son projet de « hub régional hydrogène ». Sa feuille de route régionale n'a pas fait l'objet d'une diffusion à l'échelle du grand public et les communications officielles ne concernent que le projet ZEV.

Dans ce contexte, certains acteurs décrivent une vision « *trop silotée* », montrant l'existence « *d'une dichotomie entre le projet politique, les ambitions et la mise en œuvre opérationnelle sur les territoires* » (Entretien agent d'un transporteur régional, avril 2021). L'ambition régionale de vouloir à tout prix construire un projet de grande envergure se heurte à de nombreuses difficultés dans la réalisation concrète de ces objectifs. Certains acteurs (acteurs économiques, collectivités territoriales, pôles de compétitivité, etc.) dénoncent ainsi des ambitions trop élevées au regard des technologies existantes et considèrent que les erreurs produites avec le projet ZEV se réitèrent. La Région s'engage sur des objectifs jugés comme étant inatteignables par ces acteurs, afin de pouvoir afficher un positionnement de « pionnière », sans réellement prendre en compte l'existence et la faisabilité des technologies. La volonté politique semble parfois être en opposition avec les objectifs de structuration d'une filière régionale, comme le montre un exemple donné par un constructeur de camions implanté dans la région. D'après l'enquête, cet industriel, qui ne répond pas aux objectifs du projet ZEV, n'a pas bénéficié d'un soutien régional et considère que la volonté de s'afficher comme pionnière pousse la Région à élaborer des objectifs ambitieux pas forcément réalistes.

« En tout cas, du point de vue de la filière construction véhicule, de notre point de vue ZEV c'est très bien la dynamique qu'ils veulent mettre, à condition qu'elle soit réaliste ! Donc sur les volumes qu'ils ont donnés sur les bennes à ordures ménagères, sur les autocars, il faut s'assurer qu'il y a les véhicules derrière ! Et on retombe sur les mêmes problématiques qui sont...c'est bien de vouloir être leader, mais là, ils sont peut-être trop leaders sur certains, enfin trop en avance sur certains sujets ! Comme ils l'ont été sur la mobilité légère, là ils sont en train de le refaire sur la partie mobilité lourde ! [...] Bon, nous, on est un peu déçus de ça, de se dire qu'ils n'ont pas tout à fait compris. [...] On a un acteur en région qui s'appelle Volvo Truck, qui crée du camion, à aucun moment la Région s'est dit : mais si on faisait quelque chose pour aider le groupe Volvo à Lyon pour pérenniser des emplois et aider le groupe Volvo à développer leur technologie de pile à combustible à Lyon ? Ils ne l'ont pas fait ! Ils ont préféré lancer de l'aide au déploiement de véhicules qui globalement n'existent pas. [...] C'est dommage pour une Région qui voulait être le fer de lance de de la mobilité hydrogène. Ils auraient pu créer un joli écosystème complet sur la région ! » (Entretien agent pôle de compétitivité 2 Auvergne-Rhône-Alpes, mars 2021).

Pour les porteurs de projet, si la version initiale du projet ZEV n'a pas fonctionné, les raisons sont purement techniques et économiques (une offre de véhicules légers restreinte et des coûts trop onéreux pour des petites stations). L'objectif du projet, la démarche adoptée et les besoins des territoires ne sont, finalement, pas remis en question.

2.2.3 Une dépendance vis-à-vis des échelons nationaux et européens

Si les Régions sont présentées comme des échelons stratégiques pour penser un maillage de la mobilité hydrogène, leur capacité d'action autonome, au regard de l'éclatement des compétences entre les niveaux infrarégionaux, apparaît discutable. Cette articulation entre les différents échelons administratifs, tant au niveau territorial qu'aux niveaux national et européen, interroge sur les formes de cadrage émergentes autour de la filière hydrogène. L'analyse des modes d'intervention des Régions montre que leur capacité à agir est contrainte par les échelons infra et suprarégionaux.

Du point de vue de l'État, les Régions représentent un levier de financement et peuvent ainsi jouer le rôle de co-financeur à ses côtés. Dans cette optique, l'Ademe propose aux Conseils régionaux d'être associés aux processus de sélection des lauréats des appels à projets. Ainsi, lorsque les projets sont retenus, la Région peut choisir d'en cofinancer certains avec l'Ademe. L'État identifie donc les Régions comme financeurs, mais ne donne pas plus de détails sur le rôle qu'il en attend. Les processus de recentralisation étatique, que nous détaillerons dans le

chapitre suivant, questionnent sur la place qu’occupent les Régions face à l’État dans la gouvernance d’une filière de l’hydrogène.

Au niveau européen, certaines Régions françaises participent au mécanisme appelé plateforme S3 *Hydrogen Valley*, créé en 2019 pour regrouper plusieurs Régions européennes autour du sujet hydrogène. Deux collectivités françaises, la Normandie et l’Auvergne-Rhône-Alpes, copilotent cette plateforme, avec deux autres régions européennes, Aragon et Pays-Bas du Nord. Cet outil, qui regroupe une cinquantaine de Régions, permet à ces dernières d’être directement parties prenantes dans des instances de consultation de la Commission européenne et de faire entendre leur voix dans les orientations stratégiques prises. Par ce mécanisme, les Régions disposent d’un pouvoir de *lobbying* pour influencer directement les décisions européennes, en faisant remonter leurs besoins (entretien membre de la plateforme S3, avril 2021). À titre d’exemple, le financement d’autocars à hydrogène a été une mesure longtemps réclamée par les Régions et qui a fait l’objet de financements européens en 2021. Cette reconnaissance du pouvoir des Régions se concrétise notamment, en décembre 2021, avec la création d’un pilier régional au sein de l’association *Hydrogen Europe*, qui regroupe des industriels, des associations et des laboratoires de recherche au niveau européen, et qui participe avec la Commission européenne au pilotage du déploiement d’une filière européenne hydrogène.

Si les Régions disposent de leviers pour faire entendre leurs voix au niveau communautaire, les retombées régionales ne semblent pas toujours être à la hauteur des attentes. Les agents régionaux ne parviennent pas forcément à répondre aux sollicitations européennes et à donner suite aux orientations qui sont prises. Les appels à projets européens sont des mécanismes présentés comme étant lourds, en termes de charge de travail et d’expertise. Il est donc plus simple pour ces acteurs de se tourner plutôt vers les appels à projets nationaux, qu’ils maîtrisent davantage dans la mesure où ils connaissent les interlocuteurs (entretien agent de la plateforme S3, avril 2021). De plus, des décalages d’ordre temporel se font également ressentir. Les rythmes imposés par l’échelon européen ne sont pas les mêmes qu’à l’échelle régionale. D’une année à l’autre, les thématiques financées par l’Europe ne sont pas nécessairement identiques. Par exemple certains usages comme les véhicules utilitaires ne font plus l’objet de financement en 2021, obligeant les échelons infrarégionaux à adapter rapidement leurs objectifs.

La complexité du sujet hydrogène mobilise différents secteurs et différentes échelles, ce qui donne lieu à une dépendance entre les échelons et soulève, de fait, la question de la mise en articulation de l’ensemble de ces dynamiques. En 2019 – 2020, si de fortes mobilisations à plusieurs niveaux sont présentes, nous considérons que le dialogue et la coordination interterritoriale restent encore à construire.

Dès la fin de l'année 2018, les Régions témoignent d'un vif intérêt pour l'hydrogène et élaborent des plans d'action. Pour de nombreux acteurs aux niveaux national et territorial, leurs compétences leur confèrent une place stratégique pour proposer un cadrage du déploiement sur leur territoire. Si les Régions disposent d'un panel de compétences assez larges, le succès des politiques sectorielles, notamment dans la mobilité, reste néanmoins mitigé en raison de leur dépendance vis-à-vis de l'engagement des collectivités territoriales infrarégionales.

La construction de ces plans régionaux donne lieu à une nouvelle appropriation de l'hydrogène par la majorité des Régions. Des objectifs sont alors déclinés dans plusieurs politiques sectorielles régionales pour lesquelles l'hydrogène peut jouer un rôle (mobilité, énergie, industrie, recherche et innovation, etc.) et des dispositifs incitatifs (appels à projets, subventions) et d'animation sont mis en œuvre pour favoriser le développement de projets et massifier les usages. Si certains aspects peuvent être sensiblement différents d'une Région à une autre, en fonction de leurs spécificités, la plupart des plans d'action invitent à considérer l'hydrogène non pas seulement sous l'angle de la politique énergétique, mais comme un vecteur de développement économique, source de retombées régionales.

L'enjeu, pour les Régions, n'est pas simplement de déployer des projets de mobilité hydrogène, mais d'instaurer des « hubs régionaux hydrogène », c'est-à-dire la mise en œuvre d'infrastructures de grande capacité à l'échelle régionale, en vue d'alimenter les futurs besoins sur le périmètre infrarégional. Ces hubs régionaux ne s'adressent pas qu'aux usages de mobilité, comme cela était majoritairement le cas avec les écosystèmes de mobilité locaux, mais visent également les applications industrielles et cherchent à rassembler l'ensemble des acteurs régionaux présents sur la chaîne de valeur de l'hydrogène. Pour les Régions, à travers ces « hubs régionaux », il s'agit également d'aider à la structuration d'une filière de l'hydrogène ou, du moins, de favoriser le positionnement d'acteurs régionaux sur une filière nationale, voire européenne.

Pour mettre en œuvre leur vision du déploiement des unités de production d'hydrogène, les Régions prennent part dans des sociétés de projet. Ces dispositifs se révèlent être des instruments stratégiques dans la diffusion de leur vision mais les marges de manœuvre ne sont pas toujours à la hauteur des objectifs attendus, comme semblent en témoigner certains acteurs locaux (pôle de compétitivité, acteurs économiques, collectivités infrarégionales).

Par ailleurs, les leviers régionaux restent limités. Les actions se cantonnent à des mécanismes de planification et d'incitation financière qui sont tributaires de l'intérêt des collectivités territoriales. L'éparpillement des compétences institutionnelles, en termes de mobilité et

d'énergie, rend l'institution régionale dépendante des collectivités infrarégionales. Ces dernières sont fortement sollicitées pour participer à « l'effort régional », sans toutefois voir leurs besoins véritablement pris en compte.

CONCLUSION DU CHAPITRE

Les années 2018 – 2019 sont marquées par plusieurs dynamiques. À l'échelle nationale, des controverses et le positionnement de certains acteurs historiques du secteur électrique, longtemps absents des débats, apportent des modifications dans la problématisation de l'hydrogène. Les enjeux concernant le maintien du nucléaire, le développement des énergies renouvelables et le stockage sont autant d'éléments impactant la manière d'envisager le rôle de l'hydrogène dans le système énergétique. L'hydrogène vert devient ainsi un vecteur de décarbonation avec comme principal enjeu de garantir un coût de production compétitif vis-à-vis de l'hydrogène issu d'énergie fossile. Ces dynamiques concourent à une remise en cause d'une production à l'échelle locale couplée à des sources d'énergies renouvelables, au profit d'une production semi-centralisée avec des unités de grande capacité.

Cette période est donc marquée par la coexistence de visions divergentes concernant le déploiement territorial de l'hydrogène et une action publique étatique tâtonnante. Les agents étatiques semblent adopter une position attentiste vis-à-vis des acteurs infranationaux pour proposer des moyens de mise en œuvre. Dans ce contexte, les Régions, identifiées par plusieurs acteurs comme ayant un rôle stratégique, se mobilisent massivement sur le sujet hydrogène et mettent en place un ensemble d'actions pour proposer une structuration du déploiement à leur échelle. Ces dernières proposent ainsi une planification régionale des unités de production et de distribution, souhaitant se positionner comme un acteur pilote dans le maillage des infrastructures en hydrogène.

Ces différents éléments, nationaux et régionaux, donnent lieu à l'émergence d'une nouvelle configuration de l'hydrogène, que nous appelons « hub hydrogène régionaux ». Ces hubs, dont le principal enjeu est de produire de l'hydrogène décarboné à un coût compétitif, se caractérisent par une production semi-centralisée à l'échelle régionale, autour d'unités de production de moyenne à grande capacité pilotées par les Régions, associées à de grands groupes industriels au travers de sociétés de projet. L'objectif est de proposer une production et une distribution d'un hydrogène décarboné qui vient répondre à un ensemble de besoins (mobilité lourde ou industriel) sur le territoire.

Cette nouvelle configuration de hubs régionaux marque ainsi un glissement progressif de la problématisation précédente incarnée par la logique des écosystèmes de mobilité locaux. Même si ces derniers restent présents dans les stratégies régionales, ils sont envisagés comme une brique d'un projet plus global. La vision de hub régional s'avère finalement être un ajustement de la logique écosystémique compte tenu des difficultés économiques rencontrées

lors de la mise en œuvre des projets et des nouveaux enjeux identifiés (industrie, mobilité lourde, etc.).

Les feuilles de route régionales témoignent également d'un certain engouement de la part des Régions pour se positionner sur le sujet. Néanmoins, les stratégies qu'elles proposent ne parviennent pas à s'imposer. Le rôle des Régions et la vision autour des hubs régionaux se voient très rapidement concurrencés.

Ces dynamiques présentées dans ce chapitre illustrent ainsi une période de transition entre une première configuration basée sur les écosystèmes territoriaux et une autre fondée sur une logique industrielle, comme nous le verrons dans le chapitre suivant. Ce processus de glissement va être poursuivi et amplifié, dans les années 2020 – 2021, avec l'arrivée de nouveaux acteurs et de nouveaux dispositifs qui vont venir légitimer une nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène.

Tableau 11 : caractéristiques de la deuxième configuration sociotechnique. Réalisation : auteure

	Problématisation de référence : l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique	Première configuration : les écosystèmes locaux de mobilité hydrogène	Deuxième configuration : les hubs régionaux hydrogène
Principales fonctions données à l'hydrogène	H ₂ comme vecteur de stockage des ENR.	H ₂ comme vecteur de stockage et de décarbonation de la mobilité.	H ₂ comme vecteur de décarbonation de la mobilité et de l'industrie.
Principaux enjeux	Déployer les ENR grâce à l'hydrogène et décarbonation des usages	Déployer la mobilité hydrogène (véhicules et infrastructures).	Décarboner la production d'hydrogène et massifier les usages (mobilité et industrie).
Vision du déploiement territorial	Système décentralisé autour d'une production à l'échelle locale. Hydrogène issu d'énergie renouvelable	Système décentralisé, production et distribution locales. Hydrogène issu d'énergie renouvelable.	Système semi-centralisé à l'échelle régionale, moyenne à grande unité de production. H ₂ décarboné.
Stratégies et dispositifs	X	Plan d'action de H2MF et appels à projets de l'Ademe.	Feuilles de route régionales.
Acteurs dominants	X	H2MF et collectivités territoriales	Pas d'acteurs dominants, pluralité d'acteurs



Chapitre 4 : Les bassins industriels hydrogène

Le chapitre précédent a montré l'existence d'une remise en question du concept d'écosystèmes territoriaux développés par le consortium H₂ Mobilité France. La montée en charge des Régions sur le sujet et leur volonté d'être parties prenantes dans le maillage de leur territoire en infrastructures hydrogène génèrent des ajustements au niveau des assemblages sociotechniques de l'hydrogène. La production n'est plus imaginée à l'échelle locale mais plutôt régionale et il est question de massification et de mutualisation pour atteindre un coût compétitif de production de l'hydrogène décarboné. Il en résulte une situation de juxtaposition entre les deux configurations dans la mesure où les écosystèmes territoriaux constituent des briques des plans d'action régionaux développés autour de hub hydrogène. Ces dynamiques de glissement entre configurations, amorcées en 2019, vont se poursuivre et se renforcer au cours des années 2020 – 2021.

La première section du chapitre revient sur les éléments qui participent à la construction d'une nouvelle vision de l'hydrogène. Nous montrons que des alliances entre les acteurs des secteurs de l'industrie et de l'énergie voient le jour et donnent lieu à une problématisation commune de l'hydrogène. Ensemble, ils construisent une représentation du vecteur énergétique en tant que filière pouvant générer d'importantes retombées économiques et industrielles grâce au développement de technologies françaises. Cette problématisation de l'hydrogène trouve un écho favorable auprès du ministère de l'Économie pour lequel les enjeux liés à la situation économique et sociale de 2019 puis à la crise de la Covid-19 viennent renforcer le sentiment d'urgence à agir sur l'industrie française. Dans ce contexte, en réponse aux sollicitations des acteurs privés et aux attentes nationales d'après-crise, une deuxième stratégie nationale de déploiement de l'hydrogène est publiée en septembre 2020. Ce nouveau plan d'actions met en lumière les choix stratégiques décidés par l'État pour positionner des entreprises françaises sur la chaîne de valeur de l'hydrogène. À travers ce plan, l'État semble

alors endosser un nouveau rôle dans la structuration de la filière que nous interrogeons au cours de la première section du chapitre.

Dans une seconde section, nous nous intéressons plus particulièrement à la manière dont cette vision de l'hydrogène prend forme et aux stratégies de déploiement territorial qui en découlent. Comment à travers cette nouvelle problématisation portée par les acteurs de l'énergie et de l'industrie mais aussi par le ministère de l'Économie est envisagé le déploiement de l'hydrogène sur le territoire national ? Quelle(s) configuration(s) sociotechnique(s) de l'hydrogène se construit (sen)t ? Dans quelle mesure cette nouvelle phase vient-elle redéfinir la logique initiale d'écosystèmes territoriaux ?

La reprise en main du sujet par le ministère de l'Économie, ainsi que l'introduction de nouveaux dispositifs, questionnent sur les formes de gouvernance de la filière hydrogène qui émergent. La nouvelle stratégie s'accompagne d'un ensemble de dispositifs qui posent question sur l'articulation des différentes échelles et logiques d'action. Si les objectifs affichés semblent partagés et les dispositifs étatiques cohérents entre eux, une analyse plus fine laisse percevoir des zones de tension entre les attentes des différents acteurs de l'État.

De la même manière, la concrétisation de la nouvelle stratégie nationale et son appropriation par les acteurs de la filière montrent une tendance à reproduire des schémas existants du secteur de l'énergie. Nous l'illustrerons en prenant l'exemple des gaziers, qui cherchent à déployer l'hydrogène en continuité avec les démarches adoptées par le passé. Cette vision ne semble cependant pas faire l'unanimité auprès des acteurs impliqués sur le sujet. Des divergences apparaissent entre secteurs, mais aussi entre les orientations nationales et les attentes des acteurs territoriaux.

SECTION 1 : ÉMERGENCE D'UNE PROBLEMATISATION TECHNOLOGIQUE ET INDUSTRIELLE DE L'HYDROGENE

La dynamique enclenchée au cours de l'année 2019 continue et l'hydrogène séduit de plus en plus d'acteurs de l'industrie et des secteurs de l'énergie et de la mobilité. Dans ce contexte, une nouvelle problématisation de l'hydrogène voit le jour. Cette dernière met davantage l'accent sur le potentiel technologique et industriel que ce vecteur énergétique peut engendrer au niveau national. Cette nouvelle vision de l'hydrogène séduit le ministère de l'Économie, dont le rôle devient plus prégnant au niveau du système d'acteurs étatique.

1) Le développement d'une filière française de l'hydrogène : entre massification et industrialisation

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'un des enjeux majeurs pour les acteurs qui s'intéressent à l'hydrogène est de parvenir à le produire de façon décarbonée à un coût compétitif par rapport à celui produit à partir d'énergies fossiles. Dans cette optique, des acteurs de l'énergie et des secteurs de l'industrie (par exemple les secteurs de la chimie, de la métallurgie et de la cimenterie) se mobilisent pour promouvoir leur vision de l'hydrogène auprès des services de l'État.

1.1 Baisser les coûts de production par électrolyse de l'eau

Afin de comprendre les leviers possibles pour baisser le coût de production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, il convient d'étudier la manière dont celui-ci se calcule. De façon simplifiée, ce calcul se décompose de la manière suivante : un terme technico-financier (investissement, amortissement et subventions ou, autrement dit, le CAPEX), un terme variable lié au prix de l'électricité consommée et un terme fixe lié au coût de fonctionnement et de maintenance (appelé OPEX)²⁴⁸.

Ainsi, plusieurs facteurs entrent en jeu pour réduire les coûts de production : jouer sur les coûts variables en cherchant à obtenir un prix de l'électricité le plus faible possible ou

²⁴⁸ Durville, J.-L., Gazeau, J.-L., Nataf, J.-M., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène énergie*— CGEDD - CGE

intervenir sur les coûts fixes (CAPEX) en diminuant l'ampleur de l'investissement initial ou en augmentant le taux de charge de l'électrolyseur, c'est-à-dire sa durée de fonctionnement²⁴⁹.

Pour optimiser le CAPEX, les solutions mises en avant sont l'industrialisation des procédés de fabrication permettant de baisser les coûts et le recours à des électrolyseurs de grande capacité, pour améliorer l'amortissement de l'investissement.²⁵⁰ Pour y parvenir, plusieurs rapports fondent leur raisonnement sur les « taux d'apprentissage », en considérant que le prix d'une nouvelle technologie a tendance à baisser en fonction de la capacité de production. Plus cette dernière augmente, plus l'investissement initial baissera. A partir de cette théorie économique, ces publications cherchent à projeter l'effet que peut avoir une massification de la demande en hydrogène sur le coût de production.

En comparant à des exemples tels que les panneaux solaires, les batteries ou encore l'éolien, un rapport du Conseil de l'hydrogène²⁵¹, publié en janvier 2020, illustre les taux d'apprentissage envisageables pour certaines technologies liées à l'hydrogène²⁵² (voir figure 24). Par exemple, les courbes verte et orange montrent le taux de deux types d'électrolyseurs en fonction de la production cumulée. Plusieurs acteurs en concluent que, pour baisser les coûts des composants, il paraît nécessaire d'opérer un « passage à l'échelle » en industrialisant la production.

Si cette logique de massification émergeait déjà, comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, elle va toutefois faire l'objet d'un travail spécifique de la part de quelques acteurs industriels en France autour des enjeux de l'industrialisation, qu'il nous semble important de développer.

²⁴⁹ IEA. (2019). *The Future of Hydrogen*.

²⁵⁰ L'amortissement étant meilleur pour un électrolyseur de grande capacité qu'un électrolyseur de petite capacité.

²⁵¹ Le Conseil de l'hydrogène, ou *Hydrogen Council*, est un regroupement au niveau international de grands groupes industriels (énergéticiens, pétroliers, constructeurs automobiles, etc.) créé pour exposer une vision et des recommandations concernant le déploiement de l'hydrogène. Ce conseil a vu le jour en janvier 2017 et compte plus de 130 membres en 2022.

²⁵² A titre d'exemple, le prix des panneaux solaires photovoltaïques a fortement diminué à mesure que la capacité de production mondiale augmentait.

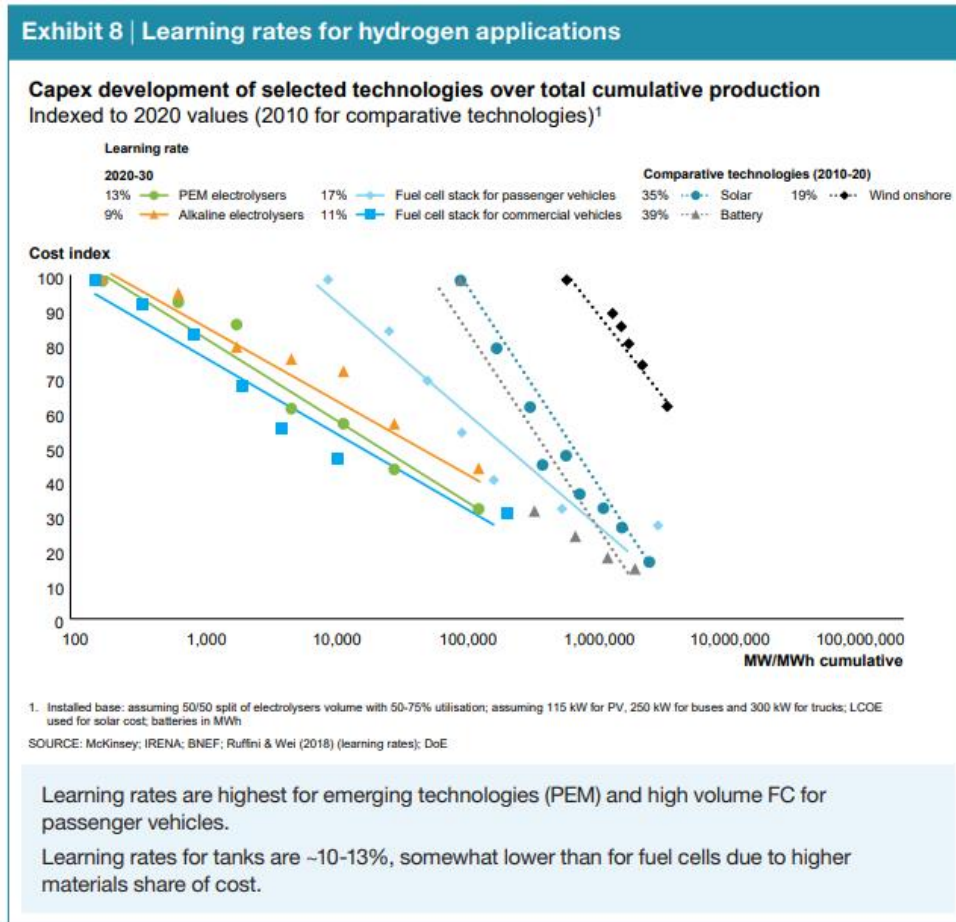


Figure 23 : taux d'apprentissage des technologies de l'hydrogène.
Source : Hydrogen Council

En France, ce message est porté par l'AFHYPAC et par une autre coalition d'acteurs regroupés autour d'un dispositif étatique, le contrat stratégique de filière (CSF). Ce dernier va jouer un rôle non négligeable pour légitimer le besoin du recours à une massification et à une industrialisation des procédés visant à réduire le coût de production et à permettre la décarbonation de certains secteurs industriels.

1.2 Alliances entre acteurs du secteur de l'énergie et de l'industrie : construction d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène

Afin de comprendre comment un système d'alliances s'établit entre acteurs du secteur de l'industrie et de l'énergie, il convient de s'intéresser au dispositif CSF qui constitue, selon nous, un levier pour réunir l'ensemble de ces acteurs.

1.2.1 Les contrats stratégiques de filière : un dispositif de politique industrielle

En 2009, pour répondre à la crise économique que traverse la France, le président de la République Nicolas Sarkozy décide d'organiser des États généraux de l'Industrie dans le but de définir une nouvelle politique industrielle française. Ils durent trois mois au cours desquels se tiennent de nombreuses réunions de concertation entre entreprises, partenaires sociaux et fédérations professionnelles. En mars 2010, à l'issue de ces consultations nationales, des premières conclusions sont publiées et quatre grands objectifs sont fixés par l'État : augmenter la production industrielle, pérenniser l'emploi industriel en France, rééquilibrer la balance commerciale française et augmenter la part de production industrielle française au niveau européen²⁵³. Pour y parvenir et « réhabiliter l'industrie en France²⁵⁴ », cinq leviers d'action sont identifiés, dont l'un concerne la structuration de filières françaises industrielles.

Dans le rapport final de la concertation, les auteurs avancent l'idée qu'une politique de filière doit reposer sur le « triptyque innovation-production-service », dans le but de faire émerger des stratégies communes et partagées entre entreprises²⁵⁵. Cette réflexion est nourrie par des travaux académiques dans lesquels plusieurs chercheurs prônent une telle approche et questionnent également le rôle de l'État dans cette démarche (Bidet-Mayer & Toubal, 2013, Klebaner & Assogba, 2018). Afin de sortir de la dichotomie « produit-service²⁵⁶ », ces auteurs mettent en avant l'objectif de favoriser la « solidarité interentreprises » en créant des coopérations au sein d'une même filière (Bidet-Mayer & Toubal, 2013). La politique de filière ne renvoie plus seulement à l'idée d'une intégration purement verticale de l'amont à l'aval de la chaîne de valeur, mais cherche à intégrer les interdépendances et relations entre les différentes parties prenantes qui la constituent. Lenglet (2020) définit la filière autour de deux caractéristiques : « *d'une part une succession d'opérations distinctes, organisées en segments, et orientées vers l'utilisation d'une ressource, d'autre part des relations techniques, économiques et sociales entre les différents acteurs impliqués* » (Lenglet, 2020, p. 4).

L'ambition politique de créer des partenariats entre les acteurs économiques d'une filière prend forme avec l'instauration de la Conférence nationale de l'industrie en juin 2010²⁵⁷. Cette instance consultative, présidée par le Premier Ministre, a pour objectif de favoriser des alliances entre industriels et des espaces de dialogue entre industriels et État (Klebaner & Assogba, 2018). Selon Bidet-Mayer et Toubal (2013), la notion de filière est mobilisée, par l'État, comme « *un outil d'intervention publique à travers la création d'instances visant à développer des plates-formes de concertation entre les acteurs ou encore à travers des politiques incitatives* » (Bidet-Mayer & Toubal, 2013).

²⁵³ Dossier de presse du Président de la République, conclusion des États généraux de l'industrie, mars 2010.

²⁵⁴ Ibid.

²⁵⁵ États Généraux de l'Industrie, bilan de la concertation, rapport final, février 2010. P57

²⁵⁶ Ibid.

²⁵⁷ Instance qui devient ensuite le Conseil national de l'industrie (CNI) en janvier 2013.

Dans cette perspective, 14 Comités stratégiques de filière (CSF)²⁵⁸ sont mis en place dès 2013, sous l'égide du Conseil national de l'industrie (CNI). L'objectif est de permettre la construction de stratégies communes et partagées autour d'un « contrat de filière » réunissant des entreprises, des fédérations professionnelles, des associations, des organisations représentant les salariés ainsi que les pouvoirs publics et institutions concernées. Ces dispositifs identifient des axes thématiques pour répondre aux enjeux industriels nationaux (compétitivité, décarbonation, emplois, etc.) et proposent une déclinaison d'actions et d'engagements à mettre en place par les industriels et les services de l'État concernés. La signature du contrat est avant tout un acte symbolique entre les différentes parties prenantes, qui témoignent de leur engagement à poursuivre les objectifs définis. Ces dispositifs n'ont pas de poids réglementaire, mais ils constituent simplement des instances de concertation entre acteurs industriels et un moyen d'engager un dialogue entre les services nationaux et les différents industriels de la filière.

1.2.2 Le contrat stratégique de filière « Nouveaux Systèmes Energétiques » : identifier l'hydrogène comme un levier de réindustrialisation

Un contrat stratégique de filière appelé « industrie des Nouveaux Systèmes Energétiques » (CSF NSE) est élaboré en mai 2018. Il rassemble les industriels dont les secteurs d'activités concernent la transition énergétique, et plus particulièrement la production d'énergie renouvelable ou décarbonée, l'efficacité énergétique, le stockage d'énergie et la gestion des réseaux énergétiques. Ce contrat réunit des énergéticiens des secteurs électrique et gazier, avec une prédominance des grands groupes (EDF, ENGIE, TotalÉnergies) dans le pilotage des axes thématiques, ainsi que des fédérations ou associations professionnelles et des acteurs publics (Ademe, CEA, etc.). Le CSF NSE est présenté comme le « pendant industriel de la programmation pluriannuelle de l'énergie²⁵⁹ » du côté du ministère de l'Industrie, dans l'optique de faire de « la transition énergétique un levier de réindustrialisation²⁶⁰ ». Dit autrement, il s'agit de réfléchir aux retombées industrielles possibles grâce au développement de nouvelles solutions technologiques de l'énergie.

Initialement, en 2018, lors de l'élaboration du contrat, l'hydrogène ne faisait pas partie des technologies qui figuraient dans l'axe thématique « stockage d'énergie » du contrat de filière. L'AFHYPAC parvient à le faire inscrire et propose d'assurer le pilotage du groupe de travail sur le sujet (entretien agent de l'AFHYPAC, avril 2019). Son inscription va permettre de réunir un ensemble d'acteurs, notamment les énergéticiens (ENGIE, EDF, TotalÉnergies et Air Liquide), autour de la question de la production d'hydrogène décarbonée, tout en

²⁵⁸ En 2022, 19 contrats stratégiques de filière existent.

²⁵⁹ Conseil National de l'Industrie, 2019, *Contrat stratégique de la filière Industries des nouveaux systèmes énergétiques 2019 – 2021*, p. 8.

²⁶⁰ Ibid.

favorisant les interactions avec les acteurs des autres filières industrielles concernées par l'hydrogène (automobile, ferroviaire, maritime, chimie, bâtiments, etc.).

Le contrat est signé en mai 2019 par le ministre de l'Économie et ses membres représentants du côté de l'industrie. L'hydrogène figure dans l'axe « développer une offre d'énergie décarbonée et compétitive », avec pour objectif fixé, à horizon 10 ans, de « produire de l'hydrogène décarboné à un prix compétitif pour tous les usages²⁶¹ ». Pour parvenir à cela, les équipes du CSF considèrent que la bonne manière est de massifier la demande en mettant en place des consortiums industriels réunissant producteurs et consommateurs d'hydrogène. Le contrat met également en avant l'idée que la compétition internationale sur les technologies de l'hydrogène est encore « ouverte » et que la filière française « présente des atouts importants pour prendre une place parmi les leaders²⁶² ».

1.2.3 Le CSF NSE : structurer une vision commune de l'hydrogène

Le CSF NSE va faciliter les opérations de traduction entre l'État, plus particulièrement le ministère de l'Économie, et les différents acteurs industriels de la filière. L'équipe du CSF, avec l'aide de l'AFHYPAC, s'appuie sur plusieurs leviers d'action : la construction d'un message commun porté par l'ensemble des acteurs industriels pour formuler une demande partagée et concise à l'État, la mise en place de groupes de travail pour rassembler les producteurs d'hydrogène et les consommateurs et permettre l'échange entre plusieurs filières et enfin l'élaboration, avec l'AFHYPAC, d'une cartographie de la chaîne de valeur de l'hydrogène dans le but de persuader l'État du potentiel industriel que représente cette filière.

Ce dispositif étatique endosse, selon nous, un rôle de « médiateur » entre l'ensemble des parties prenantes privées intéressées par le sujet. Auparavant, chacun adressait aux ministères concernés ses propres besoins pour développer son modèle d'affaire, sans qu'un message structuré ne soit élaboré par l'ensemble des acteurs de la filière. La déléguée générale du CSF NSE exprime alors le souhait de sortir de « *cette liste au père Noël* » adressée à l'État pour consolider un message commun et se concentrer sur quelques étapes clés nécessaires pour développer la filière (entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020). La démarche permet ainsi de s'accorder sur un langage commun malgré des intérêts qui peuvent être divergents. Elle envoie notamment un signal aux services de l'État sur la capacité des acteurs à se structurer autour d'une vision partagée et à travailler collectivement pour construire une filière française.

« On [l'équipe du CSF NSE] a travaillé une stabilité du message qui, en fait, paraît évidente mais ne l'est pas ! [...] En fait, ce qui se passe habituellement, c'est que tous

²⁶¹ Op. cit. p. 17

²⁶² Op. cit. p.17

les acteurs écrivent au fil de l'eau : un coup il faut du réglementaire, un coup il faut du ceci, un coup il faut du cela. ! Là, nous, on a essayé de mettre tout le monde autour de la table et de se dire de quoi et pour tout on a besoin à la fin ? Est-ce qu'on peut rassurer l'État en disant qu'on a besoin de quatre grosses choses et que le reste en découlera ? [...] Et on restait sur les quatre messages pendant... plus de 9 mois ! C'est un exploit ! Et on a à peu près tiré sur tout ce qui parlait de la réglementation en leur disant vous ne pouvez pas saturer les ministères de messages contradictoires et brouiller la ligne ! » (Entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020)

Les équipes du CSF NSE et de l'AFHYPAC considèrent que, pour bâtir une filière technologique de l'hydrogène, il est nécessaire de sortir de la vision construite par le plan Hulot et mise en œuvre par l'Ademe. Ils jugent les dispositifs nationaux qui découlent de la stratégie nationale de 2018 comme non pertinents pour assurer des retombées industrielles en France. Ils reprochent une trop grande dispersion dans les projets financés mais surtout ils remettent en cause l'idée de séparer usages industriels et de mobilité à travers deux appels à projets distincts²⁶³, comme c'est le cas avec les appels à projets de l'Ademe. Pour ces acteurs, il est nécessaire de mutualiser les besoins en hydrogène pour augmenter la demande et justifier le recours à des unités de production d'hydrogène décarboné plus importantes, permettant de favoriser son industrialisation et de diminuer les coûts. Pour la déléguée générale du CSF, il est question « *d'aller chercher le plus rapidement possible des effets de volume pour atteindre la compétitivité*²⁶⁴ ».

L'objectif du CSF NSE, à travers les groupes de travail et la construction de messages communs, est d'aider à la structuration de la demande pour donner une meilleure visibilité aux constructeurs sur de futurs carnets de commandes et ainsi favoriser l'investissement dans l'industrialisation de leurs procédés.

« Et ce qui était très marrant, c'est que les premières fois qu'on a mis les filières dans la même pièce, quand l'aéronautique se rend compte qu'il a besoin des mêmes puissances que le ferroviaire. [...] Ça paraît hallucinant qu'ils ne s'en soient pas rendus compte ! Que les fournisseurs ne les aient pas mis dans la même pièce et ne les aient pas aidés à dire : nous partageons nos perspectives de marché vous et moi ! Et donc, cette question interfilières est vraiment centrale enfin massification de la demande donc interfilières

²⁶³ On rappelle qu'à la suite du plan Hulot, deux appels à projets sont publiés en 2018 – 2019 : le premier « écosystèmes de mobilité locaux » qui vise des projets de mobilité hydrogène et le second « production et fourniture d'hydrogène décarboné pour des consommateurs industriels ».

²⁶⁴ Intervention d'Aurélien Picart lors de la restitution de l'étude menée par GRT Gaz et Terega en mars 2022.

pour synergie. » (Entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020).

A cet effet, l'établissement du CSF NSE et la prise en main du sujet de l'hydrogène par ses membres marque un repositionnement de certains acteurs dans le système d'acteurs existant (cf. chapitre 2 et 3). Les acteurs de l'énergie (Air Liquide, EDF, ENGIE, Enedis, RTE, GRDF, GRT Gaz, Storengy, Terega, TotalÉnergies), déjà plus ou moins impliqués, semblent vouloir prendre en main le sujet qui, jusque-là, était surtout porté par quelques acteurs issus de la mobilité, notamment à travers le consortium H2MF. La vision qui se démarque dans les années 2019 et 2020 n'est donc plus uniquement centrée sur ce secteur, comme c'était le cas depuis quelques années avec les écosystèmes de mobilité. L'idée qui se construit est de considérer que ce sont les besoins industriels qui vont jouer désormais le rôle de locomotive pour la filière hydrogène, et non plus la mobilité. Les besoins de ce dernier secteur vont venir s'agréger aux autres demandes mais ne seront pas structurants pour calibrer les unités de production. Du fait d'une « *prise de conscience générale* » du rôle des acteurs de l'énergie et de l'industrie dans la structuration de la filière, la mobilité n'est plus le « *barycentre* » du sujet hydrogène (entretien agent du conseil national de l'industrie, octobre 2020).

Le Tableau 12 montre l'évolution des acteurs impliqués sur le sujet hydrogène au sein du CSF NSE entre 2019 (signature du premier contrat) et novembre 2021 (signature d'un nouveau contrat). De nouvelles parties prenantes sont apparues, comme les acteurs du secteur de l'industrie Arcelor Mittal (aciérie), Vicat (cimentier) ou encore Arkema (chimie), qui sont directement concernés par les futurs usages industriels de l'hydrogène.

Si les collectivités territoriales apparaissent dans ce système d'acteurs, cela n'est qu'à titre consultatif, puisqu'elles ne sont pas visées par les engagements pris par les acteurs industriels et l'État. Il en ressort également la position centrale occupée par les principaux acteurs de la production d'énergie en France, qui assurent un rôle de pilotage, contrairement à 2019 où celui-ci était assuré par l'AFHYPAC. Ce rôle de pilote consiste à animer un groupe de travail avec les différentes parties prenantes investies et à fixer des objectifs pour les trois prochaines années. Ceux-ci sont ensuite repris dans le contrat signé par les ministères et les représentants industriels du CSF. Concernant le co-pilote, apparu dans le deuxième contrat, nous ne savons pas exactement quelles sont ses fonctions par rapport à celles de pilote. Nous émettons néanmoins l'hypothèse qu'il s'agit d'un travail d'animation assuré par le CEA et l'AFHYPAC pour accompagner les industriels qui pilotent le groupe de travail sur l'hydrogène.

A la fin de l'année 2020, face à ce regain d'intérêt pour le sujet hydrogène, l'association AFHYPAC change de nom pour devenir France Hydrogène, dans le but d'accroître sa visibilité. Pour la suite de la thèse, en fonction des périodes dans lesquelles nous nous situons, avant ou après 2020, nous utiliserons à la fois AFHYPAC ou France Hydrogène.

Tableau 12 : évolution des membres impliqués dans le CSF NSE lors de la signature du contrat en mai 2019 et en novembre 2021.

	Membres impliqués pour l'axe concernant l'hydrogène
Contrat stratégique de filière mai 2019	<p><u>Pilotage</u> : AFHYPAC</p> <p><u>Autres participants</u> : Air Liquide, CEA, EDF, ENGIE, Enedis, GRDF, GRT Gaz, RTE, Storengy, Terega, Total, Vinci, collectivités territoriales et pôles de compétitivité</p>
Nouveau contrat stratégique de filière novembre 2021	<p><u>Pilotage</u> : TotalEnergies, ENGIE, EDF et Air Liquide</p> <p><u>Co-pilotage</u> : France Hydrogène (ex AFHYPAC) et CEA</p> <p><u>Autres participants</u> : Enedis, GRDF, GRTGaz, Hynamics, RTE, Storengy, Technip Energies, Terega, Vinci, McPhy, Arkema, Arcelor Mittal, Vicat, HdF, GazelEnergie, LibertyHg, Schneider Electric.</p> <p>Poles de compétitivité et collectivités territoriales</p> <p>Ademe, BpiFrance, DGEC, DGE, SGPI</p>

Sources : Conseil national de l'industrie, contrat stratégique de la filière Industries des nouveaux systèmes énergétiques, 2019 – 2021 et Conseil national de l'industrie, dossier de presse du 4 novembre 2021 : signature du contrat stratégique de filière des nouveaux systèmes énergétique 2021 – 2023.

Réalisation : auteur

Cette capacité à partager des valeurs et des objectifs entre les acteurs est donc facilitée par la mise en place d'arènes de discussion avec l'État réunissant l'ensemble des industriels. Pour l'équipe du CSF NSE, il ne s'agit pas seulement d'impulser une massification de la demande pour industrialiser les procédés mais aussi de favoriser le positionnement d'industriels nationaux sur la chaîne de valeur de l'hydrogène.

1.3 Montrer le potentiel technologique et industriel d'une filière française de l'hydrogène

Différents éléments vont concourir à mettre en avant une nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que filière industrielle : l'élaboration d'une chaîne de valeur illustrant le positionnement d'acteurs français, la crainte de reproduire les erreurs du passé avec les panneaux photovoltaïques et des dynamiques au niveau européen en faveur de l'hydrogène.

1.3.1 La chaîne de valeur de l'hydrogène : un levier d'intéressement

En représentant la chaîne de valeur de l'hydrogène et la place que pourraient occuper les entreprises françaises, l'AFHYPAC et le CSF NSE souhaitent avant tout mettre en place un dispositif d'intéressement à destination du ministère de l'Économie. Selon un interlocuteur du conseil national de l'industrie, ce dernier estime que l'hydrogène ne peut pas faire l'objet d'une politique de filière dans la mesure où il ne représente que peu d'acteurs français et n'a donc que peu d'intérêt à ses yeux. L'enjeu est donc de réussir à cartographier la chaîne de valeur de l'hydrogène afin de sensibiliser les pouvoirs publics au potentiel industriel et l'envergure de la filière.

« Quand on a pris le sujet [...] ça se résumait à ça : bon en tout cas sur l'industrie, votre question c'est l'électrolyseur et comme y'a deux acteurs, y'a pas de sujet. Et on a fait un énorme travail pour leur dire : non non mais attendez regardez y'a 200 entreprises, vous avez oublié de voir le gars qui fait la compression, le machin et le truc, ils ont tous une expertise ! Et à la fin vous voyez un électrolyseur mais vous oubliez qu'il y a le transport, le stockage, la membrane etc. Et donc, on a démontré que c'était un écosystème dense et qu'une lecture trop rapide de la filière était extrêmement réductrice » (Entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020).

Dans cette optique, l'AFHYPAC va mettre en œuvre, lors du salon professionnel *Hyvolution*²⁶⁵, en février 2020 à Paris, un dispositif pour identifier le maximum d'acteurs présents au niveau de la filière. Pour cela, l'association expose une grande fresque représentant la chaîne de valeur et demande aux participants du salon de se positionner en fonction de leur activité. Chacun va ainsi coller sa carte de visite sur le segment qui le concerne afin d'apparaître parmi les acteurs qui développent des composants, des équipements ou encore des services. La représentation de la chaîne de valeur de l'hydrogène élaborée par l'AFHYPAC est alors détaillée de façon assez fine, dans l'optique de montrer « la richesse du tissu industriel français avec des acteurs présents sur toute la chaîne de valeur²⁶⁶ ». En affichant ainsi l'ensemble des entreprises qui travaillent sur le sujet, il s'agit de donner à voir le grand nombre d'acteurs concernés et le potentiel non négligeable qu'ils représentent en termes d'emplois, de valeur ajoutée industrielle et de retombées économiques. Dans un

²⁶⁵ Hyvolution est un salon dédié à l'hydrogène créé en 2013 par le fondateur du cabinet de conseil Seiya Consulting, spécialisé dans ce domaine.

²⁶⁶ Note de l'AFHYPAC du 9 juin 2020, *L'hydrogène : une industrie stratégique*. p. 1

rapport²⁶⁷ de l'association, il est estimé que le développement d'une filière française de l'hydrogène pourrait engendrer la création de 120 000 à 250 000 emplois directs et indirects.

En parallèle du travail mené par le CSF NSE et l'AFHYPAC, des grands groupes industriels, du secteur de l'énergie mais aussi de la mobilité, s'organisent pour afficher leurs ambitions industrielles en matière d'hydrogène auprès de l'État. L'enjeu, pour ces acteurs, n'est pas seulement de représenter la filière, mais de montrer leur place dans la chaîne de valeur et leur capacité à se positionner sur le futur marché mondial de l'hydrogène en tant que *leader*, c'est-à-dire de figurer parmi les principaux fournisseurs d'équipements ou de services au niveau mondial.

A cet effet, ces acteurs rédigent, avec le soutien du cabinet McKinsey, un rapport intitulé « *Pour une politique ambitieuse de la filière hydrogène, au service du Pacte productif* ». Publié en janvier 2020, il est remis au ministre de l'Économie lors de la tenue du Conseil de l'hydrogène (*Hydrogen Council*) à Versailles. L'hydrogène est alors présenté comme étant « au service du Pacte productif » c'est-à-dire comme solution au déclassement du modèle de production français. La structuration d'une filière française doit permettre à certains acteurs industriels de devenir des « champions nationaux » à l'échelle mondiale. Une cartographie (cf. Figure 25) est réalisée pour mettre en exergue la maîtrise complète de la chaîne de valeur de l'hydrogène et la valeur ajoutée²⁶⁸ potentielle que chaque maillon pourrait générer. Par exemple, ils montrent que la production d'hydrogène décarbonée peut engendrer plus de 60 % de valeur ajoutée au niveau national grâce à une maîtrise des technologies et des services par certains acteurs français.

Depuis quelques années, les grands groupes industriels du secteur de l'énergie ou de la mobilité mettent en place plusieurs outils de coopération et de partenariat dans le but de développer leur activité sur le sujet. Ils investissent dans des sociétés spécialisées dans l'hydrogène ou créent des filiales dédiées. Par exemple, en 2018, EDF entre au capital de la société McPhy, fabricant d'électrolyseurs alcalins et crée en avril 2019 la filiale Hynamics pour produire et commercialiser de l'hydrogène décarboné. De la même manière, Air Liquide investit dans la start-up Ergosup, fabricant d'électrolyseurs en 2016, et lance, avec TotalEnergies, Vinci et d'autres entreprises, le premier fonds d'investissement destiné au financement des infrastructures à hydrogène. Du côté des grands groupes de l'automobile, en 2019, les équipementiers Faurecia et Michelin font de Symbio une filiale commune et, pour les constructeurs automobiles, Renault s'associe avec la société américaine Plug Power,

²⁶⁷ AFHYPAC. (2020). *Manifeste pour un plan national hydrogène ambitieux et cohérent : Les propositions de la filière hydrogène* (p. 36). p. 4

²⁶⁸ La valeur ajoutée correspond à la richesse produite lors du processus de production. Source : <https://www.economie.gouv.fr/facileco/definition-valeur-ajoutee>

en 2021, pour fonder la co-entreprise Hyvia destinée à commercialiser des véhicules hydrogène utilitaires et des services associés à la mobilité.

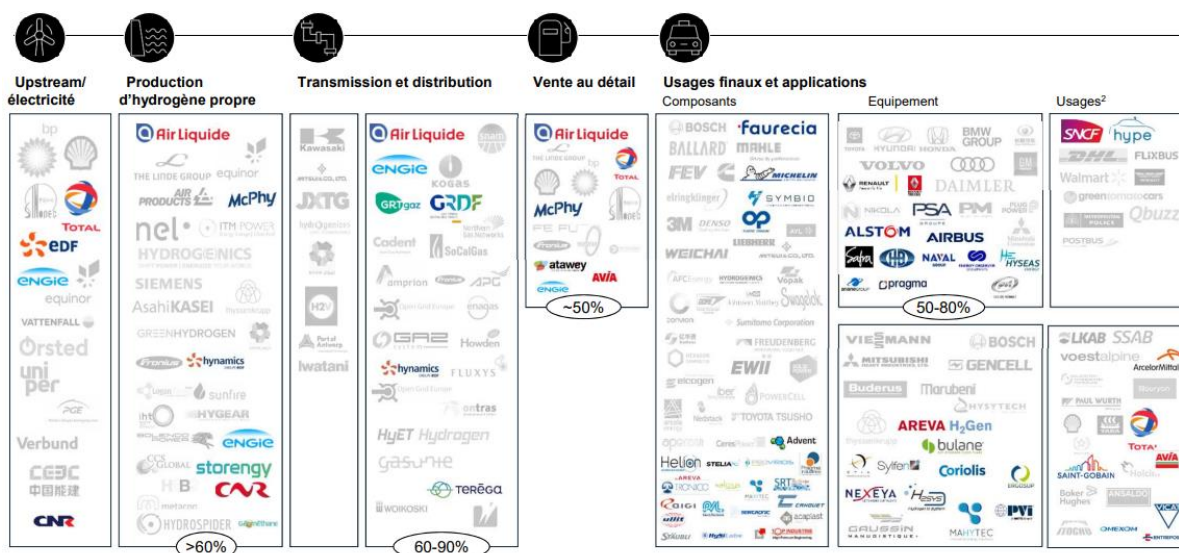


Figure 24 : représentation de la chaîne de valeur par une coalition d'acteurs industriels dans le cadre du Pacte Productif.
Source : AFHYPAC, 2020

L'objectif du rapport élaboré par certains acteurs de l'*Hydrogen Council* est de susciter l'intéressement des plus hauts représentants de l'État pour garantir un soutien plus important que celui impulsé originellement par le ministre Nicolas Hulot. Pour cela, les acteurs construisent une vision dramatique dans laquelle ils montrent les conséquences néfastes que pourrait avoir un manque de positionnement fort et rapide de l'État pour l'industrie française. Selon eux, la France a les atouts pour être présente dans la compétition mondiale sur l'hydrogène décarboné, aussi bien sur la production que sur la fabrication de certains composants. Néanmoins, le faible engagement de l'État entraînerait un certain retard de l'industrie française face à des concurrents asiatiques. Les industriels insistent sur la dimension d'urgence et le besoin d'agir rapidement afin de ne pas être devancés par d'autres industriels étrangers, comme en témoignent les propos tenus par l'AFHYPAC dans un manifeste publié en 2020, qui appelle à une nouvelle stratégie nationale de l'hydrogène : « *il est certain que si la France n'investit pas dans l'hydrogène, d'autres pays le feront, au prix d'une nouvelle dépendance énergétique et technologique*²⁶⁹ ». Ces acteurs souhaitent ainsi faire réagir au plus vite l'État, et plus particulièrement le ministère de l'Économie, afin de bénéficier de soutiens publics sur leurs activités dédiées à l'hydrogène.

²⁶⁹ AFHYPAC. (2020). *Manifeste pour un plan national hydrogène ambitieux et cohérent : Les propositions de la filière hydrogène*. p. 36.

« Donc on a été un groupe d'industriels, d'institutions aussi à sensibiliser l'État, la DGEC, la DGE, le SGPI sur la nécessité et l'opportunité que représentait la filière hydrogène en matière d'emplois, d'industrialisation, de création de valeur économique sur le territoire. Donc comment on s'y est pris ? Y'a eu une coalition d'acteurs, donc qui s'est faite en décembre et qui a travaillé sur un doc [...] en disant : mais attendez, là y'a un certain nombre d'opportunités qui, si elles ne sont pas saisies, peuvent avoir des retombées dramatiques pour l'industrie française. » (Entretien agent Michelin, mai 2020)

Pour renforcer leur argumentaire et susciter un engagement plus important de la part de l'État, le cas des panneaux photovoltaïques, considéré comme le contre-exemple emblématique de l'échec de la structuration d'une filière industrielle, est souvent repris par les acteurs industriels ou les membres du CSF NSE.

Pour mieux comprendre comment cet argument est utilisé au service de la filière hydrogène, il convient de revenir brièvement sur les différentes décisions nationales qui ont cadré le déploiement des panneaux photovoltaïques en France et pourquoi ce dernier constitue un mauvais exemple en termes de politique industrielle.

1.3.3 Ne pas reproduire les erreurs des panneaux solaires

Au début des années 2000, pour soutenir le déploiement de la production d'énergie solaire, l'État décide, en suivant l'exemple de l'Allemagne, d'instaurer des tarifs d'achat. Ces mécanismes financiers assurent alors aux producteurs d'électricité solaire l'achat, par EDF, de leur production d'énergie électrique à un prix supérieur de celui du marché afin d'amortir leurs investissements et de leur assurer un revenu minimal. Le tarif d'achat est fixé par l'État et va faire l'objet de plusieurs révisions, délimitant ainsi plusieurs phases dans son déploiement.

La première période, qui s'étend jusqu'en 2006, correspond à un prix du tarif d'achat assez faible (inférieur à 0,15 €/kWh), peu incitatif pour les investisseurs. En 2006, le tarif est revu à la hausse par le gouvernement pour favoriser un déploiement accru des panneaux photovoltaïques et atteint des prix aux alentours de 0,50 €/kWh, soit plus du triple par rapport à celui de 2006. Cette hausse va se poursuivre jusqu'en 2009, aboutissant au niveau de 0,60 €/kWh. Ce tarif beaucoup plus avantageux aux yeux des producteurs va engendrer de nombreuses installations de panneaux solaires. Si l'objectif de déploiement plus massif de production d'énergie solaire est atteint, ce mécanisme très attractif pour les porteurs de projet génère toutefois de nouveaux problèmes qu'il ne parvient pas à résoudre (Cointe, 2016). En décembre 2010, il est abandonné pour laisser place à une période de moratoire suivie de

réformes. Dès 2011, le tarif d'achat est fortement recadré par les pouvoirs publics nationaux, qui instaurent de nouvelles mesures de contrôle : les tarifs sont différenciés selon les capacités des installations et un plafonnement de la puissance installée par an est mis en place.

La démarche adoptée par la France n'a pas permis de protéger l'industrie nationale puisque la hausse du tarif d'achat a incité des acteurs étrangers, notamment chinois, à s'emparer du marché français, ne permettant pas de renforcer les industries françaises ni de soutenir la création d'emplois. Si la France, et plus globalement l'Europe, ont instauré des mécanismes de soutien au déploiement des panneaux solaires, la Chine a, elle, davantage mis l'accent sur son système de production de panneaux photovoltaïques, entraînant une industrialisation massive et de fait des coûts de production beaucoup plus faibles que les technologies européennes. Ainsi, profitant de l'aubaine offerte par les tarifs d'achat et la massification de la demande, les panneaux solaires chinois se sont largement imposés en France et en Europe²⁷⁰, malgré des dispositifs *antidumping*²⁷¹ mis en place au sein de l'Union européenne. En France, la filière du panneau photovoltaïque n'a pas résisté à la concurrence chinoise et aux coûts des panneaux solaires bien plus économiques que ceux fabriqués sur le territoire national. La filière photovoltaïque est donc passée du statut de filière prometteuse à celui de filière problématique (Cointe, 2016 ; Fontaine, 2019).

L'évocation, par les membres du CSF NSE, des panneaux photovoltaïques a pour objectif de susciter une certaine crainte auprès des pouvoirs publics : reproduire un schéma similaire en aidant massivement le déploiement de projets hydrogène sans penser au développement d'une filière technologique française. C'est pourquoi, tant au niveau national qu'au niveau européen, une forte attention est donnée à la structuration d'industriels européens sur tout ou partie de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Pour éviter de reproduire les erreurs du passé, les membres du CSF NSE et de l'AFHYPAC mettent en avant la nécessité de ne pas soutenir uniquement les projets, comme c'était le cas avec les tarifs d'achat, mais de mettre en place des mécanismes de soutien tant au niveau de l'offre que de la demande. Selon l'AFHYPAC, ces dispositifs doivent se faire à quatre niveaux : la demande pour amorcer le marché, la production d'hydrogène, les infrastructures et le développement d'une offre technologique française²⁷².

²⁷⁰ <https://reporterre.net/Photovoltaïque-une-filière-restée-dans-l'ombre>

²⁷¹ Une mesure antidumping a pour but de rétablir une concurrence loyale entre les produits importés des pays tiers et ceux produits dans l'Union européenne. Cette mesure vise à imposer un droit d'importation supplémentaire. Dans le cas des panneaux solaires, la Chine était accusée de vendre ses panneaux photovoltaïques à perte, compte tenu de la présence de surcapacité. L'Europe a donc imposé un tarif planché de vente provoquant ainsi une « guerre commerciale » entre la Chine et l'Europe.

²⁷² AFHYPAC. (2020). *Manifeste pour un plan national hydrogène ambitieux et cohérent : Les propositions de la filière hydrogène*. p. 4

L'exemple des panneaux solaires a affecté l'industrie non seulement française mais aussi européenne. Ainsi, l'intérêt porté au développement d'une offre de l'hydrogène est partagé au niveau européen, où des réflexions similaires voient le jour dès 2019.

1.3.3 Un contexte européen favorable *au déploiement d'une filière de l'hydrogène*

L'arrivée de la nouvelle présidente de la Commission européenne, Ursula Ven der Leyen, en décembre 2019, va impulser une nouvelle dynamique pour les politiques énergétiques européennes. Quelques semaines après sa prise de fonction, la nouvelle Commission européenne présente une feuille de route intitulée « Pacte vert pour l'Europe » (*European Green deal*) pour atteindre la neutralité carbone de l'Europe à horizon 2050. Pour y parvenir, elle prévoit la révision de plusieurs dispositifs réglementaires et propose, dès mars 2020, l'élaboration d'une loi climat afin d'inscrire cet objectif de neutralité. Quelques mois plus tard, à l'été 2020, l'institution européenne va plus loin et fixe un nouvel objectif : réduire de 55% les émissions nettes à horizon 2030 par rapport à 1990. Dans cette perspective, un paquet législatif appelé « *Fit for 55* » prévoit une série de révisions des textes en vigueur concernant l'énergie et le climat qui touche plusieurs secteurs (agriculture, industrie, biodiversité, transport, bâtiment, etc.), en imposant de nouveaux objectifs plus contraignants.

Dans la feuille de route présentée par la présidente de la Commission européenne, en décembre 2019, l'hydrogène figure parmi « les technologies de pointe » à développer rapidement²⁷³. Des réflexions sont menées sur le sujet et aboutissent à la publication d'une stratégie européenne de l'hydrogène en juillet 2020. L'enjeu de cette « stratégie hydrogène pour la neutralité carbone européenne²⁷⁴ » est de développer la production d'hydrogène « propre » et de « booster » la demande pour décarboner certains secteurs de l'industrie et des transports. Par hydrogène « propre », il est entendu de développer en priorité l'hydrogène issu d'énergies renouvelables, même si, à moyen terme, d'autres solutions dites « décarbonées » peuvent être déployées pour amorcer le développement²⁷⁵. Plusieurs objectifs sont alors fixés à court et long termes : à horizon 2024, il est ciblé l'installation de 6 GW d'électrolyseurs et une production annuelle de 1 million de tonnes d'hydrogène renouvelable et en 2030, 40 GW, soit environ 10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable par an.

²⁷³ Communication de la Commission Européenne du 11 décembre 2019 : le pacte vert pour l'Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

²⁷⁴ Communication de la Commission au Parlement européen, au conseil européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions du 8 juillet 2020 : *Stratégie hydrogène pour la neutralité carbone européenne*.

²⁷⁵ Il est compris comme étant de l'hydrogène bas carbone, dans la stratégie européenne, l'hydrogène issu d'énergies fossiles avec capture de carbone ou l'hydrogène issu d'électrolyse de l'eau dont l'électricité n'est pas renouvelable.

La stratégie européenne de l'hydrogène propre prévoit également l'établissement d'une alliance industrielle européenne de l'hydrogène, *Clean Hydrogen Alliance*. Ce mécanisme cherche à impliquer l'ensemble des parties prenantes de la chaîne de valeur de l'hydrogène (grands groupes industriels, petites et moyennes entreprises, pouvoirs publics, laboratoires de recherche, établissements publics, associations, etc.) dans le but de créer des partenariats et de développer une filière européenne de l'hydrogène propre compétitive à l'échelle internationale²⁷⁶.

Cette initiative fait écho à la feuille de route publiée en mars 2020 en matière de politique industrielle européenne, dans laquelle la Commission indique vouloir faire de l'industrie « l'accélérateur et le catalyseur » des changements induits par les transitions écologiques et numériques afin d'assurer à l'Europe sa souveraineté industrielle²⁷⁷. Dans cette stratégie, il est notamment spécifié qu'il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur et les interactions entre les différentes parties prenantes, afin de faciliter les coordinations et coopérations. Cette approche de politique industrielle renvoie aux réflexions menées durant l'année 2019 par un groupe d'experts sur lequel la Commission Européenne s'appuie²⁷⁸ et appelé le *Strategic Forum on Important Projects of Common European Interest*²⁷⁹. L'objectif de ce groupe est d'identifier les chaînes de valeur stratégiques pour transformer l'industrie européenne, à horizon 2030, afin qu'elle devienne plus compétitive, plus inclusive et plus durable²⁸⁰. Dans les recommandations remises à l'institution européenne, les membres du groupe identifient six chaînes de valeur stratégiques dans les domaines de la santé, de la décarbonation de l'industrie, du numérique, des véhicules autonomes, de la cyber sécurité et de l'hydrogène.

Pour qu'une chaîne de valeur soit qualifiée de stratégique, elle doit présenter trois caractéristiques²⁸¹ : reposer sur une innovation technologique, avoir un potentiel économique et de marché, apporter des réponses aux problèmes sociétaux et aux objectifs de politiques publiques européennes (changement climatique, sécurité et autonomie européenne, etc.). Ce travail d'identification vise à mettre en place des actions communes entre plusieurs États

²⁷⁶ Document de presse de la Commission Européenne du 8 juillet 2020 : *Alliance européenne pour un hydrogène propre*.

²⁷⁷ Communication de la Commission au Parlement européen, au conseil européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions du 10 mars 2020 : *Une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe*.

²⁷⁸ Communiqué de presse de la Commission européenne du 5 novembre 2019 : *Industrial policy: recommendations to support Europe's leadership in six strategic business areas*.

²⁷⁹ Ce groupe d'experts est créé en mars 2018. Il a pour objectif de proposer des recommandations à la Commission européenne pour construire la politique industrielle européenne. Il est composé de 45 membres (représentants des États membres, industriels, chercheurs).

²⁸⁰ Ibid.

²⁸¹ Document de la Commission européenne du 4 novembre 2019, rapport du Strategic Forum for Important Projects of Common European Interest : *strengthening strategic value chains for a future-ready EU industry*. 2019.

membres grâce à l'appui de des dispositifs financiers, réglementaires et de gouvernance, comme, par exemple, la création de l'Alliance hydrogène.

Un autre mécanisme de soutien élaboré par la Commission est le dispositif *Important project of common european interest* (IPCEI), autrement dit « projet important d'intérêt européen commun » (PIIEC). Celui-ci autorise des investissements substantiels en permettant aux États participants d'apporter un soutien financier au-delà du seuil fixé par la réglementation communautaire²⁸² pour certains domaines complexes et risqués, pour lesquels les industriels n'investissent pas sans un soutien massif des pouvoirs publics. Pour qu'un IPCEI soit mis en place pour l'une des chaînes de valeur stratégiques préalablement ciblées, il est nécessaire d'obtenir l'approbation de plusieurs États membres. Les États qui décident d'y participer élaborent ensemble un projet commun qui ne doit pas être bénéfique aux seuls États membres participants mais à l'ensemble des pays de l'Union Européenne.

Dans ce contexte, lors de la présidence de l'Allemagne au Conseil de l'Union Européenne²⁸³, en décembre 2020, 22 États membres et la Norvège signent un « manifeste pour le développement d'une chaîne de valeur européenne de l'hydrogène²⁸⁴ ». Dans ce texte, quatre axes prioritaires sont identifiés : la production d'hydrogène renouvelable et bas-carbone, l'industrialisation d'équipements pour les électrolyseurs et pour la mobilité lourde, le développement de solutions de stockage, de transport et de distribution d'hydrogène et enfin la décarbonation de l'industrie.

Il est prévu que chaque État signataire décline les axes stratégiques en fonction de ses intérêts et priorités nationales. Les États doivent ensuite organiser des appels à manifestation d'intérêt pour identifier les projets. Parmi ces derniers, certains sont sélectionnés et instruits par les services étatiques afin d'être notifiés auprès de la Commission Européenne pour faire l'objet d'un soutien public massif. Les États doivent réaliser un document chapeau dans lequel ils expliquent le lien entre tous les projets instruits et la manière dont l'ensemble de ces projets aura des retombées positives sur la filière hydrogène (Entretien agent 2 direction générale des entreprises, mars 2021).

En France, c'est le ministère de l'Économie qui est chargé de coordonner l'IPCEI et de définir les axes stratégiques en question. Pour comprendre comment ce dispositif est décliné à l'échelle nationale, il convient d'étudier en premier lieu la réponse de l'État face à ces nombreuses sollicitations.

²⁸² En effet, les aides d'État sont cadrées par la Commission Européenne et les aides publiques apportées ne peuvent pas dépasser un certain pourcentage du montant global du projet.

²⁸³ L'Allemagne affiche un soutien fort pour l'hydrogène depuis plusieurs années.

²⁸⁴ Manifesto for the development of a European "Hydrogen Technologies and Systems" value chain.

2) Une reprise en main par l'État

Au tournant de l'année 2019 – 2020, dans un contexte de crise économique et sociale, un des enjeux pour le gouvernement français est de mettre en œuvre une nouvelle politique afin de redonner une place plus importante à l'industrie. Dans ce contexte, la problématisation de l'hydrogène comme future filière stratégique parvient à s'imposer comme une solution répondant à un ensemble de problèmes publics : souveraineté industrielle et technologique, transition écologique et décarbonation de l'industrie. L'hydrogène fait alors l'objet d'un regain d'intérêt auprès de plusieurs acteurs ministériels et d'une mobilisation sans précédent des acteurs politiques.

2.1 L'hydrogène, une réponse politique à un problème industriel ?

En 2019, l'un des enjeux portés par le président de la République est de relancer l'industrie française en identifiant des filières prometteuses pour les acteurs industriels nationaux. L'hydrogène figure alors parmi les marchés potentiels à investir par l'Etat et les acteurs privés. En outre, la crise liée à la Covid-19 va s'avérer être favorable pour le développement de l'hydrogène.

2.2.1 La crise industrielle française : une fenêtre d'opportunité pour l'hydrogène

Au début de l'année 2019, un an après le début de la mobilisation des « gilets jaunes », le président de la République, Emmanuel Macron, lance « le Pacte productif pour le plein emploi » qui vise la mise en œuvre d'une nouvelle stratégie industrielle pour atteindre le plein emploi à horizon 2025. Considérant que la France risque de subir un « déclassement productif »²⁸⁵, son objectif est de modifier le modèle productif français. L'ambition du Président, à travers ce Pacte, est de replacer la France parmi les puissances industrielles européennes voire mondiales. La transition écologique est alors considérée, par l'État, comme un moyen de questionner ce modèle et d'y apporter de profondes transformations pour faire face aux nouveaux enjeux environnementaux, économiques et industriels.

Pour y remédier, le ministère de l'Économie propose, dans un rapport publié en octobre 2019, de changer de stratégie en menant une politique plus ciblée, c'est-à-dire en renforçant l'intervention de l'État dans quelques secteurs. Il n'est pas question d'intervenir dans tous les domaines mais de choisir ceux qui répondent aux enjeux sociétaux et pour lesquels les acteurs

²⁸⁵ Ministère de l'Économie et des Finances, Octobre 2019, *Pacte productif 2025*.

privés ne mettent pas d'actions en place sans une impulsion étatique²⁸⁶ (réduction de la pollution industrielle, investissement dans des technologies de pointe, etc.). Il s'agit donc d'élaborer une politique industrielle dite « offensive » à l'aide d'une stratégie économique qui se focalise sur des industries naissantes et pour lesquelles la France a une chance de positionner des acteurs sur ces nouveaux marchés.

Dans cette optique, plusieurs études sont menées pour identifier les secteurs sur lesquels l'État doit se concentrer. Le ministère de l'Économie, accompagné du cabinet de conseil Roland Berger, réalise une étude pour cibler les « marchés clés » qui répondent à ces attentes. Au départ, environ 70 sont pré-ciblés et font l'objet d'une évaluation plus précise à l'aide de trois critères généraux : le potentiel de croissance (économique et d'emplois) que représente ce marché à horizon 2025 - 2030, les forces et faiblesses de la France sur ce marché et les formes d'intervention publique nécessaires pour le développer (entretien agent 3 DGE, avril 2021). A l'issue de cette première phase, une quarantaine de marchés clés sont retenus. Un travail plus approfondi est ensuite effectué par les agents du ministère de l'Économie, avec le soutien d'autres services ministériels, afin d'imaginer la mise en œuvre concrète de sa stratégie (entretien agent 3 DGE, avril 2021).

En parallèle de ces travaux menés par les services de l'État, un autre rapport est réalisé par un collège d'experts composé d'acteurs privés, académiques et de représentants d'institutions publiques. Ce groupe est présidé par Benoit Potier, président-directeur général d'Air Liquide, et doit rendre un avis sur les marchés considérés comme stratégiques et pour lesquels l'État doit intervenir. Dans ce rapport, publié en février 2020, dix marchés sont présentés comme prioritaires, parmi lesquels figure l'hydrogène. Douze autres sont jugés comme présentant des potentiels et pouvant faire l'objet de soutiens ultérieurement²⁸⁷.

Les travaux du ministère de l'Économie et du collège d'experts sont remis au gouvernement afin qu'il sélectionne les marchés sur lesquels il souhaite se positionner. Ceux qui sont choisis donnent lieu à des stratégies d'accélération, c'est-à-dire des feuilles de route élaborées en formation interministérielle, qui identifient les actions prioritaires à mettre en place et les investissements étatiques nécessaires pour répondre aux besoins ou aux failles de marchés²⁸⁸. Ces stratégies sont ensuite soumises à plusieurs étapes de validation successives par le Conseil interministériel de l'innovation (C2I) composé des services du Premier ministre, du ministère de l'Économie, du ministère de la Transition Écologique et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Chaque stratégie d'accélération est pilotée par un ou plusieurs ministères concernés par le domaine, qui assure le déroulement des actions

²⁸⁶ Ibid.

²⁸⁷ Rapport aux Ministre de l'Économie et des Finances et Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, 2020, *Faire de la France une économie de rupture technologique - Pacte productif*.

²⁸⁸ <https://www.gouvernement.fr/strategies-d-acceleration-pour-l-innovation>

identifiées. Un coordinateur interministériel est également nommé afin de faire le lien entre les différents services nationaux en question.

C'est donc la convergence entre les intérêts des industriels et ceux de l'État qui permet de hisser l'hydrogène en tant que marché industriel clé. Afin d'obtenir une image plus claire de l'ensemble des initiatives nationales sur le sujet, un appel à manifestation d'intérêt « Projets innovants d'envergure européenne ou nationale sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène » est mis en place par un groupe de travail réunissant plusieurs ministères à la fin du mois de janvier 2020. Ce dispositif vise à identifier les projets de déploiement de l'hydrogène pour établir un état des lieux de la filière française, mais aussi pour identifier les projets qui peuvent faire l'objet d'un dépôt dans le cadre du mécanisme européen IPCEI²⁸⁹. Ces travaux sont toutefois perturbés par la crise sanitaire qui touche le monde entier au début de l'année 2020. La crise du Covid-19 va néanmoins avoir un impact favorable pour l'hydrogène en renforçant la fenêtre d'opportunité déjà ouverte par la situation de crise industrielle.

2.2.2 La crise du Covid-19 : mobiliser l'hydrogène en réponse aux enjeux de souveraineté industrielle

Le contexte de l'année 2020 est marqué par la situation sanitaire liée à la pandémie de la Covid-2019. Les différentes périodes de confinement et les restrictions prises par le gouvernement pour freiner la pandémie ont des conséquences dans de nombreux domaines de l'économie et de l'industrie. Plusieurs secteurs sont fortement ralentis voire arrêtés pendant plusieurs semaines, ce qui impacte très fortement l'activité économique. L'économie française connaît alors un « choc historique », jamais rencontré en temps de paix, avec une chute de près de 19 % du PIB en 2020 (Jusot & Wittwer, 2022).

La pénurie de plusieurs équipements jugés indispensables pour faire face à cette crise sanitaire (masques, tests, respirateurs, etc.) met alors en évidence la dépendance de la France vis-à-vis d'autres pays pour l'approvisionnement de plusieurs biens (Cohen, 2020). La pandémie révèle de manière brutale les choix en matière de politique industrielle réalisés depuis plusieurs années, consistant à délocaliser massivement les industries (Cohen, 2020). Cette dépendance nationale vient donc renforcer les constats déjà établis en 2019 et le besoin urgent de relocaliser l'industrie en France. La question de la souveraineté française et européenne devient un élément central des politiques publiques européennes et nationales mises en œuvre pour répondre à la crise.

²⁸⁹ Cahier des charges de l'Appel à Manifestation d'Intérêt, janvier 2020, *Projets innovants d'envergure européenne ou nationale sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène.*

A travers la construction de nouveaux plans d’actions, il s’agit d’assurer une « souveraineté industrielle » à l’Europe voire à l’échelle nationale (Cohen, 2020). Au cours de l’été 2020, à la sortie de la « première vague » de la Covid-19, la Commission européenne publie un plan de relance *Next Generation EU* dans le but de redresser l’économie européenne. Celui-ci prévoit un budget d’environ 750 milliards d’euros d’aides destinés aux États-membres sous forme de prêts et de subventions. Avec ce plan et ces fonds financiers, la Commission ambitionne de construire « l’Europe de l’après-Covid-19 » tout en répondant aux enjeux des transitions écologiques et numériques²⁹⁰.

Dans ce contexte, la France publie un Plan de relance appelé France Relance, en septembre 2020. Le gouvernement présente alors les actions entreprises par l’État pour redresser l’économie française et retrouver son niveau économique d’avant crise à horizon 2022. Le plan français est doté d’un budget de 100 milliards d’euros dont 40 milliards proviennent de l’Europe pour des dépenses engagées entre 2020 et 2022²⁹¹. Trois volets sont déclinés dans le plan France Relance²⁹², qui sont résumés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 13 : Présentation des actions ciblées par le plan France Relance en 2020.

	Volet 1 : écologie et transition énergétique	Volet 2 : compétitivité des entreprises	Volet 3 : cohésion des territoires
Exemples de mesures dites phares	<ul style="list-style-type: none"> - Décarbonation de l’industrie - Rénovation thermique des bâtiments - Développement des technologies vertes - Transformation du secteur agricole - Bonus écologique 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement et modernisation de l’industrie - Soutien à l’export - Croissance des petites entreprises 	<ul style="list-style-type: none"> - Sauvegarde des emplois - Faciliter la formation ou la reconversion des travailleurs - Soutenir le secteur de la santé - La cohésion territoriale
Budget dédié	30 milliards d’euros	34 milliards d’euro	36 milliards d’euros

Sources : <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance>

Réalisation : auteure

²⁹⁰ https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_fr#nextgenerationeu (Consulté le 11/08/2022)

²⁹¹ <https://www.gouvernement.fr/les-priorites/france-relance> (Consulté le 11/08/2022)

²⁹² <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance> (Consulté le 11/08/2022)

Afin de mettre en œuvre des actions dès la fin de l'été 2020, le Plan de relance s'appuie notamment sur les stratégies d'accélération définies, au début de l'année 2020, à partir des travaux menés dans le cadre du Pacte Productif. Le sujet hydrogène, à l'étude depuis plusieurs mois, fait l'objet de la première stratégie d'accélération publiée le 8 septembre 2020. Celle-ci est portée à la fois par les ministères de l'Économie et de la Transition Ecologique avec un coordinateur interministériel appartenant au Secrétariat général pour l'investissement²⁹³ (SGPI).

Il est difficile d'évaluer précisément les impacts de la crise de la Covid-19 sur la stratégie hydrogène, notamment sous forme d'une éventuelle accélération dans la publication d'un nouveau plan national hydrogène. Le sujet bénéficiait déjà, début 2020, d'un intérêt de la part des pouvoirs publics, compte tenu de sa capacité à s'imposer comme une réponse à plusieurs défis sociétaux. L'urgence de relancer l'économie française après la crise sanitaire a certainement eu un effet positif sur le sujet sans toutefois qu'il soit possible d'en mesurer précisément l'ampleur.

2.2 La nouvelle stratégie nationale : être producteur mondial d'hydrogène vert en s'appuyant sur le mix énergétique français

En septembre 2020, les ministres de l'Économie, Bruno le Maire, et de la Transition Ecologique, Barbara Pompili, annoncent une nouvelle « stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France ». A travers ce nouvel plan d'actions, de nouvelles priorités sont fixées et des choix concernant la production d'hydrogène décarboné sont pris par l'État.

2.2.1 Une priorité nationale : avoir des champions nationaux sur la chaîne de valeur de l'hydrogène

Ce deuxième plan national²⁹⁴, pourvu d'une enveloppe budgétaire de 7,2 milliards d'euros d'ici 2030, dont 3,4 milliards alloués pour la période 2020 – 2023, fixe de nouveaux objectifs en matière d'hydrogène.

Cette deuxième stratégie ne vient pas modifier les grandes lignes déjà identifiées par le plan Hulot en 2018, dans la mesure où la décarbonation de la production d'hydrogène et des

²⁹³ Le Secrétariat général pour l'investissement est un service du Premier ministre qui a la charge d'assurer le suivi des politiques d'investissement de l'État.

²⁹⁴ Ministère de l'économie & Ministère de la transition écologique. (2020). *Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France*

secteurs de l'industrie et de la mobilité restent visés. Cependant, contrairement au plan précédent, il ne s'agit plus uniquement de déployer les technologies de l'hydrogène mais d'encourager la structuration d'une filière technologique française de l'hydrogène. L'hydrogène bas-carbone est défini par le gouvernement comme « *une priorité pour la souveraineté énergétique et industrielle de la France*²⁹⁵ ». Souveraineté énergétique dans la mesure où l'État fait le choix de produire l'hydrogène bas-carbone sur le territoire national et de ne pas avoir recours à des importations, comme le prévoit le plan allemand. Souveraineté industrielle puisque l'État décide d'apporter un soutien aux industriels présents sur la chaîne de valeur de l'hydrogène afin d'assurer le développement d'une offre de technologies et de composants d'origine française et de ne pas faire appel aux outils étrangers.

La stratégie nationale est décomposée en trois axes (cf. Tableau 14). Le premier vise la décarbonation de l'industrie grâce à la production d'hydrogène décarboné par électrolyse de l'eau. L'enjeu est à la fois de structurer une filière française de l'électrolyse de l'eau pour atteindre une capacité de 6,5 GW d'électrolyseurs installés d'ici 2030²⁹⁶, mais aussi de soutenir l'utilisation d'hydrogène décarboné dans des secteurs industriels (raffinage, chimie, métallurgie, etc.). Ce premier axe constitue plus de la moitié (54 %) de l'enveloppe budgétaire prévue pour la période 2020 – 2023, grâce à plusieurs dispositifs d'aides publiques (IPCEI, compléments de rémunération), que nous détaillerons par la suite.

Le deuxième axe est celui de la mobilité lourde et représente une part de 27 % du budget prévu pour la phase 2020 – 2023. Comme pour le premier axe, il n'est pas uniquement question de décarboner la mobilité mais de proposer également une offre française d'équipements pour ce secteur. A cet effet, l'État projette le développement de composants et de technologies françaises (pile à combustible, réservoirs, système de distribution d'hydrogène, moteur à combustion interne) à destination de la mobilité lourde aussi bien terrestre, ferroviaire qu'aérienne. Ce deuxième axe comprend également des mesures pour inciter les territoires à développer des « projets d'envergure » en mutualisant les usages industriels et de mobilité. Le principe « d'écosystèmes territoriaux » est d'ailleurs repris par la stratégie nationale, que nous interrogeons dans la seconde section du chapitre.

Enfin, la troisième priorité concerne la recherche et l'innovation ainsi que le développement de compétences, l'idée étant de renforcer la recherche pour des futurs usages et procédés (avion à hydrogène, nouveaux usages industriels tels que l'aciérie, etc.) et de développer des compétences pour assurer la création de métiers et de formations spécifiques à l'hydrogène. Ce troisième axe est celui doté de l'enveloppe budgétaire la plus faible (19 %) pour la période 2020 – 2023.

²⁹⁵ Ibid.

²⁹⁶ D'après les estimations de France Hydrogène (ex-AFHYPAC), cela représente environ 600 000 tonnes d'hydrogène par an.

La deuxième stratégie nationale reprend ainsi la vision construite par plusieurs acteurs industriels et de l'énergie réunis au sein de l'AFHYPAC et du CSF NSE, qui considèrent que l'hydrogène est source de retombées industrielles importantes et qu'il est nécessaire de développer la filière technologique. En présentant l'hydrogène comme un vecteur créateur d'emplois et de relocalisation industrielle, l'État mise alors sur certains maillons de la chaîne de valeur pour favoriser le positionnement d'industriels français sur le marché en cours de construction. L'un des objectifs principaux de cette stratégie, comme en témoignent les fonds alloués pour les différents axes et le discours de Bruno Le Maire (cf. encadré n°3), est de faire émerger « des champions nationaux », que ce soit sur la production par électrolyse ou sur la fourniture d'équipements pour la mobilité.

Tableau 14: axes de la nouvelle stratégie nationale hydrogène en 2020.

Axes	Décarboner l'industrie	Mobilité lourde	Recherche et innovation
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> - Faire émerger une filière française de l'électrolyse en développant une capacité de 6,5 GW installée d'ici 2030 et développer des gigafactories d'électrolyseurs - Remplacer l'hydrogène gris dans certains secteurs industriels (chimie, raffinage, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Développer une offre de la mobilité lourde hydrogène en soutenant la production d'équipements et de composants - Développer des projets territoriaux d'envergure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Soutenir la recherche et l'innovation sur le sujet. - Accompagner et soutenir le développement de formations dédiées à l'hydrogène
Dispositifs de soutien	IPCEI et complément de rémunération	Deux appels à projets pilotés par l'Ademe	Programme prioritaire de recherche piloté par l'ANR
Budget annoncé	Environ 1,836 milliards d'euro	Environ 918 millions d'euros	Environ 646 millions d'euros

Source : dossier de presse de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France.

Réalisation : auteure

Encadré n°3 : Extrait du discours de Bruno le Maire, le 8 septembre 2020 lors de la présentation de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France :

« Nous aidons pour qu'il y ait des emplois, nous aidons pour qu'il y ait des usines, nous les aidons pour qu'il y ait de la relocalisation industrielle. Nous aidons à hauteur de 7 milliards d'euros pour être les meilleurs, pas les deuxièmes ou les troisièmes, pour être les meilleurs en Europe avec l'Allemagne sur la production d'hydrogène et sur cette stratégie d'hydrogène.

Nous avons fait notre part du chemin. Nous avons, avec Barbara Pompili, fait un choix difficile, stratégique, sur l'hydrogène. Nous attendons de vous qu'il y ait aussi votre part du chemin qui soit faite en termes de création d'emplois, d'innovation et de succès technologique.

Je le dis parce que beaucoup nous ont incités à aller dans cette direction en disant si nous voulons de l'hydrogène tout de suite, il faut l'acheter à l'étranger.

Cela s'appelle « la stratégie panneaux solaires chinois ». Nous avons déjà essayé, nous avons vu ce que ça valait. Cela se solde par un coût budgétaire prohibitif, par le déclassement industriel de notre pays et par le financement de l'industrie chinoise.

Donc nous avons choisi une stratégie radicalement différente [de celles des panneaux solaires]. Elle est plus lente et il faut l'expliquer aux Français. Elle prendra plus de temps, elle ne sera pas visible tout de suite. Mais nous pourrons dire aux générations qui viennent, nous avons créé une nouvelle filière industrielle qui est celle de l'industrie hydrogène.

Nous allons donc investir pour faire émerger une filière française de l'électrolyse. Nous aurons notre propre filière d'électrolyse pour séparer l'hydrogène de l'oxygène. Nous aurons nos propres outils, notre propre fabrication. Nous avons une technologie qui est avancée, eh bien nous allons la faire passer à un niveau industriel.

Ensuite nous développerons les mobilités lourdes à hydrogène. Une fois que nous aurons réalisé ces composants, notamment l'électrolyse qui est la technologie la plus prometteuse, nous allons le faire pour les véhicules lourds, nous allons le faire pour le train, nous allons le faire pour les poids lourds et nous avons une ambition, c'est de le faire pour l'avion. »

Pour le gouvernement, la stratégie nationale hydrogène doit assurer à la France une souveraineté à la fois technologique mais aussi énergétique. C'est pourquoi, l'État fait le choix de produire l'hydrogène exclusivement sur le sol national grâce à l'électrolyse de l'eau et à son mix électrique décarboné. Cette décision va positionner la France dans une situation spécifique face à l'Europe et à ses pays voisins, dont certains s'opposent au recours à une production d'hydrogène issue du nucléaire.

2.2.2 L'élaboration de textes réglementaires : reflets d'un choix politique sur la production d'hydrogène

Cette stratégie vient légitimer des choix politiques en faveur de certaines technologies. Si la production par électrolyse de l'eau était déjà identifiée comme une priorité par le plan Holut, les technologies éligibles dans les appels à projets de 2018 ne se restreignaient pas à celle-ci. En 2020, l'État fait le choix de ne développer que l'électrolyse de l'eau dans l'optique de se positionner comme un producteur mondial d'hydrogène décarboné. Les autres techniques de production comme celles issues de la biomasse ou les procédés de séquestration du carbone ne bénéficient pas de soutien massif. En témoigne la rédaction d'une ordonnance et d'un décret sur l'hydrogène publiés en février 2021, où la définition des termes de l'hydrogène suscite de nombreux débats et montre explicitement le positionnement du gouvernement.

Ces deux textes législatifs définissent plusieurs dispositions relatives à la production, au transport et au stockage, à la traçabilité, au soutien et à la commercialisation de l'hydrogène. L'ordonnance permet de définir plusieurs points : une terminologie des différents noms de l'hydrogène en fonction du mode de production ; la mise en œuvre de dispositifs de traçabilité et de garantie d'origine pour assurer le consommateur du caractère renouvelable ou bas carbone ; l'établissement de mécanismes de soutien par complément de rémunération pour combler l'écart de prix entre la production d'hydrogène renouvelable et bas carbone par électrolyse de l'eau et la production issue d'énergies fossiles.

La DGEC, en charge de la rédaction de ces textes, organise plusieurs réunions de consultation publique avec les acteurs de la filière. Y participent des acteurs des secteurs électrique, gazier et pétrolier ainsi que plusieurs associations ou fédérations professionnelles. Chaque participant peut donner son avis et envoyer ses contributions au ministère afin de faire progresser les réflexions. Nous avons pu assister à trois de ces réunions organisées par la DGEC²⁹⁷, ce qui nous a permis de retracer de manière partielle l'évolution des textes législatifs. Nous souhaitons plus particulièrement nous intéresser aux parties concernant la

²⁹⁷ Deux réunions avaient déjà eu lieu en mars et avril 2020, nous avons pu participer à une réunion en juin 2020, une en septembre 2020 et une en février 2021.

terminologie de l'hydrogène renouvelable et bas-carbone afin de mettre en avant les débats sur ce sujet.

Lors de la première réunion en avril 2020, la DGEC propose les définitions suivantes pour la terminologie de l'hydrogène²⁹⁸ :

- « *Hydrogène renouvelable : produit par électrolyse de l'eau en utilisant de l'électricité issue d'énergies renouvelables ou produit par vaporeformage de biogaz, dont l'émission de gaz à effet de serre (GES) est inférieure à un seuil fixé.*

- *Hydrogène bas-carbone : produit à partir d'un mix énergétique dont l'émission totale de GES est inférieure au seuil fixé. »*

Face à ces définitions, plusieurs des acteurs qui participent à la concertation revendiquent un manque de neutralité technologique par le ministère et demandent à ce que la définition ne soit pas restreinte à quelques technologies mais soit générique, en fonction du seuil des émissions de CO₂ indiqué. En effet, les propositions du ministère pour l'hydrogène bas-carbone ne concernent que le mode de production par électrolyse et excluent certaines technologies issues de la biomasse ou encore le recours au procédé de captage du carbone (CCS).

En réponse à ces critiques, une deuxième version est proposée en juin 2020 par la DGEC. Cette dernière définit alors l'hydrogène renouvelable comme étant à la fois produit²⁹⁹ « *par électrolyse de l'eau issue d'énergies renouvelables ou toute autre technologie à partir des sources renouvelables n'entrant pas en concurrence avec d'autres usages, dont l'émission de GES est inférieure à un seuil qui reste à fixer* », et l'hydrogène bas-carbone comme étant « *produit à partir d'un mix énergétique dont l'émission totale de GES est inférieure au seuil défini mentionné ci-dessus* ».

Cette deuxième définition continue toutefois d'écarter quelques moyens de production comme ceux ayant recours à la biomasse. La DGEC a plusieurs fois manifesté, dans des interventions publiques, le souhait de ne pas vouloir inclure ces procédés dans les mécanismes de soutien de l'hydrogène, considérant qu'il valait mieux réserver la biomasse pour d'autres usages énergétiques (chauffage, etc.).

Dans ce contexte, lors de la consultation publique sur les textes en projet qui se tient en janvier 2021, une grande majorité des contributions continue de demander une approche technologique plus neutre et plusieurs participants demandent l'inclusion de la pyrogazéification de biomasse en tant que mode de production d'hydrogène renouvelable ou

²⁹⁸ Présentation lors de la réunion de concertation 2 organisée par le ministère de la Transition Ecologique sur la traçabilité de l'hydrogène le 10 avril 2020.

²⁹⁹ Présentation lors de la réunion de concertation 3 organisée par le ministère de la Transition Ecologique sur la traçabilité de l'hydrogène le 24 juin 2020.

bas-carbone³⁰⁰. La contribution³⁰¹ du club Pyrogazéification de l'Association technique de l'énergie et de l'environnement (ATEE) met en avant le fait que la restriction concernant la concurrence en termes d'usages n'est pas appliquée à l'électrolyse de l'eau mais uniquement aux autres procédés. Ils considèrent que, dans l'état actuel des choses, les définitions données constituent « *un frein à tout projet de valorisation énergétique de la biomasse sous forme d'hydrogène* ». Dans cette perspective, ils réclament la modification de la définition de l'hydrogène renouvelable et proposent d'introduire la phrase suivante : « *n'entrant pas en conflit avec d'autres usages permettant leur valorisation directe sous forme non-énergétique* ».

« En gros, ce qu'on a demandé, c'est qu'on est d'accord pour que, bien sûr, la valorisation matière et alimentaire soit prioritaire sur ces ressources. Mais ce qu'on demande sur ces ressources, une fois que ces ressources là on va dire « nobles » ont été allouées à l'usage matière et alimentaire, c'est que le reste des ressources allouées pour un usage énergétique, c'est qu'il n'y ait pas de priorisation. Là c'était beaucoup trop contraignant ! [...] Ça voulait dire que si je veux valoriser les résidus de bois, tant que je peux les brûler sur place les utiliser pour un usage chaleur quelconque local, je n'avais pas le droit de le transformer en hydrogène. On trouvait que c'était quand même très très strict. » (Entretien avec un membre de l'ATEE, mars 2021).

Finalement, la version définitive de la définition de l'hydrogène renouvelable est la suivante : « *l'hydrogène produit soit par électrolyse en utilisant de l'électricité issue de sources d'énergies renouvelables soit par toute une autre technologie utilisant exclusivement une ou plusieurs de ces mêmes sources d'énergies renouvelables et n'entrant pas en conflit avec d'autres usages permettant leur valorisation directe. Dans tous les cas, son procédé de production émet, par kilogramme d'hydrogène produit, une quantité d'équivalent dioxyde de carbone inférieure ou égale à un seuil³⁰²* ». Cependant, il nous semble que cette définition n'intègre toujours pas la demande du club de pyrogazéification concernant la non priorisation des ressources en termes d'usages énergétiques.

Concernant l'hydrogène bas-carbone, la définition retenue est la suivante : « *L'hydrogène bas-carbone est l'hydrogène dont le procédé de production engendre des émissions inférieures ou égales au seuil retenu pour la qualification d'hydrogène renouvelable, sans pouvoir, pour autant, recevoir cette dernière qualification, faute d'en remplir les autres critères³⁰³*. »

³⁰⁰ Synthèse de la consultation préalable du public sur le projet d'ordonnance relative à l'hydrogène, prise en application de l'article 52 de la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/annexe_ordonnance_h2_synthese_consultation_public.pdf (Consulté le 22/07/2022).

³⁰¹ Contribution du Club Pyrogazéification de l'ATEE, en réponse à la consultation publique relative à l'ordonnance hydrogène. Janvier 2021

³⁰² Ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène.

³⁰³ Ibid.

Pour l'hydrogène bas-carbone, un autre débat concerne l'inclusion ou non de l'hydrogène produit par vaporeformage de gaz naturel avec capture de carbone³⁰⁴, technologie que le gouvernement avait déjà affirmé ne pas vouloir soutenir lors des débats sur la loi Énergie-Climat en 2019. La manière dont est défini l'hydrogène bas-carbone laisse, selon nous, une zone de flottement qui ne permet pas d'indiquer clairement sa prise en compte ou non.

Ainsi, la mise en place d'une terminologie pour l'hydrogène et les débats engendrés confirment la volonté de l'État de soutenir en priorité l'hydrogène par électrolyse de l'eau. Cette ambition va plus loin en élargissant également le mécanisme de traçabilité et de garantie d'origine initialement prévu par la loi Énergie climat seulement pour l'hydrogène renouvelable à l'hydrogène bas carbone. De la même manière, le dispositif de soutien par complément de rémunération n'est prévu que pour une production électrolytique.

Tous les instruments nationaux en faveur de l'hydrogène convergent vers le choix de construire une filière française de l'électrolyse, choix clairement affiché en septembre 2020 lors de la publication de la nouvelle stratégie nationale hydrogène. Cette rétrospective sur la définition des termes de l'hydrogène illustre la manière dont l'État est passé d'une position ambiguë et hésitante vis-à-vis de la filière (telle qu'il pouvait encore l'avoir au moment du plan Hulot) à une position affirmée guidée par des enjeux industriels et de souveraineté énergétique.

L'un des éléments déterminants de cette terminologie précisée dans l'ordonnance reste néanmoins le seuil d'émissions de gaz à effet de serre. Pour autant, à l'été 2022, ce seuil n'est toujours pas connu. Sa détermination semble susciter de nombreuses questions quant à la méthode de calcul et à la délimitation des étapes qui doivent être prises en compte dans le calcul.

2.2.3 L'hydrogène : un instrument pour relancer le nucléaire ?

Les débats sur la définition de l'hydrogène bas-carbone ou décarboné dépassent le cadre national. En effet, la prise en compte de l'hydrogène issue du nucléaire fait l'objet, en Europe, de prises de positions divergentes opposant par exemple la France et l'Allemagne. La France s'est positionnée comme une fervente défenseuse du nucléaire pour que ce dernier soit pris en compte comme technologie décarbonée lors des débats concernant la taxonomie européenne. La taxonomie européenne est « une classification des activités économiques considérées comme ayant un impact sur l'environnement³⁰⁵ ». Lors du premier acte délégué,

³⁰⁴ Ce procédé vise à avoir un mode de production classique de l'hydrogène par vaporeformage de gaz naturel et d'inclure une étape de séquestration de carbone, c'est-à-dire un procédé qui cherche à capter les émissions de CO₂ émises lors du procédé industriel.

³⁰⁵<https://www.vie-publique.fr/questions-reponses/283166-neutralite-carbone-la-taxonomie-europeenne-en-six-questions> (Consulté le 22/07/2022).

en juin 2021, le texte n'inclut ni le nucléaire ni le gaz. S'ensuit alors une forte mobilisation de certains États-membres, dont la France, pour inclure ces sources énergétiques. En 2022, la classification intègre finalement ces deux sources d'énergie.

Le nucléaire apparaît, dans les discours des acteurs politiques nationaux, comme un avantage considérable permettant à la France de se positionner comme un producteur mondial d'hydrogène. Pour certains acteurs, telle que la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), la distinction entre hydrogène renouvelable et bas carbone n'est pas nécessaire dans la mesure où l'objectif est bel et bien de décarboner l'économie et que le nucléaire, par son caractère faible en carbone, y participe pleinement.

Cet avis de la CRE rejoint les propos exprimés par le président de l'AFHYPAC à la fin de l'année 2020. Lors d'une table ronde sur la stratégie hydrogène européenne organisée par la Commission des affaires européennes³⁰⁶, il pose la question des objectifs assignés au développement de l'hydrogène : « *Est-ce que l'on veut décarboner l'économie ou est-ce que l'on veut favoriser les énergies renouvelables ?* » avant d'ajouter que « *l'ennemi c'est le carbone, c'est pas le nucléaire* ». Cette prise de parole montre bien la dualité existante entre une vision pour laquelle l'hydrogène est perçu comme un moyen de développer les énergies renouvelables et une vision où la préoccupation est plutôt centrée sur l'indépendance énergétique et la compétitivité industrielle.

Cette idée d'un choix nécessaire entre stockage des énergies renouvelables et décarbonation de certains secteurs est partagée par les acteurs étatiques. Si, dans le chapitre précédent, nous avons vu que le rôle de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage était au fur et à mesure remis en cause et que la focale était davantage mise sur la décarbonation, l'existence d'une opposition ferme entre les deux n'apparaissait pas si clairement. Avec les enjeux de souveraineté technologique et énergétique exprimés dans les orientations nationales, la représentation de l'hydrogène en tant qu'accélérateur et levier de développement des énergies renouvelables semble désormais nettement mise en retrait.

« Souveraineté énergétique, souveraineté technologique, ça vous conduit naturellement en fait à faire de l'électrolyse. [...] Parce qu'on a un mix électrique qui est déjà fortement décarboné, c'est un facteur important ! S'il avait été carboné on aurait dû, peut-être, faire le choix du renouvelable. » (Entretien agent de la task force hydrogène, juillet 2021).

Le lien entre nucléaire et hydrogène est également visible lors de la présentation du plan France 2030 par le Président Emmanuel Macron en octobre 2021. France 2030 est un plan

³⁰⁶ Affaires européennes et OPECST : table ronde sur la stratégie européenne de l'hydrogène du 18 novembre 2020.

d'investissement sur cinq ans, doté d'une enveloppe de 30 milliards d'euros pour développer la compétitivité industrielle et certaines technologies d'avenir³⁰⁷. Il est décliné en dix objectifs dans différents domaines (énergie, mobilité, aéronautique, agro-alimentaire, santé, etc.). Les deux premiers objectifs concernent l'énergie. Le premier aborde le sujet du nucléaire avec l'élaboration de petits réacteurs nucléaires, à travers lesquels le Président Emmanuel Macron envisage de relancer la filière du nucléaire. Le deuxième objectif concerne la production d'hydrogène décarboné. Dans son discours du 12 octobre 2021³⁰⁸, lors de la présentation du plan France 2030, le Président Emmanuel Macron indique qu'il existe deux stratégies possibles pour produire de l'hydrogène décarboné : soit en ayant recours à de l'hydrogène renouvelable importé, soit en produisant sur le territoire national grâce au mix électrique qu'il présente comme « *très décarboné* ». Pour le président de la République, le nucléaire est le moyen de faire la France « *un leader de l'hydrogène décarboné* » et de continuer à lui assurer une indépendance énergétique.

L'hydrogène vient donc, selon nous, justifier des choix de politique énergétique plus larges. Pour parvenir aux objectifs fixés de neutralité carbone et de production d'hydrogène décarboné tout en garantissant un prix compétitif à ce dernier, le gouvernement ainsi que la plupart des acteurs de la filière présentent le recours au nucléaire comme la seule solution possible. Dans cette optique, la relance de la filière nucléaire est en partie justifiée par les futurs besoins en hydrogène afin d'assurer une production nationale et conférer à la France une place de producteur mondial.

Au cours de cette première section, nous avons pu analyser l'émergence d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène qui prend forme durant les années 2019 – 2020. Les actions entreprises par le CSF NSE et d'autres industriels parviennent à intéresser le ministère de l'Économie, qui témoignait jusqu'alors d'un intérêt mitigé envers l'hydrogène. La concomitance entre les attentes exprimées par les acteurs français, la volonté européenne de construire une industrie de l'hydrogène et la crainte de reproduire le même schéma des panneaux solaires contribuent à enrôler l'État autour de cette nouvelle problématisation technologique et industrielle de l'hydrogène. La situation de crise économique et sociale

³⁰⁷ Gouvernement, rapport France 2030, présenté le 12 octobre 2021.

³⁰⁸ Discours du président de la République à l'occasion de la présentation du plan France 2030, le 12 octobre 2021.

suivie de la pandémie Covid-19 ouvrent également une fenêtre d'opportunité pour l'hydrogène et sa prise en charge par le ministère de l'Économie.

Les dispositifs d'intéressement mis en œuvre par les différents acteurs (cartographie de la chaîne de valeur, rapport du collège d'experts sur le Pacte productif, manifeste de l'AFHYPC, etc.) parviennent à convaincre le ministère de l'Économie d'investir et de soutenir la structuration d'une filière de l'hydrogène. Ainsi, la publication d'une nouvelle stratégie hydrogène en septembre 2020 marque, selon nous, une nouvelle période dans le déploiement de l'hydrogène en France. Les enjeux politiques, économiques et industriels donnent lieu à des choix stratégiques de la part du gouvernement français et une volonté d'agir vite pour positionner la France sur un nouveau marché en construction.

Cette deuxième stratégie nationale, va alors entraîner des modifications dans la trajectoire de l'hydrogène engendrant le glissement progressif vers une nouvelle configuration de l'hydrogène. Les nouveaux enjeux de souveraineté technologique et industriels engendrent un changement dans la manière de concevoir les formes de production d'hydrogène décarboné. La déclinaison des objectifs et des actions de la stratégie nationale, comme nous le verrons dans la section suivante, font apparaître des divergences de point de vue concernant le déploiement territorial.

Cette nouvelle problématisation de l'hydrogène en tant que filière questionne ainsi sur la mise en œuvre concrète d'une telle vision et du devenir des anciennes représentations autour des écosystèmes puis des hubs territoriaux de l'hydrogène. Quels sont les dispositifs mis en place ? Comment les acteurs publics territoriaux se positionnent-ils face à un État qui semble reprendre en main le pilotage de la construction d'un marché de l'hydrogène ? La présence d'un soutien massif de la part de l'État entraîne-t-il des visions différentes, au niveau des acteurs de la filière, dans la manière de projeter le déploiement de l'hydrogène ?

SECTION 2 : LA DIFFICILE MISE EN ŒUVRE DE LA NOUVELLE VISION DE L'HYDROGENE : DIVERGENCES ET RIVALITES ENTRE SECTEURS, ECHELLES ET ACTEURS

Pour mettre en œuvre la nouvelle stratégie nationale, plusieurs mécanismes d'intervention étatique sont mis en place, portés par les différents ministères concernés. Nous verrons que ces derniers reflètent finalement l'existence de divergences entre les services de l'État dans la manière d'appréhender le déploiement de la filière.

En outre, cette nouvelle problématisation de l'hydrogène ne donne pas lieu à une vision partagée par l'ensemble des acteurs et des secteurs dans la manière de projeter le déploiement de l'hydrogène sur le territoire national. Des positions divergentes semblent voir le jour, que nous souhaitons mettre en lumière dans cette seconde section.

1) Une gouvernance étatique qui reflète des points de vue divergents

La publication d'une nouvelle stratégie hydrogène est marquée par l'arrivée de nouveaux acteurs étatiques dans le pilotage et la mise en œuvre de la feuille de route nationale. Le travail mené sur la problématisation de l'hydrogène en tant que filière technologique a permis d'intéresser le ministère de l'Économie qui, pourtant, témoignait d'un faible intérêt pour l'hydrogène en 2018. Nous souhaitons revenir sur la manière dont est pilotée la filière hydrogène entre les différents ministères et questionner le poids du ministère de l'Économie dans la gouvernance étatique ainsi que dans la formulation des dispositifs mis en œuvre.

1.1 Une nouvelle gouvernance étatique de la filière hydrogène

L'identification par l'Europe de l'hydrogène en tant que chaîne de valeur stratégique et les acteurs entreprises par certains acteurs de l'industrie et de l'énergie poussent le ministère de l'Économie à s'investir davantage. Son implication se traduit par le renouvellement de la gouvernance de la filière au niveau ministériel mais aussi dans les orientations nationales fixées par la nouvelle stratégie hydrogène en 2020. Le deuxième plan d'actions national laisse transparaître le poids du ministère de l'Économie dans les choix stratégiques ainsi que dans la gouvernance ministérielle qui se met en place à la fin de l'année 2019. Pour autant, cette

nouvelle forme de pilotage n'est pas synonyme de convergence à tout point de vue et des zones de tension restent présentes entre les différents acteurs.

« Et puis j'aurais envie de dire dans une seconde phase, à partir de 2020, on a eu un focus, enfin déjà une reprise en main du sujet par les exécutifs [nationaux] de façon beaucoup plus importante. Et puis un focus industriel, c'est-à-dire que nous, on avait mis en avant le côté : il y a un intérêt pour la technologie, pour la transition, il faut soutenir cette technologie sans que ça coûte trop cher à l'État pour amorcer un déploiement. Et, est venu là-dessus vraiment un enjeu de développer une industrie, une filière industrielle française. [...] Cet aspect industriel a pris une autre envergure, là aussi, avec le spectre, le spectre du photovoltaïque qui planait et la DGE qui a bien, donc là, du côté du ministère de l'industrie, qui a bien repris le devant par rapport à ça. » (Entretien agent 2 de l'Ademe, mars 2021).

1.1.1 La mise en place de mécanismes de pilotage étatiques

Dans le cadre des travaux menés sur l'hydrogène, à l'automne 2019, une nouvelle forme d'organisation ministérielle voit le jour avec la création d'une « *task force* hydrogène », c'est-à-dire un groupe de travail dédié à l'hydrogène au niveau étatique. Elle se compose (cf. figure 23) du ministère de la Transition Écologique avec la DGEC et le Commissariat général au développement durable (CGDD), du ministère de l'Économie avec la DGE, du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) avec la Direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) et du Secrétariat général pour l'investissement (SGPI). D'autres acteurs publics, rattachés aux ministères, sont également présents : l'Ademe, la Banque Publique d'Investissement (BPI) et l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Le SGPI assure le pilotage et la coordination de la *task force* et a pour rôle d'arbitrer en cas d'absence de consensus dans les décisions finales. Les directions générales des différents ministères sont chargées de mettre en œuvre les dispositifs décidés au sein de la *task force* qui concernent leurs domaines de compétence. Par exemple, de manière générale, le volet formation et recherche est piloté par la DGRI, les enjeux de déploiement de projets hydrogène par la DGEC et ceux liés à la structuration d'une filière industrielle par la DGE. L'ADEME, la BPI et l'ANR sont les opérateurs de cette *task force*, c'est-à-dire qu'ils élaborent et pilotent les appels à projets, apportent une expertise sur le sujet et accompagnent les porteurs de projet.

La *task-force* devient ainsi un nouvel instrument de gouvernance au service d'une approche transversale du sujet en rapprochant l'ensemble des ministères concernés. Chaque direction ministérielle pilote et met en œuvre les dispositifs dont elle a la charge, tout en informant et

en soumettant les décisions stratégiques à l'approbation du groupe interministériel. L'objectif d'un tel processus de gouvernance est d'organiser un espace de coordination entre les différentes directions pour qu'elles puissent avoir connaissance de l'ensemble des actions qui sont menées par l'État et piloter conjointement des actions transversales. A cet effet, un « coordinateur interministériel », attaché au SGPI, est nommé, afin d'assurer le bon déroulement de la stratégie hydrogène et de faire le lien avec le Conseil interministériel de l'innovation (C2I). En effet, la stratégie d'accélération hydrogène prévoit de mettre en place un suivi des objectifs nationaux et de contrôler leur atteinte. De cette manière, le coordinateur interministériel a la charge d'élaborer une série d'indicateurs pour rendre compte de l'état d'avancement de la stratégie. Ces indicateurs n'étaient pas encore définis lorsque nous avons interrogé les personnes concernées mais quelques exemples en ressortaient, comme la puissance d'électrolyseur installée, la quantité et le type d'hydrogène produit, la quantité de CO₂ évitée, le coût de l'hydrogène etc. (entretien agent 2 membre de la task force, septembre 2021).

« La Task force H2, elle rend aussi les comptes. Donc on rend des comptes au C2I, qui est connexe, puisque, quelque part, on doit reporter et montrer que la stratégie d'accélération est bien sur la trajectoire entre guillemets de déploiement telle que l'on a prévu et, si pour une raison ou pour une autre, ça marche pas, il faut prendre les mesures correctives, voire il faut arrêter la stratégie si éventuellement il s'avère qu'elle n'est pas pertinente. » (Entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2021).

A travers ces indicateurs, l'État affirme vouloir jouer un rôle de contrôleur et sanctionner les porteurs de projet qui ne répondent pas aux objectifs définis. Cette stratégie hydrogène, avec la création d'une nouvelle gouvernance et de nouveaux outils de pilotage, marque donc une reprise en main par l'État.

La création d'un groupe de pilotage interministériel n'est pas le seul mécanisme qui témoigne d'une volonté de l'État d'intervenir directement dans la structuration de la filière et plus particulièrement de l'ambition du ministère de l'Économie d'en assurer le pilotage et le suivi. La stratégie nationale de 2020 instaure également le Conseil national de l'hydrogène (CNH), qui voit le jour au début de l'année 2021. Ce conseil est présidé par le ministre de l'Économie et réunit un peu plus d'une quinzaine de membres avec très majoritairement des grandes entreprises³⁰⁹ et une co-présidence assurée par les président-directeurs généraux d'Air

³⁰⁹ Sont présents dans le groupe EDF, ENGIE, TotalEnergie, Alstom, Vicat, Arcelor Mittal, Faurecia, KemOne, Airbus, McPhy, France Hydrogène, le CEA, etc. La plupart des acteurs privés représentent le comité

Liquide et de Faurecia pour le secteur privé (cf. Figure 26). Les régions y sont associées et sont représentées par la Présidente de la région Occitanie, Carole Delga. Ce conseil a pour objectif de s'assurer de l'avancement de la stratégie nationale hydrogène et de permettre des échanges entre secteurs et avec l'État, au plus haut niveau, pour la mise en œuvre d'actions concertées. A cet effet, il regroupe l'ensemble des représentants des comités stratégiques de filière (CSF) concernés par l'hydrogène pour favoriser la création de coopérations inter-filières et de synergies (construction, automobile, maritime, aéronautique, chimie, métallurgie, ferroviaire, etc.).

La mise en place de cette instance et sa composition reflètent la volonté du gouvernement de concentrer ses efforts pour faire émerger des « champions nationaux » de la filière hydrogène. Le CNH est donc un instrument de régulation étatique dans la mesure où il est conçu comme un outil de coordination et d'échange entre les futures parties prenantes de la filière hydrogène. A travers ce mécanisme, l'État endosse ainsi un rôle de régulateur dans le sens où il intervient directement dans la création de la filière en mettant en œuvre des espaces de coordination et de concertation entre les différentes parties prenantes.

Le pilotage de cette instance met en lumière la prise en charge par le ministère de l'Économie du sujet hydrogène. Cette proximité politico-industrielle entre le ministère de l'Économie et les grands groupes industriels questionne sur le poids de ces derniers dans les orientations stratégiques. Au cours d'un entretien avec un membre de la task force hydrogène, le CNH a été décrit comme un « *groupement d'industriels assez puissant* » qui souhaitait agir directement sur l'élaboration des indicateurs de suivi de la stratégie. Dans ce contexte, l'établissement de ce Conseil laisse augurer un processus de recentralisation des décisions et du pilotage de la filière entre les acteurs nationaux, et plus particulièrement le ministre de l'Économie et les futurs donneurs d'ordre industriels.

La création d'outils de gouvernance étatique (task force et CNH) montre une volonté de l'État d'adopter un rôle de « stratège » sur les questions d'hydrogène et sur la manière de développer la filière (Chevallier, 2007). Cette ambition ne se restreint pas seulement à des formes d'intervention dans la gouvernance mais prévoit également des mécanismes incitatifs pour encourager les acteurs à investir dans la filière.

stratégique de filière associé à leur secteur. Par exemple, le directeur général d'Arcelor Mittal siège également en tant que représentant de la filière métallurgie.

Organes de gouvernance étatique pour contrôler l'état d'avancement de la stratégie hydrogène

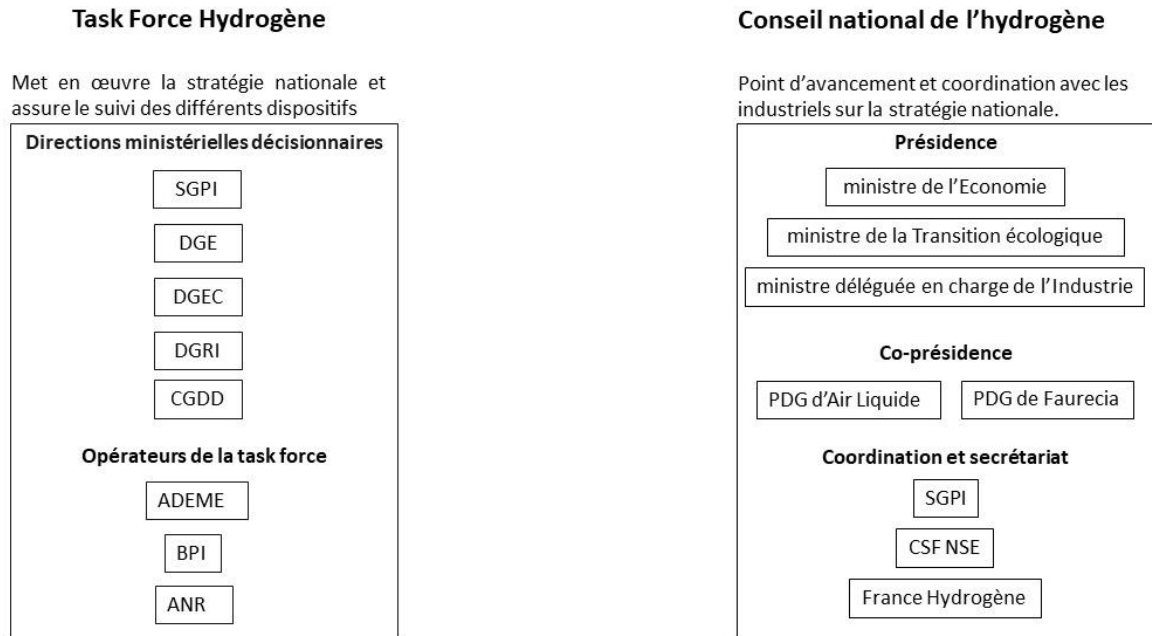


Figure 25 : organes de gouvernance étatiques.
Réalisation : autature

1.1.2 Une gouvernance étatique sous tension ?

Si, une nouvelle gouvernance est établie au niveau des services de l'État, la manière dont sont construits les dispositifs et leur mode de pilotage témoigne néanmoins de l'existence de visions divergentes entre les différents ministères, notamment entre le ministère de l'Économie et le ministère de la Transition Écologique. Le sujet hydrogène reste un sujet qui fait débat. La mise en place de la « task force hydrogène » interministérielle est présentée par certains comme « extrêmement précieuse » mais également « extrêmement difficile à faire vivre dans un contexte de compétition interministérielle » (Entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020).

En effet, plusieurs entretiens auprès de membres de la task force ont souligné les discussions « houleuses » et les divergences de points de vue concernant la stratégie à adopter. Chaque ministère regarde le sujet sous son propre prisme, ce qui donne lieu à des prises de position parfois assez différentes. Pour la DGEC, l'hydrogène est un moyen de décarboner des secteurs de l'économie tandis que la DGE s'intéresse particulièrement à la structuration d'une filière technologique française. Ces intérêts ne sont pas totalement divergents, mais la

temporalité de leur mise en oeuvre n'est pas la même. Pour la DGEC, il y a la volonté d'agir vite pour décarboner massivement et répondre aux objectifs de neutralité carbone, tandis que, pour la DGE, la construction d'une filière demande des délais plus longs.

« C'est vrai que ça, c'est un débat qui, qui est très courant, notamment entre nous Bercy et le MTE où, eux, ils ont des objectifs qui sont liés à la PPE, à la SNBC et des objectifs politiques où il faut qu'ils déploient pour décarboner l'économie. Donc ils ont une pression qui les incite à aller le plus vite possible. Et nous au contraire, on veut ralentir les choses, non pas pour ralentir la décarbonation parce qu'on a le même objectif, mais simplement parce que on veut s'assurer qu'on arrive en même temps que le début des usines françaises. Et comme ça on pourra avoir des technos françaises. [...] C'est un enjeu hyper important et c'est l'objet de débats, globalement, toutes les semaines, enfin très réguliers, en tout cas, entre nos ministères. » (Entretien agent 2 de la DGE, mars 2021).

Ces différences d'intérêts et d'approches se retrouvent également lors de l'élaboration de certains dispositifs de soutien nationaux prévus par la deuxième stratégie. La reprise en main par le ministère de l'Économie marque une nouvelle approche qui se construit au regard des apories (pour lui du moins) des précédents dispositifs. Il en résulte une nouvelle manière d'appréhender le déploiement de l'hydrogène qui vient perturber les formes de pilotage élaborées lors de la précédente stratégie nationale.

1.2 Construire l'offre et la demande : reflet d'une intervention étatique en silo

Nous rappelons que pour devenir producteur mondial d'hydrogène décarboné, comme l'ambitionne la stratégie nationale hydrogène, il ne s'agit pas uniquement de favoriser l'offre d'électrolyseurs, mais également de faire émerger un marché suffisant en hydrogène décarboné et renouvelable afin d'assurer des débouchés aux producteurs. Dans cette optique, plusieurs dispositifs étatiques sont mis en œuvre par l'État pour favoriser l'augmentation de la demande et la construction de l'offre, tant de la part des acteurs privés que publics.

Ceux qui nous intéressent particulièrement sont les dispositifs conduits par le ministère de la Transition Écologique et l'Ademe à travers les appels à projets *Ecosystèmes territoriaux hydrogène*, ainsi que celui piloté par le ministère de l'Économie, le dispositif européen IPCEI. Ces deux instruments s'avèrent être des révélateurs de tensions interministérielles existantes et de visions différentes dans la manière de projeter le déploiement de l'hydrogène.

Pour bien comprendre ces tensions, il nous semble important de revenir, dans un premier temps, sur les reproches faits par le ministère de l'Économie à la logique d'intervention associée à la stratégie hydrogène du ministre Nicolas Hulot. En effet, la démarche adoptée à travers les appels à projets de l'Ademe en 2018 semblait déjà être source de tensions dans la manière de penser le déploiement.

1.2.1 Les appels à projets de l'Ademe, une source de tensions concernant la pertinence de l'approche

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, en 2018, lors de la publication de la première stratégie nationale, c'est surtout le ministère de la Transition Écologique et Solidaire, et plus particulièrement la DGEC, avec l'appui de l'Ademe, qui porte le sujet hydrogène au niveau national. Le plan élaboré par le ministre Nicolas Hulot suscite des tensions entre les ministères de l'Économie et de la Transition Écologique.

Le déploiement de la mobilité hydrogène ne fait pas l'objet d'une convergence des points de vue au sein des différents services de l'État. Le ministère de l'Économie reproche à la stratégie du ministre Nicolas Hulot de ne pas cibler suffisamment le soutien public et de financer une trop grande diversité de sujets, comme l'illustrent les lauréats de l'appel à projets de 2018 – 2019 « Ecosystèmes de mobilité hydrogène ». Les projets retenus concernent aussi bien des véhicules utilitaires légers que des bennes à ordures, des bus ou encore des navettes maritimes. Cette approche ne génère le déploiement que de quelques véhicules seulement, qui sont, dans la majorité des cas, de marques étrangères. Cette approche n'est pas satisfaisante selon le point de vue de Bercy (DGE), pour qui il s'avère plus judicieux de se concentrer sur un segment du marché afin d'aider à la structuration d'une filière industrielle (entretien agent 1 DGE, avril 2019).

« Le ministère [MTEES], ils ont fait ça sans prendre [en compte] le prisme structuration de filière en fait. C'est juste qu'ils ne se sont pas dit : « on veut pouvoir sélectionner les [industriels] français et viser là où on aura un effet levier suffisant » ». (Entretien agent DGE, mai 2019)

Dans ce contexte, plusieurs acteurs du ministère de l'Industrie estiment que les appels à projets de l'Ademe sont « mortifères » pour l'industrie française, dans la mesure où ils financent des projets de façon isolée et ne font pas de choix sur les technologies à cibler et à soutenir massivement (entretien agent du Conseil national de l'industrie, octobre 2020). Cette logique est fortement remise en cause par la DGE, jugeant cette démarche de « saupoudrage

financier » qui ne permet pas d'assurer des retombées économiques au niveau national (entretien agent 1 conseil général de l'économie, avril 2019).

Du point de vue de l'Ademe et de la DGEC, cet appel à projets est considéré comme une étape nécessaire. Ce mécanisme leur donne un moyen de tester la logique dite « d'écosystème local » et d'en dégager des premiers retours d'expérience. Pour l'Ademe, les appels à projets sont également perçus comme un moyen pour gagner en expertise sur le sujet hydrogène, en étant impliqué dans le suivi des projets à l'échelle régionale.

Il en résulte alors un « *bras de fer entre l'hôtel de Roquelaure et Bercy*³¹⁰ » concernant le soutien financier du plan Hulot. Le ministère de l'Économie ne voit « *pas de marché porteur pour la filière* » et juge le budget³¹¹ demandé pour le plan Hulot « *inopportun*³¹² ». L'absence de financement et le manque de soutien du ministère de l'Économie ont pour conséquence un positionnement étatique instable concernant le cadrage de la filière. L'enveloppe budgétaire annoncée par le ministre Nicolas Hulot n'est pas validée par le ministère de l'Économie, ce qui freine fortement les investissements et les marges de manœuvre des appels à projet de l'Ademe. Dans ce contexte, l'agence est alors contrainte de ralentir les actions menées sur l'hydrogène (entretien agent 2 Ademe, mars 2021).

« Regardez à l'Ademe ils financent des écosystèmes de mobilité mais c'est que [...] des petits projets, deux bus par-ci, trois bus par-là ! C'est des Toyota, Hyundai qui sont déployées ce n'est pas bon pour ... Enfin, un, les projets sont trop petits pour que ça donne de la visibilité à des industriels et, deux, en plus on finance beaucoup de véhicules étrangers. Donc [...] on nous a demandé un peu de ralentir. Il y a eu un an de réflexion, à peu près enfin, dans lequel nous, on a continué quand même, ainsi que les projets qui étaient dans le pipe. » (Entretien agent 2 Ademe, mars 2021).

1.2.2 (Re)cadrage de la demande : un compromis entre des intérêts différents

Le deuxième axe de la deuxième stratégie nationale (2020) prévoit la mise en place de projets territoriaux pour déployer l'hydrogène. A cet effet, il ne s'agit pas de mettre en œuvre de nouveaux appels à projets pilotés par l'Ademe mais plutôt d'apporter des modifications dans le cahier des charges et le pilotage afin qu'ils répondent aux attentes étatiques. A l'instar du précédent appel à projets hydrogène lancé en 2018, l'agence reprend alors la logique dite

³¹⁰ Roquelaure signifie le ministère de la Transition Ecologique et Bercy le ministère de l'Économie. Extrait d'un article de la Lettre A du 23 mars 2020.

³¹¹ Nous rappelons que le plan Hulot prévoyait un budget de 100 millions d'euros par an pendant 5 ans pour soutenir le déploiement de l'hydrogène décarboné.

³¹² Extrait d'un article de la Lettre A du 23 mars 2020.

« d'écosystèmes » c'est-à-dire la mise en place de projets comprenant production, distribution et usages sur une zone définie (cf. chapitre 2). Néanmoins, quelques changements sont apportés à celui de 2018, dans l'optique de favoriser des projets de plus grande envergure et d'assurer des retombées économiques sur le territoire national.

Tout d'abord, la forme de gouvernance traditionnelle des appels à projets est revue pour satisfaire l'ensemble des membres de la task force. Le processus habituel de décision de ce dispositif est de confier l'élaboration et le pilotage à l'Ademe. L'agence est donc chargée de publier un cahier des charges, de sélectionner les projets et de les instruire. Chacune de ces étapes est normalement soumise à validation par les ministères de tutelle, c'est-à-dire le ministère de la Transition Écologique et le ministère de la Recherche. Dans le cas précis de cet appel à projets pour l'hydrogène, la gouvernance a été revue pour intégrer davantage les différents membres de la task force et notamment la DGE dans les circuits de décision.

« En fait, classiquement c'est un appel à projets de l'ADEME donc le cahier des charges, enfin, les grands déterminants d'un appel à projets comme ça, ils se définissent avec le ministère de tutelle qui est le MTEES. Bon là...là ça a été un petit peu... enfin le circuit de consultation et de validation il a été... tendu à la task force. [...] Oui y'a eu, comment dire, un cycle d'itérations sur le texte assez intense sur les dernières semaines avec la task force et notamment avec la DGE. Voilà, compte-tenu du fait que la DGE attache pas mal d'importance à ce que cet appel à projets, ces appels à projets permettent vraiment à la filière française de se structurer, que les retombées soient pour la filière française. [...] Mais ce qui été retenu, qui était un point assez long de débat, c'est cette fameuse gouvernance autour de l'appel à projets. En tout cas, ce qui est retenu, c'est qu'on s'appuie sur la gouvernance actuelle, on s'appuie sur la Commission nationale des aides (CNA) et puis voilà la task force elle sera associée à cette CNA, ainsi que le coordinateur interministériel. » (Entretien agent 1 de l'Ademe, octobre 2020).

L'intégration de la DGE génère ainsi plusieurs recadrages dans la formulation des enjeux portés par l'appel à projets de l'Ademe. Plusieurs critères à respecter sont ainsi ajoutés par rapport aux anciens appels à projets de 2018, afin de satisfaire la logique de structuration d'une filière française et d'inciter les porteurs de projet à trouver des modèles économiques les plus compétitifs possibles (cf. Tableau 15).

Selon notre analyse, quatre nouvelles conditions sont caractéristiques du recadrage pour répondre aux attentes étatiques. Premièrement, compte tenu des enjeux de souveraineté énergétique et technologique, il est prévu de ne soutenir qu'une production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Celle-ci peut-être décarbonée ou renouvelable, avec un soutien

supplémentaire pour le dernier cas de figure. Pour éviter d'avoir des unités de production de petite capacité (quelques dizaines de kilogrammes d'hydrogène par jour), considérées par la task force hydrogène comme étant non rentables, un seuil minimal de 1 MW est dorénavant imposé (ce qui équivaut à une production d'environ 400 kg.H₂/jour). L'imposition de ce seuil est un moyen, pour l'État, de s'assurer de ne pas avoir de « trop petites installations », qu'il juge comme non pertinentes pour la structuration de la filière en France (entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2021).

Deuxièmement, afin de pousser les porteurs de projet à développer des projets plus compétitifs économiquement, un critère pour le prix de vente du kilogramme d'hydrogène est imposé. Celui-ci doit être le plus faible possible, avec comme objectif un prix inférieur à 9 euros/kg.H₂. Cette limite ne constitue pas un critère rédhibitoire mais les projets qui parviennent à y répondre sont alors traités prioritairement par l'Ademe³¹³.

Troisièmement, pour assurer des niveaux de rentabilité suffisants, les projets candidats doivent attester d'au moins 50 % des futurs usages assurés lors du dépôt. Des lettres d'engagement des futurs clients (transporteurs, autorités organisatrices de mobilité, acteurs économiques, industriels, etc.) sont demandées dans le dossier rendu à l'Ademe et doivent ainsi apporter une justification du dimensionnement du projet en termes d'unité de production et de distribution.

Enfin, un dernier critère repose sur l'estimation des retombées économiques et industrielles qu'un projet peut avoir au niveau de la structuration d'une filière nationale. L'Ademe et les membres de la task force demandent aux porteurs de projet d'indiquer la provenance des fournisseurs d'équipements et de composants, dans l'optique de les responsabiliser afin qu'ils s'adressent au maximum à des constructeurs français ou européens. Il s'agit ici d'inciter les candidats à se tourner vers des industriels nationaux ou européens, même si rien ne peut être imposé au regard des règles de libre concurrence³¹⁴.

³¹³ Ademe, cahier des charges de l'appel à projets Ecosystèmes territoriaux hydrogène, p5

³¹⁴ En effet, dans le cas d'une collectivité par exemple, celle-ci devant avoir recours aux procédures d'appel d'offre, rien ne garantit qu'au final des équipementiers français ou à minima européen soient retenus.

Tableau 15 : récapitulatif des différences entre les appels à projets de 2018 et 2020.

	Appels à projets 2018 Ecosystèmes de mobilité hydrogène	Appels à projets 2020 Ecosystèmes territoriaux hydrogène
Objectifs de l'appel à projets	Vise à déployer des écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène sur la base du déploiement de flottes de véhicules professionnels.	Vise à déployer des écosystèmes structurants et à accompagner le changement d'échelle permettant la structuration de la filière industrielle et la baisse des coûts.
Critères d'éligibilité pour la production et la distribution	Technologies éligibles : électrolyse, vaporeformage de biogaz, pyrogazéification de biomasse, valorisation d'hydrogène coproduit. Pas de dimensionnement imposé ni de prix.	Technologie éligible : électrolyse de l'eau. Capacité de production comprise entre 1 MW et 20 MW. Prix de production visé : 9 euros/kg/H2.
Critères d'éligibilité pour les usages	Les véhicules concernés sont les véhicules à usage professionnel : véhicules légers, utilitaires, camions, bennes à ordures ménagères, bus, bateaux fluviaux de passagers, navettes maritimes et engins logistiques. Justifier le choix d'avoir recours à l'hydrogène pour les usages ciblés.	Les véhicules concernés restent les mêmes, exceptés les véhicules légers, qui ne sont plus éligibles. Quelques applications stationnaires sont éligibles : alimentation électrique de bateau à quai, groupe électrogène pour le BTP, service réseau électrique et alimentation pour des zones isolées pour les ZNI uniquement. Les usages industriels ne sont pas aidés mais viennent justifier le dimensionnement des unités de production et distribution. Concernant les usages, 50 % doivent déjà être assurés lors du dépôt du dossier.
Autres critères de sélection	Performance environnementale du projet et intégration dans les politiques locales. Justification de l'usage et du modèle économique. Maturité et fiabilité du projet.	Critères semblables à l'appel à projet précédent avec l'impact filière en plus. Ce critère a pour objectif de montrer la contribution du projet à la structuration de la filière industrielle française (contenu local des fournisseurs, etc.).

Sources : Données issues des cahiers des charges des appels à projets de l'Ademe « Ecosystèmes de mobilité hydrogène » publié en 2018 et « Ecosystèmes territoriaux hydrogène » publié en 2020.
Réalisation : auteure

Si tous ces critères viennent recadrer les projets afin de correspondre aux attentes de la stratégie nationale, ils participent aussi à maintenir l'Ademe dans la mise en œuvre du déploiement de l'hydrogène. Il a été évoqué, lors d'un entretien, une certaine crainte pour l'agence d'être évincée de la stratégie nationale, au regard des critiques formulées sur les précédents appels à projets et sur le manque de retombées pour la filière. L'agence essaie de faire preuve d'une capacité de persuasion en montrant que les projets précédents d'écosystèmes locaux, malgré les reproches qui peuvent être formulés, participent à l'amorçage de la filière. En effet, ces projets territoriaux peuvent être mis en place très rapidement³¹⁵, contrairement aux très grands projets industriels, ce qui répond au besoin d'assurer des premiers débouchés le plus vite possible. L'Ademe a également mis en avant une capacité d'expertise acquise sur le domaine grâce au travail mené depuis de nombreuses années et sa volonté, à travers ses nouveaux critères de sélection, de chercher les projets les plus pertinents du point de vue étatique pour la construction d'une filière française de l'hydrogène.

« Ce qu'on a défendu, c'est qu'on ne pouvait pas avoir une politique uniquement de l'offre. Parce que c'est un peu caricatural mais la position de la DGE est de dire : on va attirer des équipementiers pour qu'ils fabriquent des équipements en France. Oui, mais bon, il faut aussi qu'il y ait une demande enfin, je veux dire c'est quand même assez rare qu'on installe des usines dans un pays et qu'on exporte 100% de notre production. Donc pour qu'il y ait une demande, il faut aussi soutenir cette demande-là. Et nous, ce qu'on a essayé de montrer c'est qu'au travers des projets qu'on avait déjà soutenus, on avait quand même une certaine qualité des projets. Enfin déjà, je pense qu'on a fait preuve de notre, on va dire, expertise, capacité à faire discernement, qui est pas forcément toujours perçue comme telle, on est parfois un peu vu comme les petits bonhommes verts un peu trop écolos sur les bords. Euh, mais enfin voilà, je veux dire, on a aussi évolué et on a cherché dans les projets qu'on a financés ceux qui avaient le plus de pertinence économique, le plus de pertinence aussi vis-à-vis des autres solutions. [...] Donc je pense qu'on a su montrer notre expertise. Je pense que notre proposition [en termes d'écosystème] est apparue comme plutôt pertinente dans une phase intermédiaire, c'est-à-dire que on n'est pas encore mûr aujourd'hui pour soutenir massivement du déploiement sur des dispositifs par exemple type crédit d'impôt. ».
(Entretien agent 2 Ademe, mars 2021)

Ainsi, le maintien de l'appel à projets résulte de la recherche d'un ajustement entre visions divergentes entre les membres de la task force. Pour l'Ademe et le ministère de la Transition

³¹⁵ L'appel à projets « Ecosystèmes territoriaux hydrogène » vise des projets qui voient le jour dans la période 2020 – 2025.

Écologique, cette approche territoriale de l'hydrogène est considérée comme la bonne démarche qui permet de décarboner rapidement sans nécessiter de subventions publiques trop importantes (cf. chapitre 1). Ils considèrent que les collectivités territoriales et acteurs locaux ont la capacité, et participent à l'amorçage d'une demande en hydrogène, ce qui ne semble pas négligeable pour ces acteurs dans le contexte d'une filière en construction. Les critères d'éligibilité sont donc le signe d'un « compromis » permettant de poursuivre la logique impulsée autour des « écosystèmes hydrogène » dans les territoires, tout en réduisant certaines marges de manœuvre aux porteurs de projets. Ce recadrage garantit ainsi à l'État une reprise en main dans la manière dont se déploient les projets hydrogène sur le territoire.

« Donc, en même temps, on cherche à déployer massivement, en même temps on ne cherche pas à avoir des projets trop petits. Donc il y a un compromis qui a été fait, c'est de dire il faut aller dans les territoires mais il ne faut pas non plus de trop petits projets. » (Entretien agent 1 membre de la task force hydrogène, juillet 2021).

Néanmoins, un des enjeux de ces appels à projets est d'avoir recours à des technologies développées par les industriels français afin de les tester et de leur assurer des débouchés sur le marché français. Il est donc nécessaire de penser la coordination entre la construction d'une offre française et le développement des projets. A titre d'exemple, dans l'optique de garantir des premiers marchés aux constructeurs français ou européens de poids-lourds à hydrogène, il n'est pas prévu dans les deux premières relèves de l'appel à projets de 2020 de subventionner les camions, pour éviter de privilégier les fournisseurs étrangers.

Ces différentes logiques reflètent une certaine tension : répondre aux exigences et objectifs de transition énergétique et de décarbonation et, en même temps, laisser le temps au marché de se mettre en place. Des compromis entre des dispositifs nationaux aux temporalités différentes, entre déploiement rapide et structuration lente d'une filière, doivent donc être trouvés.

1.2.3 Déployer versus structurer : des instruments aux temporalités différentes

Pour permettre le développement d'une offre française d'équipements, l'État a recours au dispositif européen IPCEI (Important Project of Common European Interest). Ce mécanisme permet de développer et d'apporter un niveau d'aides publiques supérieur au plafond initialement prévu par l'Europe pour les filières identifiées comme stratégiques (cf. section 1 du chapitre). Des objectifs généraux sont définis au niveau européen mais chaque État membre qui s'inscrit dans ce dispositif décline ses propres ambitions. En France, ce travail est réalisé par la DGE, qui cherche à favoriser l'industrialisation des équipements et à positionner de futurs industriels français sur la chaîne de valeur de l'hydrogène.

Dans cette optique, trois axes sont jugés stratégiques au regard des objectifs politiques fixés. Le premier axe concerne la fabrication d'équipements d'électrolyseurs en favorisant l'implantation d'usines d'électrolyseurs, également appelé des gigafactories, répondant ainsi à l'ambition initiale de positionner la France comme un *leader* dans la production d'hydrogène vert. Le ministre de l'Économie, Bruno Le Maire, annonce en 2021 la volonté de voir émerger rapidement deux gigafactories d'électrolyseurs en France, afin de faire baisser le plus rapidement possible le coût de ces installations.

Le deuxième axe concerne la mobilité lourde et l'aide à la fabrication d'équipements ou de composants nécessaires aux véhicules (piles à combustible, réservoirs, etc.). Il s'agit aussi de soutenir la diminution des coûts de production pour faire baisser les prix des véhicules et augmenter leur utilisation.

Enfin, le troisième axe, contrairement aux deux précédents, ne concerne pas l'industrialisation d'équipements. Ce dernier s'adresse à la décarbonation de l'industrie et présente un double objectif : le premier est de soutenir la mise en place de procédés industriels innovants ayant recours à l'hydrogène, par exemple la réduction directe des aciers avec de l'hydrogène décarboné à la place du charbon. Le second objectif cherche à impulser une demande suffisante en hydrogène vert auprès de consommateurs industriels, pour assurer des débouchés aux usines d'électrolyseurs.

L'État intervient ainsi sur deux « tableaux », en soutenant une politique à la fois de l'offre (qui favorise l'industrialisation d'équipements nécessaires à la filière) et de la demande (en facilitant la substitution d'énergies fossiles par de l'hydrogène décarboné dans des procédés industriels). En agissant à la fois sur l'amont et sur l'aval de la filière, l'État tente ainsi de créer un marché de l'hydrogène décarboné en France.

« [L'objectif de l'IPCEI] c'est aussi de créer du volume pour les fabricants d'électrolyseurs. Parce que si on soutient des projets d'usines électrolyseurs mais que, derrière, ils n'ont aucun marché parce que c'est pas un marché qui est économiquement rentable. Donc c'est les Etats qui vont piloter la demande. Donc si on ne crée pas de marché pour avoir des débouchés pour ces usines, ils ne peuvent pas se faire, donc c'est pour ça qu'on est un peu obligé de faire ce troisième axe. » (Entretien agent 2 DGE, mars 2021).

Pour certains acteurs étatiques, ce découpage entre structuration d'une politique de l'offre (avec l'IPCEI) et déploiement de projets territoriaux (avec les appels à projets) permet de concilier les dynamiques industrielles et territoriales avec, d'une part, le ministère de l'Économie qui s'occupe des grandes industries pour les aider à devenir des « champions » sur le futur marché et, d'autre part, l'amorçage des dynamiques à l'échelle territoriale pour

permettre la mise en œuvre de premiers projets. Pour autant, l'articulation entre ces différentes logiques soulève des questionnements, comme nous le verrons dans la suite du chapitre.

« Donc, quelque part, vous voyez, c'est un équilibre entre une approche top down, quand je dis top-down c'est qu'on est super « pushy » sur les dispositifs financiers pour faire aboutir les gigafactories, pour décarboner l'industrie, et en même temps il y a une approche bottom-up où on essaye de susciter l'envie d'aller des territoires. » (Entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2021)

Concernant les budgets dédiés, pour les appels à projets Ecosystèmes territoriaux, il est prévu en 2020 un montant d'aide de 275 millions d'euros tandis que, pour l'IPCEI, le budget initial est de 1,575 milliards d'euros. En 2021, lors du plan France 2030, le président de la République Emmanuel Macron ajoute une enveloppe supplémentaire pour ces deux dispositifs, respectivement dotée de 200 millions d'euros et de 1,7 milliards d'euros. La différence de budget et la manière dont sont pilotés ces deux dispositifs témoignent, selon nous, du fonctionnement segmenté entre les différents ministères, entre grands groupes industriels et acteurs territoriaux. En effet, le mécanisme IPCEI, largement doté financièrement, n'est piloté qu'à l'échelle du ministère de l'Économie. Même si ce dernier doit rendre des comptes au niveau de la task force, le processus décisionnel semble être de son ressort, contrairement aux appels à projets de l'Ademe qui sont discutés et élaborés entre plusieurs services.

Dans ce contexte, la vision qui se dessine est de considérer que les grands groupes industriels du secteur de l'énergie et des différents domaines de l'industrie (aciérie, cimenterie, etc.) doivent être les locomotives et prendre une place de futurs donneurs d'ordre dans la filière de l'hydrogène.

« Ce qui est certain, c'est que les appels à projets de l'ADEME, ils ne vont pas permettre de faire des changements industriels. Pour le lancement de la filière, on a besoin d'avoir des gros qui portent la filière, des gros fabricants, des grosses industries qui vont après, par leurs commandes, elles vont entraîner un écosystème derrière elles. Ça c'est certain que les appels à projets de l'Ademe ne suffisent pas. Et c'est tout l'objet de l'IPCEI de vraiment faire une rampe de lancement à la filière. Par contre, là où les appels à projets sont quand même vertueux, c'est qu'ils permettent de quand même faire un filet pour tous les petits projets qui ne rentrent pas dans le cadre du IPCEI. En fait, l'IPCEI, c'est vraiment fait pour les gros projets, c'est pour les grosses entreprises et pour les gros champions. » (Entretien agent 2 DGE, mars 2021).

Si, pour certains, cette approche semble logique, elle interroge toutefois sur le poids des projets territoriaux face à ceux pilotés par les IPCEI. Ces grands projets industriels risquent d'imposer finalement une cartographie des infrastructures en hydrogène et un modèle de production et de distribution en proposant des prix compétitifs de l'hydrogène par rapport à celui du modèle des écosystèmes locaux. De plus, le fléchage des financements et le déséquilibre entre les enveloppes budgétaires des différents mécanismes participent à favoriser une vision plutôt qu'une autre. Dans ce contexte, se pose la question de la place qu'occupent les mécanismes de déploiement pilotés actuellement par l'ADEME et le ministère de la Transition Écologique et les projets territoriaux qui en découlent. Comment s'articulent ces différents dispositifs ? Quelle sera leur place *in fine* face à ces projets d'envergure ?

Ces mécanismes témoignent finalement d'un déploiement de l'hydrogène en France à deux vitesses qui prend forme. Avec d'un côté des dynamiques territoriales autour des projets d'écosystèmes qui se mettent en place rapidement et d'un autre côté des dynamiques industrielles avec la construction de gigafactories et de projets de grande envergure. De quelle manière ces intérêts industriels se traduisent-ils territorialement ? Dans quelle mesure les ambitions industrielles parviennent-elles à proposer une nouvelle configuration dominante du déploiement de l'hydrogène ? Quelle(s) vision(s) du déploiement de l'hydrogène émerge(nt) ?

2) Une vision industrielle du déploiement de l'hydrogène portée par les acteurs de l'énergie et de l'industrie suscitant des zones de tensions

Cette volonté de massifier et d'industrialiser la production d'hydrogène donne lieu à une nouvelle manière d'envisager le déploiement territorial de l'hydrogène. Dans cette optique, plusieurs acteurs du secteur de l'énergie et de l'industrie élaborent des feuilles de route pour traduire leur manière de projeter le déploiement de ce vecteur énergétique. Une de ces visions, construite autour de bassins industriels, semble faire consensus auprès de plusieurs acteurs issus du secteur de l'énergie et de l'industrie ainsi que du ministère de l'Économie. Néanmoins, sa concrétisation se heurte à des réticences de certains secteurs et acteurs publics qui mettent en avant une autre vision du déploiement territorial.

2.1 Déployer l'hydrogène à l'échelle de bassins industriels

Plusieurs éléments vont participer à l'édification d'une nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène. Un travail mené par France Hydrogène met en avant une nouvelle approche du déploiement territorial ainsi qu'un rapport rédigé par les acteurs du secteur du gaz.

2.1.1 Mutualiser la production en partant des futures zones de grande consommation

Au cours de l'année 2021, plusieurs acteurs au sein du CSF NSE et du CNH associés à France Hydrogène (ex-AFHYPAC) financent une étude pour analyser la manière dont le déploiement de la nouvelle stratégie de l'État peut prendre forme sur le territoire national. En prenant en compte l'objectif d'installer 6,5 GW d'électrolyse d'ici 2030 et en se focalisant sur les futurs besoins industriels, le rapport met en avant les zones les plus pertinentes pour développer des projets d'envergure.

Pour cela, le cabinet en charge de l'élaboration de l'étude³¹⁶ fonde son raisonnement sur la projection de futurs pôles de consommation industriels et de mobilité en hydrogène. L'identification de ces pôles s'appuie sur les zones où des projets hydrogène sont en cours de réalisation ou envisagés et sur les espaces géographiques où des industries chimiques, pétrochimiques, métallurgiques, etc. sont implantées. En partant de ces futurs lieux de grande consommation industrielle et en considérant qu'ils constituent de futurs pôles de production de grande capacité, des zones dites d'influence sont alors définies. Le rapport indique qu'une « zone d'influence d'un pôle de production peut être définie comme le périmètre à l'intérieur duquel le coût de production et de distribution de l'hydrogène à partir de ce pôle représenterait l'option d'approvisionnement la plus compétitive pour un consommateur qualifié de « diffus » (flottes de collectivités, consommation industrielle de faible intensité, etc.)³¹⁷ ». Ces zones d'influence délimitent ainsi un espace dans lequel des mutualisations pour la production en hydrogène peuvent être envisagées.

Pour définir l'étendue de cette zone d'influence, l'étude prend en compte la distance entre l'unité de production et les lieux de consommation diffus. La Figure 25, ci-dessous, représente le graphique sur lequel s'appuie l'étude pour déterminer ces zones d'influences. Ce schéma montre les distances limites, d'un point de vue économique, pour envisager une alimentation de ces lieux de consommation diffus par une production dite centralisée au niveau d'une zone industrielle.

Dans cette optique, le graphique met en avant des cas de figure possibles en définissant deux « plages de capacité » différentes, c'est-à-dire des estimations différentes des futures

³¹⁶ France Hydrogène. (2021). *Trajectoire pour une grande ambition Hydrogène*. (p36)

³¹⁷ Op. Cit. p10

consommations journalières diffuses. La première « plage de capacité » est estimée entre 600 et 1000 kg.H₂/jour. La seconde concerne des besoins plus importants supérieurs à 1000 kg.H₂/jour. Pour chacune des plages de capacité, deux possibilités sont envisagées concernant la taille des unités de production dites centralisées, l'une à 100 MW (courbe grise) et l'autre à 1 GW (courbe bleu foncé).

Quelques éléments dans la manière de lire ce graphique nous semble importants à souligner :

- La valeur de 600 kg/jour en termes de consommation diffuse semble être une valeur seuil pour estimer une production sur site ou centralisée. Au-dessous, les distances limites acceptables augmentent très fortement, laissant penser qu'il est forcément préférable, d'un point de vue économique, d'avoir recours à une unité centralisée.
- Pour une production de 100 MW, pour des consommations comprises entre 600 kg/j et 1000 kg/j, les distances limites par rapport à l'unité centralisée sont respectivement de 100 km et 40 km pour assurer un coût de l'hydrogène moins élevé qu'une production sur site. Au-delà de 1000 kg/jour, la production sur site apparaît alors comme la plus pertinente économiquement parlant.
- Pour une production de 1 GW, les distances augmentent sensiblement. Pour des consommations comprises entre 600 kg/j et 1000 kg/j, la distance limite est respectivement de 220 km et 150 km environ. La courbe décroît pour atteindre une distance limite inférieure à 100 km au-dessus d'une consommation de 1200 kg/jour.

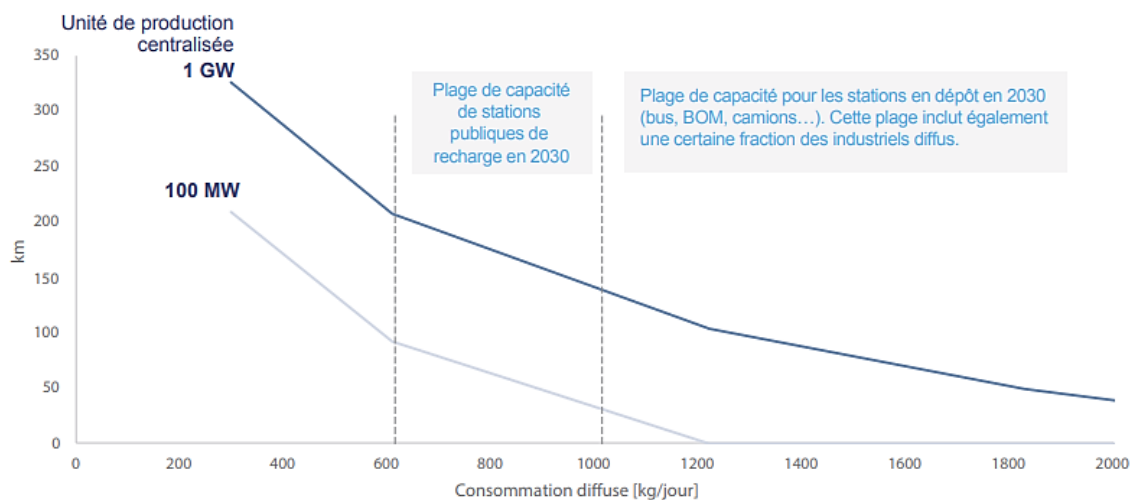
Si l'on prend le cas d'une consommation diffuse de 600 kg/jour d'hydrogène et l'existence d'une unité de production de 100 MW, alors les lieux situés à moins de 100 km gagnent à profiter d'une production centralisée plutôt que de développer leur propre unité de production. Cette distance augmente avec la capacité de l'unité de production centralisée. A cet effet, les zones de chalandise définies sont assez larges pour englober un maximum de territoires, villes, métropoles, autres petites zones industrielles.

Bien que ce graphique soit incomplet (pas de prix de l'hydrogène indiqué, hypothèses non connues), il joue un rôle non négligeable dans la mesure où il participe à la construction d'une nouvelle vision autour des zones industrielles. Il sert ainsi d'élément permettant de justifier la mutualisation des unités de production et la centralisation de ces dernières au niveau des bassins de consommation industrielles.

Ce graphique renvoie à celui établi en 2010 par McKinsey, qui avait pour objectif de justifier la pertinence économique d'une production sur site d'hydrogène afin de faire adhérer des acteurs à la vision des écosystèmes locaux (cf. chapitre 2). En 2021, l'objectif et les hypothèses ne sont plus les mêmes mais les outils mobilisés restent sensiblement identiques. Comme en 2014 avec H2MF pour le principe d'écosystèmes locaux, les acteurs ont alors recours à des

analyses pour justifier l'établissement d'une nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène. Ici, il s'agit de venir légitimer l'utilisation d'unités de grande capacité et la mutualisation des infrastructures autour de quelques sites identifiés comme étant les plus pertinents.

Distance maximum économiquement acceptable de transport en fonction de la consommation et selon la taille de la source centralisée (100 MW – 1 GW)



Ces estimations considèrent une unité de production d'hydrogène mutualisée entre 100 MW et 1 GW alimentant 10 sites diffus. L'analyse prend comme hypothèse des unités de transport d'une capacité utile de 1 tonne opérant sur un cycle de rotation sur 3 jours.

Figure 26 : Graphique pour identifier les zones d'influence en fonction de la distance et de la capacité des stations de distribution par rapport à la zone de production.
Source : Element Energy, rapport France Hydrogène 2021

2.1.2 L'émergence de bassins industriels de l'hydrogène

A l'issue de cette analyse, qui s'appuie sur les pôles de consommation et de production et identifie des zones d'influence, le rapport met en évidence sept bassins définis comme les lieux de forte consommation en hydrogène, où il serait pertinent d'installer des unités de production de grande capacité. En estimant les futurs besoins en hydrogène, l'analyse montre que ces bassins devraient représenter, à horizon 2030, 85 % de la consommation totale d'hydrogène décarboné. A cet effet, pour les auteurs, la concentration des infrastructures dans ces zones permet le déploiement d'électrolyseurs de très grande capacité ainsi que des chaînes logistiques de distribution de l'hydrogène. Ces sept bassins hydrogène sont

considérés comme « *un atout*³¹⁸ » pour « *générer des économies d'échelle*³¹⁹ » et permettre « *la montée en puissance de la filière*³²⁰ ».

Les sept bassins sont situés autour des principaux ports maritimes nationaux (Dunkerque, Le Havre, Fos-sur-Mer, Saint Nazaire) et des axes fluviaux majeurs (Moselle-Rhin, Rhône, Seine). Une zone très large dite Sud-Ouest, située entre l'Occitanie et la Nouvelle-Aquitaine, est définie malgré l'absence d'une forte consommation industrielle afin de prendre en compte l'existence de projets de mobilité en Occitanie notamment (cf. chapitre 3). La taille des bassins est définie selon la taille des électrolyseurs envisagée et les chaînes de logistique.

Si l'identification des bassins apparaît n'obéir qu'à une seule logique technique et économique, l'intégration de la région Occitanie qui est pourtant dépourvue, d'après la Figure 28, de lieux de forte consommation en hydrogène, interroge. La présence de la présidente de Région Carole Delga au sein du Conseil national de l'hydrogène laisse penser que cette cartographie n'obéit pas uniquement à une logique technique mais également politique.

Selon France Hydrogène, les espaces n'étant pas compris dans ceux des bassins représentent au total 15 % de la future consommation en hydrogène. Ces zones « blanches » ne doivent néanmoins pas être considérées comme dépourvues en hydrogène. Elles ne représentent pas des lieux d'implantation d'unités de production de grande capacité mais elles peuvent accueillir des unités de production décentralisées, comme cela était mis en avant dans les approches d'écosystèmes locaux ou de hub régionaux.

Au milieu de l'année 2022, quatre projets correspondant à cette vision de bassins ont été lancés : un premier, porté par Air Liquide à Port-Jérôme en Normandie, qui prévoit la mise en œuvre d'un électrolyseur de 200 MW, un deuxième à Fos-sur-Mer, mené par ENGIE et TOTAL, avec une unité de 300 MW, un troisième à Bordeaux, soutenu par l'entreprise GH2, de 200 MW, et enfin un dernier à Dunkerque, porté par H2V, de 300 MW. Au total, ces quatre projets représentent une capacité totale d'électrolyseurs installée de 1 GW à horizon 2025.

³¹⁸ Op. Cit. p10

³¹⁹ Op.Cit. p11

³²⁰ Op. Cit. p10

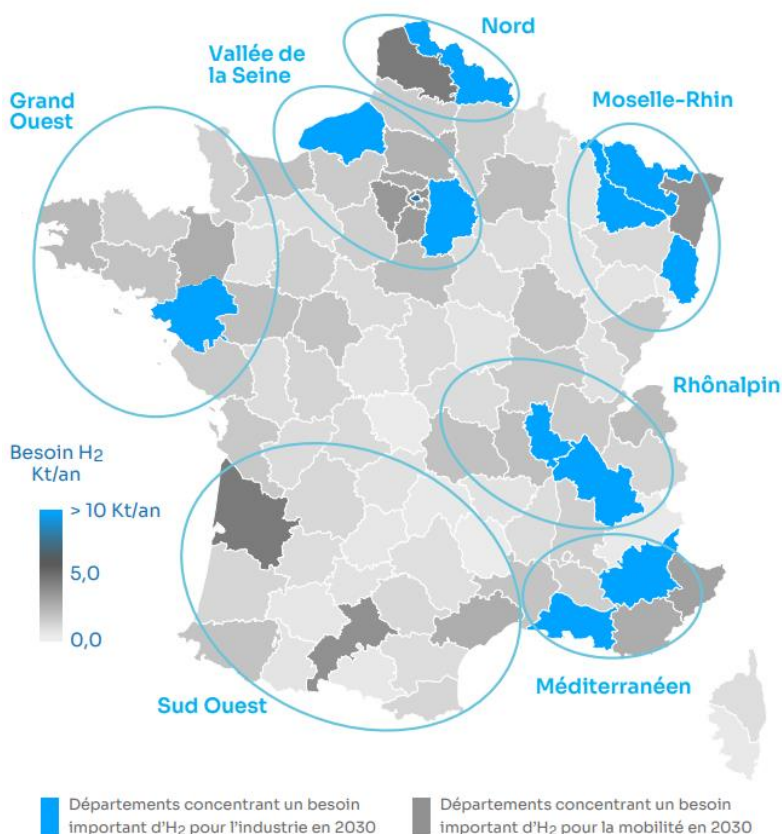


Figure 27 : cartographie des sept bassins hydrogène identifiés par l'étude de France Hydrogène.
Source : France Hydrogène, septembre 2021

Pour France Hydrogène et certains membres du CNH³²¹, cette logique de bassins doit faire l'objet d'une priorisation dans les actions mises en œuvre par les acteurs publics et privés. En d'autres termes, il s'agit, dans les dispositifs étatiques, de privilégier en premier lieu les projets hydrogène situés dans ces zones géographiques³²². Le ministre de l'Économie semble adhérer à cette vision qu'il considère comme source d'emplois et comme étant un avantage pour la France, dans la mesure où les industriels sont capables de maîtriser tout le cycle de production jusqu'à l'utilisation dans des industries dédiées³²³.

³²¹<http://www.smartcitymag.fr/article/1048/air-liquide-cela-a-du-sens-de-concentrer-dabord-le-developpement-de-lhydrogene-bas-carbone-sur-des-bassins-industriels-majeurs>

³²² Le Gouvernement (2021, 30 septembre), *Communiqué du 30 septembre 2021 sur la troisième réunion du Conseil national de l'hydrogène*.

https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/actualite/cp_reunion_du_conseil_national_de_lhydrogene.pdf (Consulté le 10/08/2022).

³²³ Le Maire, B. (2021). Discours de Bruno Le Maire, ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance lors du Conseil national de l'hydrogène le 30 septembre 2021.

https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/10/1468_-_intervention_de_bruno_le_maire_-_conseil_national_de_lhydrogene.pdf (Consulté le 12/08/2022).

« Nous pouvons parfaitement imaginer des écosystèmes totalement intégrés dans lesquels vous auriez la centrale nucléaire, la production d'électricité décarbonée, qui iraient dans des usines d'électrolyse où se ferait l'électrolyse et avec à proximité un site industriel, celui de Vicat ou un autre dans lequel on décarbonerait l'industrie. Enfin, cela fait des écosystèmes industriels puissants, créateurs d'emplois technologiquement avancés qui sont exceptionnels pour la France. » (Discours de Bruno Le Maire lors du Conseil national de l'hydrogène le 30 septembre 2021)

Cette logique élaborée par l'AFHYPAC et soutenue par le CNH va se diffuser et susciter l'adhésion de plusieurs acteurs. Elle soulève néanmoins la question de la manière dont l'hydrogène est transporté et distribué au sein de ces plateformes. Dans cette perspective, les opérateurs de réseaux, notamment ceux du secteur du gaz, vont s'appuyer sur cette vision pour mettre en avant des scénarios de planification pour le déploiement des infrastructures hydrogène au sein de ces bassins.

2.1.3 Vers une logique de réseaux ?

Si l'État considère que les infrastructures de transport et de distribution en hydrogène ne constituent pas, pour le moment, une priorité (entretiens agent 1 et 2 task force hydrogène, juillet et septembre 2021) les acteurs historiques gestionnaires des réseaux décident néanmoins de mettre en place une étude afin de montrer les conséquences favorables que la nouvelle stratégie pourrait avoir pour eux.

Ainsi, les acteurs gaziers GRT Gaz et Teréga³²⁴ mènent en 2021 une consultation auprès d'un ensemble d'acteurs économiques et publics pour connaître les futurs besoins en hydrogène. Un rapport est publié en mars 2022 où les deux acteurs tirent des conclusions sur la manière de planifier le déploiement de l'hydrogène et les chaînes d'approvisionnement associées³²⁵. Le document propose une trajectoire du déploiement du marché de l'hydrogène à court, moyen et long termes en France.

Pour cela, le rapport montre que la logique des sept bassins construite par France Hydrogène reste valable à l'issue des consultations qui ont été menées. Le document propose alors une répartition spatiale et temporelle du déploiement de ce vecteur énergétique. Pour justifier

³²⁴ Teréga est avec GRT Gaz un des gestionnaires du réseau français de transport de gaz. Teréga gère une partie du réseau du Sud-Ouest de la France et a également des activités de stockage du gaz naturel.

³²⁵ GRT Gaz, & Terega. (2022). *Consultation nationale des acteurs du marché de l'hydrogène bas carbone et renouvelable* (p. 33). <https://www.grtgaz.com/sites/default/files/2022-03/Rapport-consultation-acteurs-marche-hydrogene-10032022.pdf> (Consulté le 09/08/2022)

leur vision, les auteurs s'appuient à chaque fois sur les réponses obtenues lors de la consultation afin de montrer qu'ils apportent des solutions aux futurs problèmes rencontrés.

La trajectoire du déploiement qu'ils proposent s'organise en quatre temps (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**²⁹ et Figure 30). Ils identifient une première période, dite d'« acculturation », durant laquelle des projets hydrogène sont mis en œuvre afin d'avoir des premiers retours d'expérience, notamment quant aux nouvelles technologies énergétiques utilisées. Cette période, qui correspond finalement au travail mené au travers des appels à projets successifs de l'Ademe, est perçue comme une phase d'expérimentation et devrait, selon les auteurs, prendre fin un peu avant 2030.

Le deuxième temps correspond au développement des écosystèmes territoriaux hydrogène dits « propices », c'est-à-dire des projets reprenant la logique des écosystèmes (production et distribution) mais qui se situent dans les bassins identifiés. Ces écosystèmes sont considérés comme propices car ils présentent à la fois des besoins en hydrogène importants et sont de manière générale situés dans les métropoles, les ports ou les villes industrielles proches des futurs pôles de production. Selon GRT Gaz et Teréga, il faut concentrer les efforts nationaux autour de ces zones « propices » afin d'aller vers la structuration des bassins industriels.

Dans un troisième temps, il s'agit de penser à des moyens logistiques et plus particulièrement aux réseaux de transport d'hydrogène pouvant relier ces écosystèmes propices entre eux puis, dans un second temps, entre les bassins. Ces réseaux gaziers permettent d'assurer un équilibre entre points de consommation et de production en s'appuyant sur les zones de stockage souterrain. Pour étayer cette argumentation du besoin d'interconnexion, le rapport montre que des écarts de surplus ou de déficit entre capacité de production et consommation, plus ou moins importants, peuvent apparaître dès 2030 au sein de chacun des sept bassins. Afin de résoudre ce problème, l'installation d'une infrastructure de transport hydrogène garantit des échanges entre les différentes zones et une adéquation entre consommation et production à tout moment et en tous lieux.

Enfin, dans un dernier temps, les acteurs gaziers prévoient l'interconnexion de l'ensemble bassins avec le niveau européen pour permettre des échanges transeuropéens d'hydrogène³²⁶. Une étude³²⁷ notamment, publiée en novembre 2021 par quelques acteurs du CSF NSE (GRT Gaz, Storengy, TotalEnergies, Terega, etc.), montre les gains possibles grâce à la mise en place d'un tel réseau de canalisations à hydrogène gazeux. Elle montre que ces infrastructures engendrent une baisse des coûts considérable, à horizon 2030 et 2040, et

³²⁶ Cette vision d'un réseau de gaz européen de l'hydrogène s'inscrit dans celle élaborée par plusieurs acteurs gaziers disponible dans l'étude *European Hydrogen Backbone* publiée en 2020 et mise à jour en 2022 concernant la création d'une dorsale européenne de canalisations à hydrogène.

³²⁷ Guidehouse. (2021). *Compétitivité de la France : Rôle des infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène*. <https://systemesenergetiques.org/le-role-des-infrastructures-de-transport-et-de-stockage-dhydrogene-un-jeu-de-competitivite-industrielle/> (Consulté le 21/11/2022)

participent à rendre une production nationale compétitive par rapport aux autres schémas de production envisagés par les pays voisins. Les acteurs appuient leur propos en prenant l'exemple de l'Allemagne, qui ambitionne d'équiper son territoire en réseaux de gaz à hydrogène afin d'importer l'hydrogène renouvelable produit en Europe du Sud ou Afrique du Nord.

Dans cette optique, les acteurs gaziers présentent les infrastructures comme une nécessité pour garantir à la France la possibilité de proposer un hydrogène produit sur son territoire, compétitif et à rendre ce choix viable et attractif sur le long terme. En outre, ils défendent l'idée que la construction d'infrastructures connectées à l'échelle européenne est un moyen pour la France de mettre en avant son positionnement géographique avantageux entre les futurs pays producteurs d'hydrogène renouvelable et les grands pays consommateurs, devenant ainsi un pays de transit de l'hydrogène décarboné.

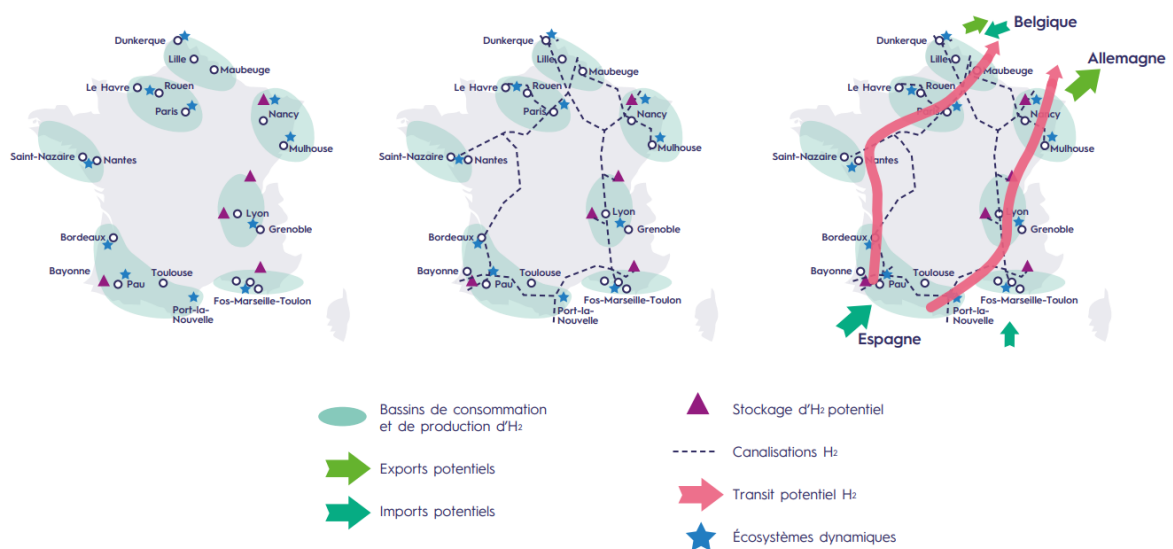


Figure 28 : planification et spatialisation du déploiement de l'hydrogène en France selon les acteurs gaziers.
 Source : rapport GRT Gaz et Terega, mars 2022

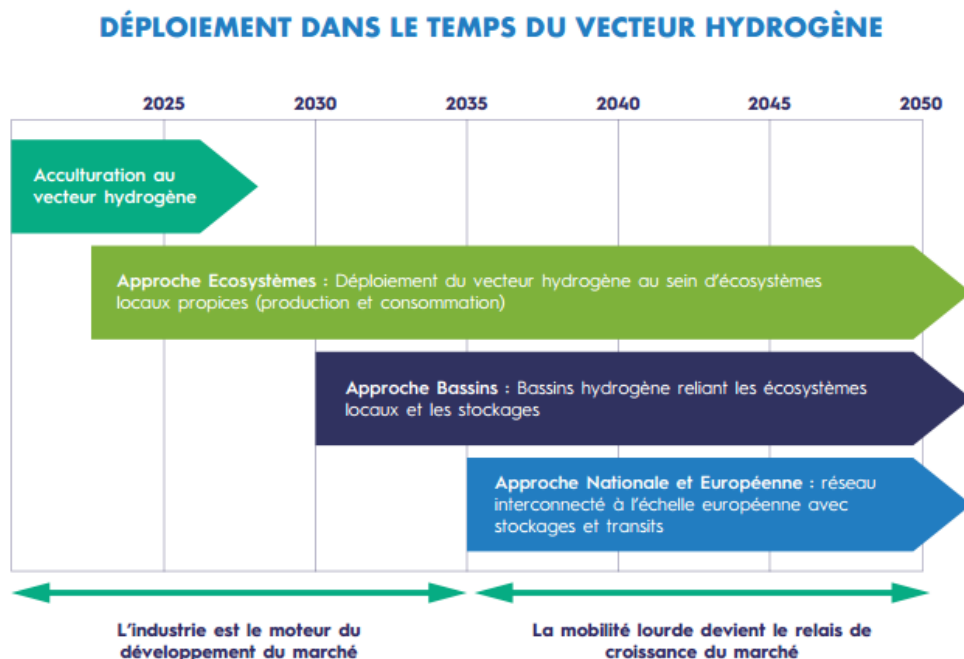


Figure 29 : planification du déploiement de l'hydrogène à court, moyen et long termes.
Source : rapport GRT Gaz et Terega, mars 2022

Cette vision construite par les acteurs gaziers témoigne d'une tendance à la reconcentration des infrastructures hydrogène, non plus à partir de l'échelle régionale, comme cela était le cas dans le chapitre 3, mais à partir de l'échelle nationale. Cette représentation du déploiement de l'hydrogène fait écho aux visions historiques développées autour des grands réseaux énergétiques. S'il ne s'agit pas ici de mailler tout le territoire national avec des canalisations de transport à hydrogène, on retrouve néanmoins une logique similaire fondée sur un principe d'économie d'échelle grâce à des grandes infrastructures qui permettent d'assurer un équilibre à tout moment entre consommation et production. Ces réseaux et bassins hydrogène seront alors gérés par des grands groupes historiques déjà présents dans le secteur énergétique traditionnel (Air Liquide, ENGIE, TotalEnergies, EDF, GRT Gaz, etc.).

Cette vision marque ainsi le déclin de la vision d'une production décentralisée de ce vecteur énergétique, dans laquelle les acteurs locaux jouent un rôle majeur. Ici, il n'est pas question pour la production d'hydrogène de promouvoir la mobilisation de ressources énergétiques territoriales mais plutôt de produire un hydrogène décarboné au coût le plus faible possible, afin d'être échangé à l'échelle européenne. L'hydrogène devient alors une ressource générique et non pas une ressource territoriale permettant de mettre en avant des spécificités liées à certains territoires. On retrouve ainsi une « *approche productiviste et centralisatrice* » dans le sens où l'offre d'énergie devient l'objectif principal et où il est question « *de produire de l'énergie à moindre coût pour satisfaire les besoins en consommation liés à la reconstruction puis à la modernisation du*

pays » - ici à l'industrialisation et à la souveraineté énergétique du pays (Aykut & Evrard, 2017).

C'est finalement une certaine continuité de la part des acteurs historiques dans la manière de faire et de penser le déploiement d'un nouveau vecteur énergétique qui se manifeste à cette occasion. Les mêmes logiques d'organisation historiques s'imposent comme étant les plus pertinentes d'un point de vue économique et industriel, écartant alors la possibilité d'appréhender l'hydrogène comme un vecteur de stockage local (cf. chapitre 1). Ces positionnements reflètent, selon nous, une certaine dépendance au sentier des réseaux existants et des manières de penser le système énergétique.

Il existe toutefois des zones de flottement qui font encore débat, comme, par exemple, la localisation exacte des futurs électrolyseurs dans ces bassins. Deux visions s'opposent³²⁸ : la première est de considérer que les électrolyseurs doivent être situés à proximité des zones de consommation et être reliés au réseau électrique, et la seconde envisage l'implantation des électrolyseurs à proximité des espaces de production d'énergie électrique renouvelable avec un transport de l'hydrogène par canalisation. Les acteurs ici qui s'opposent sont ceux des secteurs électrique et gazier dans la mesure où les premiers valorisent l'idée d'avoir recours au réseau électrique tandis que les seconds souhaitent s'appuyer sur le transport par pipeline.

« Vous comprenez bien qu'il y a tout un tas d'acteurs industriels qui ont des business bien établis depuis des années et qui en fait aimeraient bien que ça continue comme avant ! Y'a plein d'effets...y'a plein de positions un peu contradictoires même si tout le monde dit qu'il va dans le même sens. » (Entretien agent 2 membre de la task force hydrogène, septembre 2021).

Ainsi, il subsiste des zones de tension et de désaccord pas seulement entre acteurs du secteur de l'énergie mais également entre les différents secteurs et les acteurs publics dans la façon de projeter le déploiement de l'hydrogène. Le glissement vers une nouvelle configuration de l'hydrogène interroge sur l'articulation avec les configurations précédentes.

Concernant la configuration dite des hubs régionaux ne semble plus attirer autant d'attention que précédemment. L'élaboration d'une nouvelle vision autour de bassins industriels, répartis dans plusieurs régions françaises, vient selon nous concurrencer la vision élaborée par les Régions. Enfin, en ce qui concerne l'approche par les écosystèmes territoriaux hydrogène,

³²⁸ RTE. (2021). *Futurs énergétique 2050 : Principaux résultats. Chapitre 9 : le rôle de l'hydrogène et des couplages*. p. 369 - 399.

celle-ci reste présente dans les stratégies mises en œuvre par certains acteurs interrogent ainsi la cohabitation entre bassins industriels et écosystèmes territoriaux.

2.2 Quelle cohabitation possible avec les écosystèmes territoriaux ?

Si la vision de bassins semble être adoptée par de nombreux acteurs du secteur de l'énergie et de l'industrie, la cohabitation avec la logique des écosystèmes territoriaux déjà mise en place depuis quelques années pose question. Comment les collectivités territoriales perçoivent-elles cette nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène ? Quels positionnements adoptent-elles ?

2.2.1 Mobilité versus industrie : des approches sectorielles divergentes ?

Le principe qui consiste à considérer que ce sont les usages industriels qui vont permettre de massifier la demande et la représentation associée autour des bassins industriels rencontre néanmoins des réticences de la part de certains acteurs et plus particulièrement du secteur de la mobilité.

Alors que les acteurs de ce secteur a été le premier à se saisir du sujet et à proposer un cadrage du déploiement (cf. chapitre 2), le sujet semble leur échapper progressivement, à mesure que de nouveaux acteurs, issus d'autres secteurs industriels, s'en emparent. Les nouveaux arrivants défendent une vision qui ne va pas tout à fait dans la même direction que celle précédemment construite par les acteurs de la mobilité. Les intérêts entre chaque secteur semblent différents : pour le secteur de l'industrie, l'enjeu est de produire à un coût le plus compétitif possible et de manière massive, tandis que, pour la mobilité, il s'agit surtout de déployer en masse les nouveaux véhicules pour faire baisser les coûts d'achat et évaluer un coût total de possession équivalent à celui d'un véhicule thermique (cf. chapitre 2).

Dans cette perspective, l'idée de privilégier un développement des projets uniquement sur les zones des bassins ne s'avère pas être dans l'intérêt des acteurs de la mobilité, puisque cela restreint fortement leurs possibilités d'action.

« Alors, quand je parle de la mobilité, ce sont surtout les constructeurs et les équipementiers automobiles. Voilà, eux, ils sont vraiment sur leur industrie véhicule et il faut qu'ils sortent des véhicules en nombre. Donc eux, disons, le foisonnement va dans leur sens. Par contre, il est contre-productif sur le volet production décarbonée. Donc eux, pour pouvoir sortir du véhicule, voilà ils disent : si côté énergie/industrie, ils sont pas capables de nous donner un modèle d'énergie décarboné, bah nous on va le mettre

en place avant par de l'électrolyseur diffus. » (Entretien agent du CEA, juillet 2020)

Ainsi, lorsque certains acteurs de l'État (DGE notamment) évoquent la possibilité de soutenir prioritairement les projets situés dans les bassins³²⁹, cette logique ne fait pas l'objet d'un consensus. En outre, la traduction, dans les mécanismes de soutien nationaux, d'une éventuelle priorisation des lieux de déploiement suscite certaines réticences de la part des acteurs de la mobilité.

« Et il y a eu beaucoup de débats, y compris dans l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux ». Certains acteurs, côté étatique, voulaient concentrer l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène » uniquement autour des bassins ou très proches des bassins industriels. En se disant : « Il faut des synergies entre l'industrie et la mobilité ». Voilà. Et il y a beaucoup d'acteurs du territoire, y compris l'ADEME, qui disaient : « Oui, mais on ne peut pas faire ça. Parce que si on fait ça, on laisse des zones vierges, des zones blanches sur l'ensemble du territoire » ». (Entretien agent 1 membre de la task force hydrogène, juillet 2022).

Ce n'est pas seulement une opposition entre les secteurs de la mobilité et de l'industrie qui ressort mais également entre une approche centrée uniquement sur les besoins industriels et une approche davantage centrée sur les besoins territoriaux. Pour les collectivités territoriales mais aussi les acteurs de la mobilité et certains acteurs étatiques, il est nécessaire de conserver les deux approches et de ne pas miser exclusivement sur ces futures zones industrielles pour déployer l'hydrogène. Dans cette perspective, les acteurs qui défendent l'approche plus diffuse liée aux écosystèmes territoriaux hydrogène mettent en avant la temporalité différente entre ces différents mécanismes. La vision industrielle, compte tenu des technologies qu'elle requiert (grandes unités de production, nouveaux procédés industriels), risque de ne pas voir le jour avant 2025 voire 2027, ce qui laisse une période de latence de quelques années. Afin d'éviter un quelconque flottement et assurer dès à présent les débouchés, la logique des bassins ne peut pas être la seule adoptée.

« En gros, il [Conseil National de l'hydrogène] a une vision quantitative de l'hydrogène. Là, ce sont les gros consommateurs d'hydrogène, les grosses industries qui vont consommer l'hydrogène, par qui elles vont être alimentées. Donc, c'est pour ça qu'il y a les bassins. C'est une vision. Il n'y a pas que l'industrie. Il y a plein de petites initiatives, il y a plein de choses qui fourmillent. [...] Il y a une vision très centralisatrice et une

³²⁹ Le Gouvernement (2021, 30 septembre), *Communiqué du 30 septembre 2021 sur la troisième réunion du Conseil national de l'hydrogène*. https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/actualite/cp_reunion_du_conseil_national_de_l_hydrogene.pdf (Consulté le 10/08/2022).

vision décentralisée. Je pense honnêtement qu'il faut les deux. (Entretien agent 3 Conseil régional Occitanie, octobre 2021)

« La temporalité, elle est aussi critique pour un développement harmonieux de la filière. Parce qu'on va avoir des trous dans la raquette si on n'attend uniquement que l'industrie. » (Entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2022).

Finalement, ces différentes logiques reflètent aussi des interrogations concernant le développement de la filière. En effet, mettre l'accent sur une approche plutôt que sur une autre revient à considérer qu'un de ces secteurs (mobilité ou industrie) jouera le rôle de moteur pour massifier les usages et permettre ainsi un déploiement de l'hydrogène. Quel secteur en termes d'usages sera l'élément déclencheur pour la filière et permettra aux autres domaines d'application d'en profiter ? Miser sur la vision de bassins, c'est considérer que les usages industriels vont permettre le passage à l'échelle des technologies et l'abaissement des coûts de production. A l'opposé, compter sur un développement plus diffus autour de la logique des écosystèmes, c'est estimer que ce sont les usages de mobilité qui vont être la locomotive.

« Et dans le fond, in fine, on ne sait pas par où... enfin, l'un tout seul ne peut pas y aller et on ne sait pas lequel encore aujourd'hui va tirer l'autre. Il y a plusieurs visions. Il y a celle qu'on porte plutôt en France en disant : « bon, pour les énormes volumes de l'industrie, ça coûte beaucoup d'argent public pour combler nos différences de coûts, mais ça enclenchera une vraie baisse des prix ». [...] Et de l'autre côté, on a la difficulté, pareil... d'autres disent : « la mobilité va faire le truc et puis l'industrie en profitera ». C'est plus dubitatif parce que, pour le moment, la batterie a ses promesses. Certes, à terme, elle ne pourra pas faire tous les volumes, à moins qu'on ne change fortement notre usage de la voiture. Mais pour autant, ce n'est pas un déclencheur à très court terme. » (Entretien agent du conseil national de l'industrie, juillet 2022).

Même si la vision des bassins hydrogène rassemble plusieurs acteurs industriels et étatiques, celle-ci ne fait pas l'unanimité. De manière générale, la plupart des acteurs de l'industrie et de l'énergie ainsi que le ministère de l'Économie soutiennent cette logique, tandis que de l'autre, l'Ademe, et les collectivités territoriales continuent de promouvoir la logique initiale d'écosystèmes. L'analyse de la traduction de cette vision à travers les dispositifs reflète finalement les points de vue divergents et les intérêts différents entre secteurs. Ces différences entre les manières d'appréhender le déploiement de l'hydrogène interrogent sur leur articulation et leur mise en cohérence.

Si l'idée de prioriser les projets implantés dans les bassins n'a pas fait consensus entre les acteurs de la task force, se pose néanmoins la question de planifier le déploiement de l'hydrogène avec l'identification par l'État de certaines zones jugées plus pertinentes pour déployer des projets. Cette cartographie permettrait d'assurer, à l'échelle étatique, un cadrage du maillage du territoire national et d'éviter les redondances à l'échelle d'un territoire c'est-à-dire avoir deux unités de production de petites ou moyennes capacités proches l'une de l'autre en termes de distance (entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2021). Ces sujets sont toutefois délicats d'un point de vue politique, dans la mesure où l'État adopterait alors un rôle de planificateur et de donneur d'ordre dans la répartition spatiale des infrastructures hydrogène sur le territoire.

2.2.2 Entre opportunités et menaces : quelle place pour les écosystèmes territoriaux ?

Les acteurs territoriaux ne semblent pas s'opposer à ce recadrage de l'État qu'ils trouvent justifié compte tenu des enjeux économiques et industriels de la filière. Les collectivités territoriales témoignent d'un véritable engouement pour l'hydrogène au regard des financements disponibles en 2020. Ces éléments de recadrage ne viennent donc pas freiner les projets territoriaux qui sont, à chaque relève de l'appel à projets de l'Ademe, de plus en plus nombreux. La disponibilité de financements importants renforce les ambitions territoriales d'investir dans l'hydrogène et de mettre en place des projets. Pour les collectivités territoriales, il est question de bénéficier de subventions tant que celles-ci sont disponibles et de ne pas passer à côté de cette opportunité (groupe de travail hydrogène du Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes). La multiplication des candidats et des projets rend la sélection des lauréats de plus en plus difficile et renforce la compétition interterritoriale. Pour être financé, il s'agit de mettre en place les projets les plus structurants, du point de vue de la filière, en visant à installer des unités les plus grandes possible pour assurer un prix de l'hydrogène le plus compétitif.

Néanmoins, si les appels à projets visent l'amorçage de la filière, la cohabitation avec les logiques de bassin interroge. Dans quelle mesure ces écosystèmes territoriaux, bien qu'ils présentent des capacités de production de plus en plus importantes, parviendront-ils à faire le poids face à des unités de production de l'ordre du gigawatt ? En effet, les différentes analyses menées montrent que plus la production d'hydrogène est importante, plus le coût sera faible, ce qui pose la question de la viabilité des unités de production de quelques mégawatt mises en œuvre dans les territoires. La « partition » du territoire entre, d'une part bassins industriels, et, d'autres part, écosystèmes locaux, continuent de questionner.

Du côté des stratégies régionales, certaines comme l'Auvergne-Rhône-Alpes soutiennent la vision développée par GRT Gaz et Teréga. Dans cette perspective, la Région Auvergne-Rhône-Alpes présente en octobre 2022 un projet de pipeline à hydrogène construit sur le

territoire de la vallée de la Chimie³³⁰. Ce projet vise à relier une production d'énergie hydroélectrique couplée à une production d'hydrogène par électrolyse de l'eau située au sud de Lyon au futur site de Symbio. Il prévoit également un système de stockage souterrain assuré par Storengy afin de permettre une alimentation continue en hydrogène. Plus largement, pour le président de Région Laurent Wauquiez, il s'agit d'une première brique d'un projet plus large de pipeline reliant l'Allemagne au port de Marseille en passant par Auvergne-Rhône-Alpes afin de ne pas dépendre des « importations russes ou algériennes³³¹ ».

La Figure 31 illustre ce projet d'Auvergne-Rhône-Alpes et fait également apparaître le lien prévu avec le projet ZEV et Hymulsion en termes d'approvisionnement en hydrogène. Du côté de l'Auvergne-Rhône-Alpes, le projet d'écosystème régional ZEV semble s'intégrer dans cette nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène et rejoint les dynamiques impulsées lors de la construction de la feuille de route régionale « Hub hydrogène » qui visent à regrouper la production à l'échelle régionale. Nous ne savons toutefois pas si de nouvelles modifications ont été apportées au projet ZEV, compte tenu de ces nouveaux enjeux et de l'ambition de mettre en place un électrolyseur de 20 MW sur le territoire.

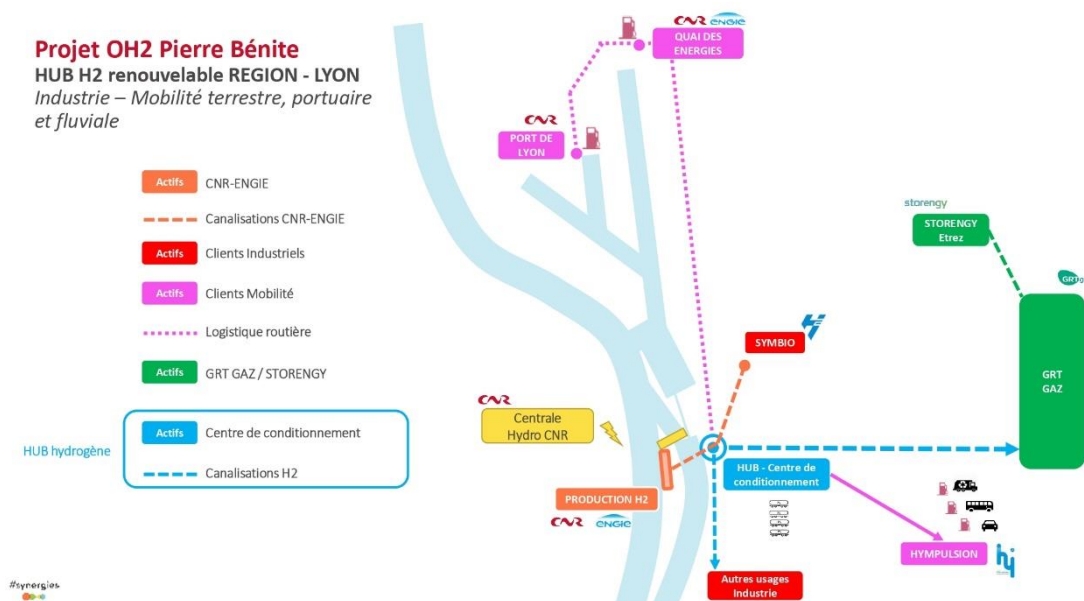


Figure 30 : projet de pipeline de la région Auvergne-Rhône-Alpes.
Source : Région Auvergne-Rhône-Alpes

³³⁰ La Vallée de la Chimie est une plateforme qui réunit un ensemble d'industries, située au sud de la Métropole de Lyon,

³³¹ <https://www.auvergnerhonealpes.fr/actualites/un-futur-pipeline-hydrogene-dans-la-vallee-de-la-chimie> (Consulté le 20/11/2022)

Si le projet d'Auvergne-Rhône-Alpes reprend la vision développée par les acteurs de l'énergie, d'autres Régions doivent défendre leur positionnement aux yeux de l'État. C'est le cas, par exemple de la Région Occitanie, pour qui un projet de pipeline prévu par l'État entre Barcelone et Marseille vient écarter les initiatives occitanes. En effet, le président Emmanuel Macron et ses homologues du Portugal et de l'Espagne ont remis à l'ordre du jour le projet d'un gazoduc reliant la France à l'Espagne. Si une initiative similaire avait été abandonnée en 2019, celle présentée en 2022 prévoit l'acheminement de gaz dans un premier temps, puis d'hydrogène dans un second temps entre Barcelone et Marseille³³². Cette initiative appelée « BarMar » ou « corridor d'énergie verte » suscite des controverses en Occitanie, qui se voit privée d'être sur le passage de ce corridor transfrontalier. Ainsi, la Région avec un ensemble de parlementaires occitans se mobilise pour mettre en avant l'existence d'un écosystème hydrogène en cours de construction à Port-la-Nouvelle et la prise en compte de ce dernier dans le projet de pipeline. Ces derniers interpellent l'État sur la nécessité de faire passer ce gazoduc par l'Occitanie afin que la région puisse « *conserver son avance technologique stratégique en matière de production et d'usages hydrogène décarboné notamment issu des énergies renouvelables*³³³ ».

Ainsi, la vision développée autour de la logique de bassins et d'interconnexions au sein de ces derniers représente pour certain, comme la Région Auvergne-Rhône-Alpes, une nouvelle opportunité de répondre aux enjeux étatiques. A l'opposé pour d'autres, comme la Région Occitanie, elle peut alors être synonyme de menace dans la mesure où cette dernière est écartée de projets impulsés au niveau de l'État.

L'articulation entre dynamiques régionales et ambitions nationales apparaît comme étant encore peu établie. Pour l'État et certains acteurs de la filière, les Régions n'ont finalement pas su faire preuve d'une capacité à proposer une mise en cohérence et une coordination de l'ensemble des projets sur leur territoire (entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2022). A cet effet, l'État entend intervenir pour proposer des outils de planification et de cartographie du déploiement territorial de l'hydrogène (entretien agent 1 membre de la task force, juillet 2022).

De la même manière, la déclinaison de la vision des bassins à l'échelle territoriale s'appuie sur une animation par des acteurs nationaux en région. En témoigne la création de délégations régionales de France Hydrogène en 2021 dont l'objectif est « d'être au plus près du terrain ». Pour l'association, cette présence à l'échelle régionale cherche à éviter l'écueil d'avoir des petits projets proches les uns des autres. Ainsi, ces délégations régionales ont pour but de regrouper des projets territoriaux afin de mettre en œuvre des initiatives de plus grande envergure (entretien 2 agent 1 de l'AFHYPAC, septembre 2020). De la même manière, le CSF NSE intervient également au niveau régional en mobilisant les Conseils

³³² <https://lepetitjournal.com/lisbonne/actualites/projet-barmar-gazoduc-france-portugal-espagne-348942> (Consulté le 20/11/2022)

³³³ Tribune commune des parlementaires de la Région Occitanie Pyrénées du 4 novembre 2022.

régionaux pour les aider à structurer les projets autour de la logique de bassins en coordonnant l'ensemble des acteurs infra et inter régionaux (entretien 2 agent du conseil national de l'industrie, juillet 2022).

Ces dynamiques étatiques et industrielles interrogent ainsi sur la prise en compte des écosystèmes existants et leur intégration dans la vision nationale. Elles questionnent aussi concernant le poids des Régions et leur capacité à faire entendre leur propre vision du déploiement de l'hydrogène sur leur territoire.

Cette seconde section nous a permis d'analyser la manière dont certains acteurs issus du secteur de l'énergie et de l'industrie envisagent le déploiement de l'hydrogène et les dispositifs étatiques et industriels mis en œuvre à cet effet.

L'analyse de la gouvernance étatique qui se construit dès le début de l'année 2020 nous a permis de mettre en exergue des zones de tensions malgré la création d'une *task force* visant à coordonner l'ensemble des acteurs ministériels. Des points de vue divergents concernant la démarche à adopter, et qui étaient déjà présents auparavant entre les ministères de l'Économie et de la Transition Écologique, restent d'actualité. Bien que leurs objectifs ne soient pas incompatibles, ils se heurtent néanmoins à des temporalités différentes, révélant un déploiement de l'hydrogène à deux vitesses.

Au sein des acteurs de la filière, une nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène se construit. Celle-ci prend appui sur une étude de France Hydrogène (ex-AFHYPAC) avec le CNH et le CSF NSE pour identifier les futurs gros pôles de consommation d'hydrogène et réfléchir aux zones dans lesquelles situer les infrastructures de production et de distribution. Ainsi, l'approche adoptée est de considérer que les secteurs de l'industrie vont être les moteurs pour déployer massivement l'hydrogène en France. Les Régions concernées par la création d'un bassin, comme c'est le cas en Auvergne-Rhône-Alpes, peuvent alors adapter leur stratégie régionale pour répondre aux nouvelles attentes nationales. Cependant, pour d'autres, comme pour l'Occitanie, cette nouvelle logique industrielle peut s'avérer néfaste.

Ainsi, cette logique autour de bassins ne fait pas l'unanimité auprès de l'ensemble des acteurs territoriaux.

CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans ce quatrième chapitre, nous avons pu suivre l'évolution du système d'acteurs qui se construit autour de l'hydrogène et retracer la nouvelle problématisation qui en émerge. La première partie a mis en lumière le renforcement d'un système d'acteurs notamment privés au sein du CSF NSE. Cette alliance a permis l'élaboration d'un message commun et partagé entre les acteurs de l'industrie et de l'énergie. De cette dynamique, il résulte l'édification d'une nouvelle problématisation de l'hydrogène présentant ce dernier comme une filière prometteuse pour l'industrie française.

Cette nouvelle image va trouver un écho favorable auprès du ministère de l'Économie, en réponse aux enjeux économiques et industriels qui sont les siens. Les situations de crise de 2019 puis de 2020 constituent alors une fenêtre d'opportunité pour les acteurs de la filière. Ce contexte leur permet de hisser certaines technologies de l'hydrogène comme étant prioritaires afin de répondre à un ensemble de problèmes publics. La concrétisation de l'intérêt porté à l'hydrogène par cet acteur étatique auparavant plus en retrait se traduit par la publication de la deuxième stratégie nationale en septembre 2020. Le budget alloué de 7,2 milliards d'euros pour dix ans et les objectifs ambitieux fixés ainsi que la création de dispositifs de gouvernance montrent la volonté de l'Etat d'agir rapidement et d'intervenir directement dans le pilotage du sujet. L'Etat fait le choix stratégique de faire de la France un producteur mondial d'hydrogène en misant sur son mix énergétique décarboné et en favorisant l'industrialisation des procédés nécessaires. Pour le gouvernement, l'enjeu est de ne pas accumuler de retard par rapport à la concurrence étrangère et de positionner le plus rapidement possible les industriels français pour prendre des parts sur le marché de l'hydrogène en cours de construction.

Ces dispositifs étatiques donnent lieu à une nouvelle vision du déploiement de l'hydrogène, portée par l'AFHYPAC, le CSF NSE et les membres du CNH, avant d'être déclinée par plusieurs acteurs industriels dans leur stratégie. Cette configuration sociotechnique qui prend forme autour des bassins industriels constitue, selon nous, une rupture dans la manière d'envisager l'hydrogène en France par rapport aux deux configurations précédentes. En effet, les deux premières configurations identifiées étaient alors majoritairement articulées autour des usages de mobilité. Les questions de massification et de mutualisation étaient déjà présentes dans la configuration autour des hubs régionaux, les capacités et les échelles de production prévues restaient de l'ordre de quelques centaines de kW, c'est-à-dire quelques tonnes par jour, contrairement à celles qui émergent autour d'unités de plusieurs dizaines voire centaines de MW. Dans cette optique, le passage à l'échelle demandé par les acteurs de l'industrie et de l'énergie n'est plus du même ordre que celui envisagé par ceux de la mobilité

autour des hubs régionaux. La configuration proposée par la logique des hubs régionaux se retrouve finalement concurrencée par cette nouvelle vision de bassins industriels. En effet, cette nouvelle configuration industrielle prévoit également une structuration des infrastructures de production dans la plupart des régions en proposant une concentration des infrastructures dans les zones industrielles. Il ne s'agit plus de raisonner en termes d'écosystèmes de mobilité, contrairement aux deux approches précédentes, mais plutôt de penser à un maillage centralisé ou semi-centralisé des infrastructures, avec une logique de réseau pour la distribution et le transport du gaz. Cette approche reflète, chez les acteurs du secteur énergétique, une certaine continuité dans la manière de penser le déploiement d'un nouveau vecteur.

Il en résulte ainsi un fonctionnement segmenté, tant entre les acteurs de l'État qu'entre les secteurs, où les intérêts de chacun ne semblent pas trouver un point d'entente dans une vision unifiée de l'hydrogène. Si les deux visions, écosystèmes et bassins, continuent toutefois de coexister et d'être animées chacune par des acteurs étatiques différents, la cohabitation à long terme des deux logiques questionne.

Néanmoins, en 2022, des éléments extérieurs viennent fragiliser et remettre en question cette nouvelle configuration autour des bassins industriels. En effet, les stratégies de certains pays européens s'appuient sur un schéma différent de l'approche française et questionnent la capacité de la France à continuer à maintenir ses choix stratégiques. L'ambition pour certains pays d'avoir recours à des importations d'hydrogène renouvelable produit dans des territoires du Sud au pays pourrait avoir des conséquences sur la viabilité du modèle français. La France pourrait alors se trouver fortement défavorisée si l'hydrogène renouvelable produit dans d'autres pays s'avérait beaucoup plus compétitif que celui produit à l'échelle nationale et qu'un marché européen de l'hydrogène favorise les importations. Les industriels français auront la possibilité de se tourner vers l'hydrogène importé pour garantir des coûts les plus faibles possibles et ne participeraient donc pas à l'élaboration d'une demande nationale et de débouchés suffisants pour les producteurs nationaux.

Par conséquent, les ambitions françaises en matière d'hydrogène se confrontent à des intérêts et des stratégies divergentes, et cela à plusieurs niveaux. Ces configurations restent fortement soumises aux intérêts, controverses et systèmes d'acteurs qui se forment autour d'elles et sont contraintes d'être ajustées en permanence. La trajectoire de l'hydrogène en France reste incertaine et dépend d'un équilibre à trouver entre l'ensemble des acteurs publics et privés pour garantir des investissements sur le long terme.

Tableau 16 : caractéristiques des trois configurations sociotechniques de l'hydrogène et de la problématisation de référence. Réalisation : auteure

	Problématisation de référence : l'hydrogène comme vecteur de la transition énergétique	Première configuration : les écosystèmes locaux de mobilité hydrogène	Deuxième configuration : les hubs régionaux hydrogène	Troisième configuration : les bassins industriels hydrogène
Principales fonctions données à l'hydrogène	H ₂ comme vecteur de stockage des ENR.	H ₂ comme vecteur de stockage et de décarbonation de la mobilité.	H ₂ comme vecteur de décarbonation de la mobilité et de l'industrie.	H ₂ vecteur de décarbonation de l'industrie et levier de réindustrialisation
Principaux enjeux	Déployer les ENR grâce à l'hydrogène et décarbonation des usages	Déployer la mobilité hydrogène (véhicules et infrastructures)	Décarboner la production d'hydrogène et massifier les usages (mobilité et industrie).	Structurer une filière industrielle française et devenir producteur mondial d'hydrogène.
Vision du déploiement territorial	Système décentralisé autour d'une production à l'échelle locale. Hydrogène renouvelable	Système décentralisé, production et distribution locales. H ₂ renouvelable.	Système semi-centralisé à l'échelle régionale, moyenne à grande unité de production. H ₂ décarboné.	Système centralisé autour de très grandes unités de production, situés près de bassins industriels. H ₂ décarboné
Stratégies et dispositifs	X	Plan d'action de H2MF et appels à projets de l'Ademe.	Feuilles de route régionales.	Appels à projets de l'Ademe et IPCEI. Publications de France Hydrogène et acteurs gaziers
Acteurs dominants	X	H2MF et collectivités territoriales	Pas d'acteurs dominants, pluralité d'acteurs	CNH, CSF NSE et Ministère de l'Économie

Conclusion générale

Cette thèse s'est attachée à décrire la trajectoire de l'hydrogène en France depuis les années 2010 jusqu'au début de l'année 2022. En considérant que cette dynamique est le fruit d'une construction technico-économique, elle a cherché à décrypter les différents choix techniques et politiques qui ont pu être faits. L'analyse porte sur le déploiement de l'hydrogène en France et dans les territoires et interroge la manière dont les acteurs, à différents niveaux, appréhendent le sujet et les stratégies qui en découlent.

Dans cette perspective, l'objectif de la thèse était de tester l'hypothèse selon laquelle l'hydrogène pouvait être porteur d'une « révolution ». Nous souhaitions interroger cette « vision révolutionnaire » conférée à l'hydrogène et étudier les changements que son introduction dans le système énergétique français pouvait engendrer.

Après un retour synthétique sur l'approche de la thèse, nous commenterons les trois principaux résultats en lien avec nos questionnements initiaux. Ces résultats nous permettent de revenir sur les deux dimensions de la « révolution » identifiées en introduction, qui correspondent à l'analyse des changements en termes de gouvernance énergétique et des formes de transition énergétique induites.

RETOUR SUR L'APPROCHE DEVELOPPEE AUTOUR DES CONFIGURATIONS SOCIOTECHNIQUES DE L'HYDROGENE

Pour répondre à ces questionnements, nous avons mobilisé différents concepts théoriques issus de la sociologie des sciences et techniques (STS) et de la sociologie de l'action publique. Concernant les STS, nous avons eu recours à la théorie de l'acteur-réseau afin de décrypter les réseaux qui se forment autour des problématisations de l'hydrogène ainsi qu'à la notion d'assemblages sociotechniques. Cette dernière nous permet d'appréhender la dimension multiscalaire et sociotechnique des technologies de l'hydrogène et de comprendre leur construction et reconstruction en fonction des épreuves rencontrées.

Souhaitant avoir une approche politique des enjeux et nous intéresser aux acteurs et aux jeux de pouvoir, nous avons fait le choix de renforcer notre approche sociotechnique par celle de la sociologie de l'action publique. Nous nous sommes appuyés sur l'approche de la gouvernance multi-niveaux pour mieux décrypter les différents systèmes d'acteurs qui prennent forme et les situations de coalitions, de coopérations ou de conflits qui émergent. Nous mobilisons également la notion d'instrument pour analyser les formes de cadrage des pouvoirs publics, notamment ceux de l'État et des Régions, dans la structuration d'une filière de l'hydrogène.

Pour compléter notre cadre théorique, à l'interface entre approches sociotechnique et sociopolitique, nous avons eu recours à la notion de configuration sociotechnique. Ce concept, que nous avons mobilisé tout au long de la thèse, décrit les assemblages d'éléments hétérogènes transcalaires plus ou moins stables autour desquels des réseaux d'acteurs se forment et imposent, en fonction du contexte, leur conception du déploiement de l'hydrogène dans les territoires. Cette approche nous permet de décrypter les problématisations construites durant la période 2010 – 2022 et d'analyser les différentes fonctions qui sont données à l'hydrogène. Elle nous permet également de mettre en lumière les systèmes d'acteurs qui, à différents niveaux, participent à la construction de ces visions ainsi que les choix techniques, sociaux, institutionnels qui le constituent.

Nous avons identifié, au cours de la thèse, trois configurations sociotechniques différentes. Chacune reflète une problématisation et une appropriation de l'hydrogène par différents acteurs issus de plusieurs secteurs d'activité en fonction du contexte politique, économique et technique. Si pour faciliter la démonstration, les chapitres décrivent successivement plusieurs configurations, cela ne signifie pas pour autant que le déploiement de l'hydrogène relève d'un processus séquentiel où chaque période serait régie par une configuration unique. Nous avons montré que lorsqu'une nouvelle vision émerge, celle-ci ne se substitue pas totalement à la précédente. Si elle vient en proposer des évolutions, cela ne signifie pas qu'elle la remplace définitivement ni complètement. Les précédentes configurations continuent d'être portées par quelques acteurs de manière parallèle, mais elles ne font plus l'objet d'une attention aussi importante que la nouvelle, qui devient dominante. On assiste donc à des formes de cohabitation déséquilibrée entre plusieurs configurations sociotechniques de l'hydrogène.

Ainsi, l'approche en elle-même met en doute l'idée de penser l'hydrogène comme un vecteur de changement « révolutionnaire ». Nous allons à présent revenir sur les principaux résultats qui répondent aux questions posées par cette thèse, qui portent à la fois sur les changements induits par l'hydrogène au niveau du système énergétique français et plus particulièrement de

sa gouvernance, et sur les chemins de transition énergétique dans lesquels le déploiement de l'hydrogène s'inscrit.

PRINCIPAUX RESULTATS DE THESE

A l'issue de la recherche menée sur le déploiement de l'hydrogène en France et dans les territoires, nous tirons trois principaux résultats concernant les questions de centralisation/décentralisation du système énergétique, le rôle des Régions dans la gouvernance multi-niveaux et les formes de transition énergétique que la trajectoire de l'hydrogène reflète.

Premier résultat : L'hydrogène a fait l'objet de processus de recadrages successifs à différents niveaux auxquelles s'associent différentes conceptions dans la manière de projeter son déploiement. Chaque recadrage est marqué par l'arrivée de nouveaux acteurs entraînant des processus de (re)centralisation dans la gouvernance du déploiement de l'hydrogène.

L'analyse des différentes configurations sociotechniques de l'hydrogène nous a montré comment des schémas de développement dans la manière de déployer l'hydrogène se sont imposés au fur et à mesure que de nouvelles problématisations du sujet émergeaient. Chaque nouvelle configuration est marquée par l'arrivée de nouveaux acteurs venant du secteur de la mobilité, de l'énergie ou de l'industrie qui proposent leur propre vision du problème et une manière d'y répondre. Ces dynamiques entraînent des formes d'intervention publique donnant lieu à des formes de recadrage par les pouvoirs publics régionaux et nationaux. Les différents processus de recadrage que nous avons identifiés témoignent d'une tendance recentralisatrice de la filière hydrogène avec une reprise en main progressive du sujet par l'État et les grands groupes industriels.

Chaque configuration est marquée par la mobilisation et le positionnement d'acteurs issus des secteurs de la mobilité, de l'énergie ou de l'industrie qui proposent une nouvelle problématisation du sujet.

La première configuration dite « écosystèmes de mobilité hydrogène » reflète la prise en main du sujet par les acteurs du consortium H₂ Mobilité France et plus particulièrement des équipementiers Michelin et Symbio. Ils proposent une manière de développer la mobilité

hydrogène dans les territoires grâce à la logique de flottes captives. Ces acteurs, avec l'appui de l'AFHYPAC, vont défendre cette vision dans différentes sphères politiques et institutionnelles aux niveaux européen, national et territorial. Ils parviennent à tisser un réseau d'alliances autour de leur propre problématisation de la mobilité hydrogène en s'appuyant sur le soutien de collectivités territoriales, de l'Ademe et de quelques figures politiques parlementaires. Leur proximité avec des acteurs territoriaux, comme le président de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, Laurent Wauquiez, leur permet de tester leur approche sous forme d'un projet concret et de l'ériger en tant que modèle à suivre pour déployer la mobilité hydrogène en France. Si le réseau autour de cette configuration s'élargit avec l'adhésion du ministère de la Transition Écologique à cette logique écosystémique (appels à projets en 2016 puis en 2017), certaines caractéristiques de cette configuration sont remises en cause avec l'implication de nouveaux acteurs notamment du secteur de l'énergie.

La construction de la première stratégie nationale en 2018 marque, selon nous, une reprise en main du sujet par des acteurs issus du secteur énergétique et la constitution d'une nouvelle configuration. Des énergéticiens comme ENGIE, TotalEnergies, EDF mais aussi Air Liquide vont davantage affirmer leur intérêt pour l'hydrogène vert. Ces acteurs participent au recadrage du sujet et à la manière de projeter son déploiement territorial. L'enjeu n'est plus seulement de développer la mobilité légère hydrogène, comme c'était le cas lors de la configuration précédente, mais d'arriver à produire de l'hydrogène décarboné à un coût le plus compétitif possible. Dans cette optique, de nouvelles propositions concernant les formes et les échelles de production de l'hydrogène émergent. Même si des points de divergence entre les différentes logiques développées par ces acteurs existent, il se dessine toutefois l'idée de mettre en place des unités de production de grande capacité, semi-centralisées à l'échelle régionale. Cette configuration dite de « hubs régionaux » est appuyée et relayée par l'AFHYPAC et soutenue par plusieurs Régions. Dans cette deuxième configuration, aucun acteur dominant semble néanmoins se dégager. Elle reflète plutôt la prise en main progressive du sujet par de nombreux acteurs industriels venant perturber la configuration précédente.

La troisième configuration dite des « bassins industriels de l'hydrogène » est marquée par l'arrivée mais aussi le renforcement de certains acteurs déjà présents dans la constitution de la configuration 2. Les nouveaux acteurs sont issus de l'industrie (aciérie, cimenterie, etc.) ainsi que de la construction automobile, longtemps absents des débats. Le Contrat Stratégique de filière « Nouveaux Systèmes Énergétiques » (CSF NSE) joue un rôle déterminant dans la construction et la diffusion de cette nouvelle logique industrielle de l'hydrogène. Il contribue à réunir et à faire dialoguer un ensemble d'acteurs issus de secteurs différents pour construire un message commun à destination de l'État. La vision portée par ce réseau va d'ailleurs être renforcée avec la publication de la deuxième stratégie nationale en 2020 et marque la montée en charge du ministère de l'Économie sur le sujet.

Par ailleurs, ces différentes configurations soulignent la forte influence des acteurs privés dans la problématisation de l'hydrogène. Qu'ils soient issus du domaine de la mobilité, de l'énergie ou de l'industrie, ils jouent un rôle prépondérant dans l'élaboration de nouvelles configurations. Leur prise de position sur le sujet marque des changements dans la manière d'envisager le déploiement de l'hydrogène et participe au processus de glissement d'une configuration à une autre. Si, au cours de la thèse, nous nous sommes intéressés au rôle des acteurs publics étatiques et régionaux dans l'élaboration de politiques et de stratégies à différentes échelles, notre analyse fait également ressortir la place prépondérante des acteurs privés dans la définition des enjeux et des problématiques. Ces derniers apportent à l'État et aux Régions des appuis techniques et des sources d'expertise mais ils orientent aussi les décisions prises par les pouvoirs publics. En effet, chaque configuration avant d'être reprise et portée par les Régions, le ministère de la Transition Écologique ou de l'Économie est élaborée initialement par un réseau d'acteurs privés.

Processus de recentralisation à l'échelle nationale : vers une régulation étatique de plus en plus forte

Ces recadrages successifs s'accompagnent d'un processus de recentralisation. Recentralisation à la fois dans la manière de penser la production d'hydrogène décarboné mais également au niveau du pilotage et de la gouvernance de la filière. En effet, l'État, notamment Bercy, affirme progressivement un positionnement de plus en plus fort dans les espaces de décision, dans un contexte de divergence entre les services ministériels.

Dans un premier temps, le ministère de la Transition Écologique tente de reprendre en main timidement le sujet au travers de l'élaboration du plan Hulot. Secondé par l'Ademe, il n'affirme toutefois pas une place centrale mais plutôt un positionnement attentiste laissant une forte marge de manœuvre aux acteurs territoriaux pour proposer des modèles de déploiement. A cela s'ajoutent les difficultés concernant l'obtention des financements annoncés par le ministre Nicolas Hulot, ce qui témoigne de la difficulté de ce dernier à peser dans les instances décisionnelles étatiques concernant l'hydrogène.

Dans un deuxième temps, l'arrivée du ministère de l'Économie et la formation d'une *task force* hydrogène réunissant les différents ministères concernés par le sujet vont marquer le renforcement du rôle de l'État dans la définition et le portage d'une stratégie nationale. En particulier, le groupe interministériel au sein de la task force hydrogène décide et élabore l'ensemble des dispositifs d'aide à la filière donnant lieu à une centralisation du processus de décision. Chaque ministère se voit alors confier le pilotage et le suivi des outils dans les domaines qui le concernent et s'appuie sur des agences de l'État (Ademe, Agence nationale de la recherche, Banque Publique d'Investissement) pour décliner les orientations à l'échelle territoriale.

Le poids du ministère de l'Économie au sein de cette gouvernance interministérielle apparaît alors comme prédominant dans l'orientation de la stratégie nationale. En témoigne par exemple la mise en place du dispositif européen IPCEI (Projet important d'intérêt européen commun). Le pilotage de ce mécanisme est assuré par le ministère de l'Économie, avec des budgets nettement supérieurs à ceux pilotés par le ministère de la Transition Écologique. Cette importante asymétrie budgétaire souligne la nouvelle place prépondérante du ministère de l'Économie, qui joue un rôle central dans le maillage territorial en infrastructures hydrogène.

Cette reprise en main par l'État, visible avec le recadrage des appels à projets de l'Ademe, donne lieu à une forme de « gouvernement à distance » des territoires et met en œuvre des dispositifs cherchant à valoriser les bonnes pratiques territoriales (Epstein, 2005). Pour les membres de la *task force*, cet appel à projets cherche à intéresser des acteurs territoriaux, et plus particulièrement des collectivités territoriales, afin qu'elles participent à la massification de la demande. Néanmoins, il n'est pas question d'adopter une démarche similaire à celle des appels à projets précédents, en laissant des marges de manœuvre aussi larges aux acteurs territoriaux. En recadrant le dispositif et en fixant certaines limites, l'objectif est d'éviter la mise en œuvre de petits projets, qui sont jugés inadaptés par les membres de la *task force* pour la construction d'une filière industrielle. Des logiques d'ajustement politique peuvent toutefois venir nuancer ce raisonnement, comme l'illustre le cas de l'Occitanie, qui parvient à figurer dans la cartographie des grands bassins, pour des raisons politiques.

Finalement, cette dynamique de développement de l'hydrogène nous rappelle celle qui a été identifiée pour l'éolien offshore. L'analyse menée par Evrard et Pasquier (2018) concernant l'éolien en mer montre la capacité de grands groupes industriels et de l'État à reprendre la main sur le sujet afin de mettre en œuvre de grands projets industriels centralisés. Les auteurs évoquent une dynamique de « concentration industrielle et de centralisation des décisions » (Evrard & Pasquier, 2018). De la même manière, l'hydrogène a fait l'objet d'une concentration industrielle avec l'arrivée progressive de grands groupes industriels et d'énergéticiens qui se sont réappropriés le sujet en proposant de nouveaux modèles de déploiement. En témoigne la dernière configuration présentée, qui vise à une centralisation des unités de production dans des bassins industriels, afin de mettre en place des unités de production de dimensions qu'ils jugent comme étant structurantes pour le développement de la filière. Enfin, l'État affirme ses choix dans la manière de planifier et de développer les projets et vient recadrer les initiatives locales en imposant des seuils et des choix technologiques. En 2022, il est d'ailleurs question qu'un zonage des lieux à privilégier pour le développement de projets hydrogène soit élaboré par l'État, ce qui acterait définitivement son positionnement en tant qu'acteur central.

L'ensemble de ces dynamiques interroge sur le rôle endossé par l'État pour structurer une filière française de l'hydrogène. La politique industrielle et économique étatique cherche à cibler les marchés clés où un soutien public est nécessaire pour assurer un équilibre économique. Les dispositifs mis en place tels que les IPCEI ou encore le Conseil National de l'Hydrogène témoignent alors d'une volonté de ce dernier d'intervenir directement dans la construction d'une filière de l'hydrogène. Cette forte intervention étatique illustre, selon nous, un rôle « d'État stratège ». Dans le sens défini par Jacques Chevallier (2005), cette fonction stratégique étatique va agir directement sur les équilibres économiques (grâce à des financements nationaux) mais aussi sur la création de partenariats et d'alliances grâce à des espaces de coordination entre acteurs (CNH, CSF NSE, etc.).

« Ce faisant, le thème de l'État stratège est indissociable de ceux de régulation et de gouvernance : l'État stratège est aussi un « régulateur » (J. Chevallier, 2004) qui, plutôt que de produire lui-même des biens et services, est chargé de veiller au maintien des grands équilibres ; et l'État stratège est conduit à recourir aux procédés de « gouvernance » (J. Chevallier, 2003), en cherchant à obtenir la coopération et à emporter l'adhésion des acteurs sociaux. (Chevallier, 2005, p. 2).

Néanmoins, cette gouvernance pose question. Si une recentralisation opère, celle-ci peut ne pas être totale. Certains auteurs considèrent que, pour le secteur de l'énergie, on assiste à l'établissement d'une gouvernance « hybride » (Evrard & Pasquier, 2018, Poupeau, 2021). Cette hybridation résulte de l'existence de deux dynamiques, l'une centralisatrice et l'autre décentralisatrice (Poupeau, 2021). Pour le cas de l'éolien en mer, cette hybridation se traduit par un pilotage des décisions à l'échelle étatique mais qui s'appuie sur une forte mobilisation des acteurs territoriaux.

La stratégie nationale et territoriale de l'hydrogène étant en cours de construction, il nous semble prématuré d'affirmer aujourd'hui que son pilotage est uniquement entre les mains des pouvoirs publics nationaux et que c'est un modèle centralisé qui l'emporte. L'État ainsi que les industriels ont pleinement conscience de la nécessité de s'appuyer sur les collectivités territoriales pour assurer un déploiement territorial de l'hydrogène. Cela pose la question du rôle que les acteurs territoriaux détiennent dans la gouvernance de l'hydrogène, ainsi que les formes d'articulation à l'œuvre entre ces différents niveaux. Dans notre analyse, nous nous sommes particulièrement intéressés aux Régions. En effet, l'échelon régional, par sa capacité à capter des fonds européens et sa position d'intermédiaire avec les collectivités infrarégionales mérite que l'on s'attarde sur son rôle.

Deuxième résultat : Si les Régions sont identifiées comme des échelons stratégiques pour le déploiement de l'hydrogène, leur rôle semble néanmoins cantonné à celui d'un relais de l'État.

Les enjeux de transition énergétique donnent lieu à un foisonnement d'initiatives et d'actions menées à différentes échelles. Cette multiplicité des acteurs interroge la répartition des rôles et leur articulation, qui ne semble pas toujours évidente (Poupeau & Boutaud, 2021). Nous souhaitons ici questionner la capacité des Régions à assurer une fonction stratégique dans le déploiement de l'hydrogène. En effet, ces dernières ambitionnent de se positionner comme pilotes à l'échelle de leur périmètre d'intervention et se sont emparées du sujet depuis plusieurs années en mettant en place de nombreuses actions. Néanmoins, les difficultés qu'elles éprouvent face aux acteurs infrarégionaux et suprarégionaux interrogent sur leurs marges de manœuvre réelles.

Des capacités d'action régionales conditionnées par des échelons infra et supra

Les Régions, à travers des feuilles de route hydrogène, souhaitent se positionner comme acteurs clés de la planification des infrastructures de production et de distribution de l'hydrogène. Dans cette optique, elles élaborent des projets, comme Zero Emission Valley ou Corridor H₂, qui visent à implanter des stations de distribution sur le périmètre régional près des grands axes routiers et proches des lieux de consommations. Elles projettent également le développement de quelques électrolyseurs afin de produire de l'hydrogène pour subvenir aux différents besoins du territoire (mobilité et industrie).

En prenant des parts dans des sociétés de projet, soit directement comme c'est le cas de la région Auvergne-Rhône-Alpes avec la société Himpulsion, soit indirectement à travers une agence régionale comme en Occitanie, les Régions cherchent à piloter le développement d'infrastructures de production et de distribution. Elles détiennent ainsi des moyens pour intervenir dans des domaines sur lesquelles elles ne disposent d'aucune compétence (production et distribution d'énergie) et permettre la mise en œuvre de leur vision du déploiement de l'hydrogène. Dans ce contexte, des acteurs publics comme privés sollicitent leur soutien financier mais également politique, dans la mesure où l'engagement politique du président régional est perçu, par certains, comme une assurance pour faire émerger la filière. Ainsi, les Régions s'appuient à la fois sur des « ressources institutionnelles » (gestion des fonds européens, création de SAS) mais également sur le « leadership politique » de leur président pour porter le sujet (Kernalegenn & Pasquier, 2018).

Les exemples de la Région Auvergne-Rhône-Alpes et de l'Occitanie montrent que les projets et plans régionaux ne prennent que très peu en compte l'avis et les besoins des collectivités

infrarégionales. Les décisions concernant la répartition spatiale des infrastructures sont prises par la Région et les besoins et ressources des territoires infrarégionaux n'apparaissent pas dans les critères.

Les capacités d'action des Régions sont néanmoins limitées. En effet, ces dernières se retrouvent confrontées à la nécessité de susciter l'adhésion des collectivités infrarégionales pour développer leurs projets, dans la mesure où de nombreuses compétences, notamment en termes de mobilité urbaine, sont détenues par les échelons infrarégionaux. Cette recherche de soutien donne lieu à la mise en place de mécanismes pour intéresser ces dernières à prendre part au projet régional (appels à projets régionaux, subventions, accompagnement dans la création de projets, etc.). Les Régions s'appuient alors sur certains acteurs (pôles de compétitivité ou agences régionales) pour décliner leurs actions et animer le sujet sur le territoire afin d'inciter les collectivités infrarégionales à participer (acquisition de véhicules, assistance dans l'implantation de stations hydrogène).

Néanmoins, l'adhésion de ces dernières reste incertaine et dépend notamment des jeux politiques, ce qui peut donner lieu à des situations de blocage. Le cas de la Région Auvergne-Rhône-Alpes et de la Métropole du Grand Lyon a montré les difficultés, pour la Région, de mettre en place le projet ZEV dans le territoire métropolitain. Les ambitions divergentes et les oppositions politiques entre ces deux institutions rendent difficile la capacité à la Région de faire adhérer la Métropole à sa vision du déploiement de l'hydrogène et à l'alignement des différentes stratégies. La Métropole préfère en effet développer son propre projet hydrogène tourné vers les usages industriels.

Ces oppositions politiques sont notamment mises en avant par Marchand et Poupeau (2021) dans leur analyse des schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires. Ils considèrent que la relation avec les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), comme les Métropoles, est « ambiguë » en termes de planification énergétique. Les auteurs montrent qu'à l'échelle des services techniques et administratifs, plusieurs acteurs attendent que la Région joue son rôle de chef de file et les accompagne dans la déclinaison des objectifs sur leur territoire. Cependant, cette coopération n'est pas entendue de la même façon à l'échelle politique. Les élus locaux infrarégionaux ne considèrent pas cette intervention régionale comme un élément nécessairement positif et ont recours aux garde-fous législatifs pour empêcher que les Régions n'imposent leurs contraintes. Ces observations font également écho aux limites juridiques mises en avant par Gérardin (2018) concernant la fonction de cheffe de file des Régions. L'absence de prééminence des prérogatives de la Régions sur celle des acteurs infrarégionaux réduit leur capacité à se hisser en tant que *leader* de la transition énergétique.

En plus d'être dépendant de la volonté des échelons infrarégionaux de participer, ou non, à ses projets, l'échelon régional reste tributaire des orientations nationales et européennes. Bien

qu'au départ certaines Régions, comme l'Occitanie et l'Auvergne-Rhône-Alpes, aient été parmi les premières à soutenir l'hydrogène et à proposer des actions en l'absence de directives nationales, la reprise en main par l'État interroge sur leur poids face à ce dernier. L'attente de la publication des appels à projets européens ou nationaux pour décider du calendrier des actions régionales illustre la situation de dépendance vis-à-vis des échelons supra. Ainsi, les Régions semblent suivre les directives nationales sans les remettre en cause ni les contester en proposant des configurations différentes.

Les Régions, des relais de l'action publique nationale ?

Bien que la reprise en main progressive de l'État sur le sujet semble avoir amoindri le positionnement central des Régions, de nombreux acteurs publics et privés cherchent néanmoins à obtenir leur soutien dans certains cas de figure. A titre d'exemple, leur implication est recherchée et attendue dans les appels à projets de l'Ademe, pour lesquels elles sont directement sollicitées par l'État pour cofinancer à ses côtés les projets lauréats. Cette mobilisation ne se limite pas à un pur soutien financier et l'État attend de ces dernières qu'elles assurent aussi la mise en cohérence des différentes initiatives sur son territoire.

Néanmoins, les Régions ne semblent pas endosser ce rôle de coordination. La raison pour laquelle elles ne parviennent pas à assurer cette fonction n'a pas été entièrement élucidée dans le cadre de cette thèse. Outre le fait qu'elles sont fortement dépendantes d'échelons infrarégionaux réduisant leur marge de manœuvre, l'une des explications possibles vient du fait qu'une forte compétition interrégionale autour de l'hydrogène existe. Chaque Région veut pouvoir afficher être la première à mettre en œuvre un projet dans un domaine spécifique. Pour y arriver, elle lance directement ses propres initiatives et investit dans des sociétés de projet aux côtés d'acteurs industriels. En se concentrant sur un projet régional, comme Zero Emission Valley en Auvergne-Rhône-Alpes ou Corridor H₂ en Occitanie, les Régions n'ont pas nécessairement les ressources humaines et financières pour assurer en plus un rôle de coordination.

Dans ce contexte, d'autres acteurs, comme l'AFHYPAC, avec la création de délégations régionales de l'association, ou encore le CSF NSE, interviennent directement au niveau régional pour épauler les Régions dans ce rôle. La présence de ces acteurs fortement impliqués au niveau national amène à se demander s'ils ne viennent finalement pas « doubler », voire se substituer aux Régions.

Ainsi, en cherchant à impliquer les Régions en tant que cofinanceur ou coordinateur, il nous semble que c'est davantage une fonction de relais qui est attendue par les acteurs nationaux. En effet, les besoins des Régions et de leurs feuilles de route ne sont pas pris en compte dans les orientations fixées par l'État. Si l'État cherche à s'appuyer sur les Régions, c'est plutôt pour déployer la vision qu'il construit de l'hydrogène, et non pour les inclure dans une démarche de co-construction.

Contrairement aux conclusions de François-Mathieu Poupeau (2013) et de Noé Gérardin qui montrent, avec l'exemple des SRCAE, un rôle « partagé » entre l'État et les Régions, nous considérons que, pour le moment, cette situation de co-construction entre ces deux échelons n'existe pas dans le cas de l'hydrogène. Si les Régions ont développé, dans un premier temps, une planification de l'hydrogène à leur échelle, celle-ci ne semble pas prise en compte dans la stratégie étatique. Il a été rapporté plusieurs fois, par quelques agents de l'État, une certaine méconnaissance des ambitions régionales en matière d'hydrogène. Ainsi, l'État élabore à son tour une stratégie pour planifier l'hydrogène, mais qui vient plutôt se superposer à celles des Régions, ne donnant pas lieu à une « co-élaboration » entre ces deux niveaux, comment cela pour être le cas pour le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie. Néanmoins, la dynamique enclenchée avec l'hydrogène n'en est qu'à ses débuts et laisse penser qu'un schéma de planification du déploiement de l'hydrogène pourrait voir le jour. Reste à savoir à quel échelon ce rôle sera réellement attribué.

Troisième résultat : La construction du déploiement de l'hydrogène ne révèle pas une volonté d'un changement de paradigme énergétique.

Pour ce troisième résultat, nous discutons du contenu et du « sens » de la transition énergétique que véhiculent les configurations sociotechnique successives. Nous considérons que la manière dont est construit le déploiement de l'hydrogène en France résulte d'une démarche de « transitions énergétiques-substitutions », c'est-à-dire qui s'exprime par des « réajustements mineurs du système sociotechnique qui reste inscrit dans le système énergétique dominant » (Duruiseau, 2016). L'hydrogène est alors perçu comme une solution technologique qui ne vient pas perturber le « paradigme énergétique français » (Evard, 2013).

Le déploiement de l'hydrogène, tel qu'il est appréhendé en France, reflète une logique de « solutionnisme technologique »

De nombreux secteurs et acteurs se sont saisis de l'hydrogène comme une solution technologique aux enjeux de décarbonation qui n'entraîne pas une remise en cause profonde des pratiques et des usages des systèmes énergétiques et industriels.

Par exemple, pour le domaine de la mobilité, les véhicules électriques hydrogène sont présentés comme un moyen de décarboner le secteur, tout en gardant les avantages des véhicules thermiques grâce à des caractéristiques similaires (autonomie semblable, temps de recharge à la pompe similaire, etc.). L'hydrogène assure ainsi une sorte de continuité dans la

manière d'appréhender la mobilité. Son déploiement ne demande pas aux utilisateurs de changer leur comportement, contrairement aux véhicules à batterie qui peuvent nécessiter des adaptations compte tenu de l'autonomie plus limitée et des durées de recharge plus longues. L'hydrogène vient donc apporter une réponse technologique à un problème : celui de la décarbonation des transports. Son intégration dans les politiques territoriales ne vient pas influencer la manière dont la mobilité urbaine pourrait être repensée dans une logique plus globale incluant un changement des pratiques de déplacement.

Le cas la mobilité hydrogène rejoint l'idée défendue par Lapostolle (2021) qui estime que cette dernière s'inscrit dans une logique « de solutionnisme technologique ». Il montre que cette démarche cherche à « remplacer les moteurs thermiques par des piles à combustible utilisant l'hydrogène stocké dans des réservoirs spécifiques. Le cadrage techno-économique ne laisse aucune place aux controverses sociotechniques qui pourraient aborder les questions de sobriété énergétique, de mobilités renouvelées » (Lapostolle, 2021, p. 16).

Cette volonté de substituer l'hydrogène aux énergies fossiles s'inscrit dans les référentiels traditionnels, c'est-à-dire la volonté de se conformer aux modes d'organisation et de fonctionnement du système existant (Raineau, 2011). L'hydrogène doit alors répondre aux mêmes standards en termes de puissance et d'efficacité énergétique que ceux des énergies fossiles, ce qui vient finalement contraindre « le monde des possibles » et l'opportunité d'en faire un vecteur de « révolution » (Raineau, 2011). Dans la continuité du modèle énergétique dominant, c'est davantage une logique de l'offre qui perdure c'est-à-dire l'idée d'avoir une production suffisante pour répondre à la demande à tout instant.

Le déploiement de l'hydrogène s'inscrit dans une logique de l'offre et non pas de la demande

Les nouvelles ambitions européennes et nationales appellent à des projets de plus en plus ambitieux en termes de production et de consommation d'hydrogène. La volonté de l'État, et plus spécifiquement des représentants du ministère de l'Économie, de positionner la France comme producteur mondial d'hydrogène vert et de créer une demande massive d'hydrogène engendre ce que nous appelons une « chasse aux usages » aussi bien au niveau des collectivités qu'au niveau des acteurs privés. Il s'agit de répondre à une commande, souvent politique, en atteignant un seuil minimal d'hydrogène produit imposé par les dispositifs nationaux et européens, nécessitant de fait de trouver les usages associés. Les moyens mis en œuvre pour trouver de futurs clients sont multiples (subventions, services, communication et marketing) et présentent l'effort à fournir comme relevant de l'intérêt général pour répondre aux enjeux environnementaux.

Les projets territoriaux d'hydrogène deviennent, comme l'indique Amand (2021, p.100), des « instruments d'un productivisme de la transition » où leur dimensionnement est destiné à répondre aux enjeux de massification de la production et des usages.

Le déploiement de l'hydrogène suit finalement un chemin similaire à celui de l'éolien. Si, au départ, des petites unités de production locales sont installées, rapidement les questions d'effets d'échelle pour réduire les coûts deviennent prégnantes. Ces enjeux économiques se traduisent par la recherche de projets de taille croissante afin d'assurer une meilleure rentabilité et compétitivité à ces derniers (Grimault, 2021). Grimault (2021) montre que cette course au « gigantisme » témoigne de « l'absorption » de l'éolien par les « acteurs dominants du secteur », éloignant la vision « alternative » dont l'éolien était initialement porteur (Evard, 2013, Grimault, 2021).

Cette course au gigantisme en matière de production d'hydrogène interroge sur ses conséquences en termes de gestion des ressources énergétiques. En effet, l'hydrogène n'étant pas une source énergétique, il faut le produire. L'objectif de mettre en place des unités de production de taille de plus en plus importante interroge quant à la disponibilité des sources d'énergie destinées à sa production. Le recours à l'électrolyse de l'eau fait appel à des consommations d'électricité très importantes, voire nécessite la mise en œuvre de nouvelles unités de production électrique, selon les besoins affichés. À titre d'exemple, l'objectif de déployer 100 000 camions à hydrogène en Europe nécessiterait une production d'énergie électrique équivalente à 8 tranches de centrales nucléaire ou encore 12 267 éoliennes de 2 MW. La production d'hydrogène générerait donc une augmentation de la production d'énergie électrique.

Ainsi, les analyses et les observations que nous avons pu faire concernant le déploiement de l'hydrogène sont un élément de compréhension de la thèse défendue par Fressoz (2014) selon laquelle il n'y a jamais eu de transition énergétique dans le passé. D'après l'auteur, l'histoire de l'énergie montre qu'il est plutôt question d'un processus « d'additions successives » des sources énergétiques et qu'il n'a jamais été observé de substitution d'une source d'énergie par une autre (Fressoz, 2014). Les révolutions technologiques ou industrielles n'entraîneraient pas un passage d'une énergie à une autre mais conduiraient plutôt à une accumulation, puisque la consommation des sources d'énergie historiques ne cesse d'augmenter afin de satisfaire les nouveaux usages. Par exemple, la production d'électricité a entraîné une hausse de la demande en charbon ou le développement du chemin de fer a généré un recours massif au bois pour la construction des rails. Il n'est donc pas question de délaissier une forme d'énergie au détriment d'une autre puisque les deux s'avèrent être nécessaires. Rejetant l'idée de rupture à propos de l'évolution des sources énergétiques mobilisées, Fressoz (2021) considère plutôt l'existence de « symbiose » entre les sources énergétiques et les matières premières.

Dans cette perspective, selon l'auteur, le terme de transition n'est pas adapté pour expliquer les changements qui opèrent au niveau du système énergétique et faire face aux enjeux environnementaux et climatiques actuels. Le mot « transition » relève finalement d'un imaginaire historique et génère un déplacement du problème plutôt qu'une tentative de le résoudre (Fressoz, 2014, 2021). La notion de transition masque l'histoire matérielle et cumulative de nos sociétés et « la persistance des systèmes énergétiques anciens » (Fressoz, 2014, p. 2).

Ces différents résultats qui interrogent la « révolution de l'hydrogène » nous permettent finalement de confirmer l'hypothèse générale formulée dans l'introduction.

La trajectoire de l'hydrogène en France ne reflète pas une volonté de faire de l'hydrogène un objet de « révolution » mais plutôt un objet de « substitution » aux énergies fossiles permettant de maintenir le système énergétique dominant.

La trajectoire de l'hydrogène illustre la difficulté d'impulser « une révolution » au sein du secteur énergétique. Les difficultés techniques et économiques rencontrées, les problématisations successives, ainsi que la reprise en main du sujet par les acteurs traditionnels du secteur dominant sont autant de facteurs qui participent à réduire les possibilités de transformation plus radicales de ce secteur.

L'intégration de ce vecteur énergétique dans un régime énergétique dominant régulé par des normes techniques, économiques et institutionnelles donne lieu à des recadrages dans la manière d'appréhender l'hydrogène. Ces recadrages se traduisent, dans un premier temps, par une reformulation de l'objet technique en lui-même, dans la mesure où l'hydrogène passe d'un statut de vecteur de stockage à un statut de vecteur de décarbonation puis à celui de levier de réindustrialisation. Les configurations sociotechniques successives ont permis de mettre en exergue la manière dont l'hydrogène a été problématisé et les changements qui ont été apportés aux fonctions qui lui sont associées.

Au début des années 2010, l'hydrogène intéresse pour sa capacité à stocker les énergies renouvelables et à pouvoir être utilisé ultérieurement pour différents usages. Cette problématisation de l'hydrogène illustre l'idée d'inscrire ce vecteur énergétique dans une logique de « *transition-forte* » qui apporterait de nombreux changements au sein du système énergétique (déssectorisation entre secteurs électrique et gazier, décentralisation, production à partir de la demande, etc.).

Néanmoins, la prise en main par les acteurs de la mobilité puis par les Régions et la remise en cause du besoin de stockage par les acteurs du secteur de l'énergie viennent modifier cette

première problématisation. L'accent est davantage mis sur la capacité de décarboner les usages de mobilité pour lesquels la batterie ne convient pas et pour certains secteurs de l'industrie. L'hydrogène devient alors un vecteur de décarbonation et sa fonction de stockage se voit reléguée au second plan.

Enfin, les enjeux liés à la crise économique et industrielle vont renforcer l'idée de considérer l'hydrogène prioritairement pour les secteurs de l'industrie et vont mettre en exergue la possibilité de s'en saisir comme d'un levier de réindustrialisation. L'hydrogène est alors appréhendé comme une filière technologique dont les retombées pour l'industrie française pourraient être bénéfiques. Son déploiement s'inscrit alors dans une logique de croissance verte, dans la mesure où il est considéré comme un facteur favorable au développement économique du pays, mais aussi pour répondre aux enjeux de neutralité carbone. Cette dernière configuration reflète alors une « transition faible », où les enjeux de production et de massification deviennent prégnants.

En passant d'une solution de stockage à celle de décarbonation puis de réindustrialisation, la trajectoire de l'hydrogène marque finalement un passage d'une transition « forte » à transition « faible » au fur et à mesure des problématizations (Duruiseau, 2015).

Dans un second temps, ces recadrages sont visibles au niveau de la gouvernance énergétique avec des dynamiques de recentralisation à l'échelle nationale. Ces processus laissent penser que peu de changements vont être apportés au niveau de la gouvernance du système énergétique, délaissant l'idée initiale de faire de ce vecteur énergétique un moyen de décentralisation et de déssectorisation de l'énergie. En effet, si les territoires sont fortement sollicités pour mettre en œuvre le déploiement, leur marge de manœuvre se voit peu à peu réduite et recadrée par les orientations étatiques. Les Régions, quant à elles, peinent à trouver leur place dans ce système d'acteurs. Entre échelon stratégique et simple relais de l'État, elles sont à la fois contestées par les échelons infra et supra. Elles ne parviennent pas à jouer un rôle de coordinatrices tel qu'il est attendu par les acteurs nationaux.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que la « révolution » de l'hydrogène ne semble pas avoir lieu. Si des changements technologiques sont à prévoir dans les procédés industriels et la mobilité, des modifications en termes de gouvernance, de fonctionnement et de logique ne semblent pas être à l'ordre du jour.

APPORTS THEORIQUES, LIMITES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'approche développée nous a permis de décrire des modèles plus ou moins stabilisés reflétant l'état des positions dominantes à différentes échelles dans la manière d'appréhender

l'hydrogène. L'une des difficultés rencontrées pendant la thèse étant de rendre compte de ces tendances dominantes alors que ce processus était en constante évolution, nous considérons que la notion de configuration sociotechnique a été un moyen utile pour retracer l'action tâtonnante et multi-échelles du déploiement de l'hydrogène. Cette notion mêlant approches sociotechnique et sociopolitique nous a également permis de mettre en avant l'importance de la prise en compte des enjeux techniques, politiques, institutionnels ainsi que des systèmes d'acteurs qui y participent pour rendre compte de la construction d'un objet technique.

Notre travail de recherche présente quelques limites que nous souhaitons aborder à présent. La première concerne l'étude des jeux d'acteurs internes à certaines configurations, qui aurait pu être davantage approfondie. Nous pensons par exemple aux relations entre les acteurs privés ou au sein des services régionaux. En outre, les contraintes temporelles liées au contrat doctoral ne nous ont pas permis d'étudier jusqu'à la finalisation et la mise en fonctionnement des projets hydrogène, ni d'avoir un regard critique *a posteriori* sur les stratégies nationales et régionales élaborées.

Pour finir, nous voudrions dessiner quelques perspectives de recherche. L'analyse d'un déploiement en train de se faire, non stabilisé, nécessite l'actualisation des données et la poursuite de travaux sur le sujet. En effet, des évolutions concernant les projets, l'arrivée de nouveaux acteurs ou encore l'émergence de nouvelles controverses ainsi que l'impact de la crise énergétique n'ont pas pu être intégrés dans l'analyse de la thèse. À titre d'exemple, les dynamiques européennes de l'été 2022 posent la question de la viabilité du modèle français autour des bassins industriels (configuration 3) face à l'autorisation d'importer de l'hydrogène en Europe. Dans cette perspective, il pourrait être intéressant de continuer l'analyse menée à l'échelle nationale et territoriale afin d'analyser les formes de cohabitation ou de domination entre les configurations identifiées et leur devenir.

Outre le prolongement de cette étude, c'est également un changement d'échelle qui pourrait être opéré dans de futurs travaux. L'intégration du cadre européen et notamment des enjeux réglementaires concernant la révision du paquet législatif « Fit for 55 » nous apparaît comme nécessaire dans l'analyse de la trajectoire de l'hydrogène. Si nous avons, à quelques reprises, évoqué brièvement des dynamiques existantes au niveau européen, nous n'avons pas pu analyser en profondeur les enjeux sous-jacents à la réglementation et à la définition des éléments de cadrage législatifs. Un terrain d'étude mené au niveau européen serait alors l'occasion d'appréhender le rôle de la Commission européenne dans l'établissement d'un marché européen de l'hydrogène.

Enfin, d'autres terrains d'étude à l'échelle régionale pourraient être menés. Il nous semble qu'une étude approfondie analogue à celle réalisée en Auvergne-Rhône-Alpes permettrait d'explorer les similarités et différences interrégionales dans la manière d'appréhender

l'hydrogène. Cela serait également l'occasion d'analyser davantage le rôle de ces échelons dans la régulation de l'hydrogène. En effet, la logique autour des bassins industriels et la possible désignation de zones prioritaires pour le déploiement d'infrastructures hydrogène interrogent sur la réception de ce recadrage par les Régions qui seront visées, ou non, par ces orientations. Une perspective pourrait être d'étudier plusieurs Régions, dont certaines sont directement impliquées dans ces visions industrielles, et d'autres qui apparaissent, pour le moment, à la marge de cette démarche.

Bibliographie

Littérature académique

Achard, A. (2019). *Analyse de la politique industrielle de la Région Nouvelle-Aquitaine : Apports des méthodes quantitatives et qualitatives*. Université de Bordeaux.

Akrich, M. (1987). *Comment décrire les objets techniques ?*

Akrich, M. (1989). La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques. *Anthropologie et Sociétés*, 13(2), 31-54.

Amand, R. (2021). *Hydrogène et transition énergétique : Analyse socio-anthropologique d'une trajectoire régionale*. l'Harmattan.

Audet, R. (2016). Le champ des sustainability transitions : Origines, analyses et pratiques de recherche. *Cahiers de recherche sociologique*, 58, 73-93.

Aykut, S. C., & Evrard, A. (2017). Une transition pour que rien ne change ? Changement institutionnel et dépendance au sentier dans les « transitions énergétiques » en Allemagne et en France. *Revue internationale de politique comparée*, Vol. 24(1), 17-49.

Aykut, S. C., Evrard, A., & Topçu, S. (2017). Avant-propos. Au-delà du consensus : l'impératif de la « transition énergétique » à l'épreuve du regard comparatif. *Revue internationale de politique comparée*, 24(1-2), 7-15.

Bailleux, C. (1996a). Histoire de l'électrolyse alcaline de l'eau de ses débuts à nos jours. *Bulletin d'histoire de l'électricité*, 27(1), 19-33.

Bailleux, C. (1996b). Histoire de l'électrolyse alcaline de l'eau de ses débuts à nos jours. *Bulletin d'histoire de l'électricité*, 27(1), 19-33.

Banos, V., & Dehez, J. (2015). Les trajectoires du bois-énergie en Aquitaine : Du développement local aux territoires de l'énergie ? *Géocarrefour - Revue de géographie de Lyon*, 90(4), 329-338.

Barbier, R., & Nadaï, A. (2015). Acceptabilité sociale : Partager l'embarras. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 15 Numéro 3, Volume 15 Numéro 3.

Béal, V., Epstein, R., & Pinson, G. (2015). La circulation croisée. Modèles, labels et bonnes pratiques dans les rapports centre-périphérie. *Gouvernement et action publique*, VOL. 4(3), 103-127.

Belot, R., & Picard, F. (2014). The Three Ages of Fuel Cell Research in France : A Socio-Technical System's Resistance to Change. *Fuel Cells*, 14(3), 525-532.

- Bento, N. (s. d.). *La transition vers une économie de l'hydrogène : Infrastructures et changement technique*. 424.
- Bertrand, F., & Richard, E. (2013a). *Analyse de la construction des politiques régionales face aux changements climatiques*. 33.
- Bertrand, F., & Richard, E. (2013b). *Analyse de la construction des politiques régionales face aux changements climatiques*. Peter Lang.
- Beslay, C., & Zélem, M.-C. (Éds.). (2019). *Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques sociales*. CNRS Éditions.
- Bidet-Mayer, T., & Toubal, L. (2013). *À quoi servent les filières ?* Transvalor-Presses des Mines la Fabrique de l'industrie.
- Bleischwitz, R., & Bader, N. (2010). Policies for the transition towards a hydrogen economy : The EU case. *Energy Policy*, 38(10), 5388-5398.
- Bourdin, S., Nadou, F., & Raulin, F. (2019). Les collectivités locales comme acteurs intermédiaires de la territorialisation de la transition énergétique : L'exemple de la méthanisation. *Geographie, économie, société*, Vol. 21(4), 273-293.
- Boussaguet, L., Jacquot, S., Ravinet, P., Muller, P., & Hall, P. A. (2014). *Dictionnaire des politiques publiques* (4e éd. précédée d'un nouvel avant-propos). Presses de la Fondation nationale des sciences politiques.
- Boutaud, B. (2016). *Un modèle énergétique en transition ?*
- Boutaud, B. (2019). L'autonomie énergétique territoriale : Une problématique juridique. In *Les territoires de l'autonomie énergétique*.
- Boy, D., Brugidou, M., Denord, F., Evrard, A., Gaultier-Voituriez, O., Halpern, C., Lascoumes, P., Pollard, J., & Sénit, C.-A. (s. d.). *LE GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT : ACTEURS, DISCOURS, EFFETS*. 493.
- Briday, R. (s. d.). *Le SRCAE d'Île-de-France. Ou l'épineuse territorialisation des objectifs nationaux de transition énergétique*. 47.
- Brouard, S., Gougou, F., Guinaudeau, I., & Persico, S. (2013). Un effet de campagne. Le déclin de l'opposition des français au nucléaire en 2011-2012. *Revue française de science politique*, 63(6), 1051-1079.
- Buessler, S. (2020). *Transition énergétique vers la durabilité : Implications territoriales de trois modèles de transition énergétique et analyse du modèle français appliquée au secteur résidentiel existant* [Theses, Université de Strasbourg].
- Buclet, N. *Écologie industrielle et territoriale : Stratégies locales pour un développement durable*, Presses universitaires du Septentrion, 2011, 310.
- Callon, M. (1979). L'État face à l'innovation technique : Le cas du véhicule électrique. *Revue française de science politique*, 29(3), 426-447.

- Callon, M. (1986). Eléments 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 (1940/1948-)*, 36, 169-208.
- Chailleux, S., & Hourcade, R. (2021). Dossier « Politiques locales de l'énergie : Un renouveau sous contraintes » – Introduction. Politiques locales de l'énergie : un renouveau sous contraintes. *Natures Sciences Sociétés*, 29(1), 3-12.
- Chanard, C. (2011). *Territoire et énergie : Politiques locales, échelles d'intervention et instruments de mobilisation, de connaissance et d'action* [These de doctorat, Besançon].
- Chevallier, J. (2004). L'Etat régulateur. *Revue française d'administration publique*, n° 111, 473-482.
- Chevallier, J. (2007). L'Etat stratège. In *Le Temps de l'Etat. Mélanges en l'honneur de Pierre Birnbaum* (p. 372-285). Fayard.
- Cohen, É. (2020). La souveraineté industrielle au révélateur du COVID-19. *Politique étrangère, Automne*(3), 71-83.
- Cointe, B. (2016a, juin). Les tarifs d'achat, un instrument de “ transition ” ? Le cas du photovoltaïque. *Approches Critiques de la Transition Energétique en Sciences Sociales*.
- Cointe, B. (2016b, juin). Les tarifs d'achat, un instrument de “ transition ” ? Le cas du photovoltaïque. *Approches Critiques de la Transition Energétique en Sciences Sociales*.
- Collin, P. M., Livian, Y.-F., & Thivant, E. (2016). VIII. Michel Callon et Bruno Latour. La théorie de l'Acteur-Réseau. In *Les Grands Auteurs en Management de l'innovation et de la créativité* (p. 157-178). EMS Editions.
- Cranois, A., & Baron, N. (2015). Les projets d'électromobilité dans les territoires ruraux : L'appropriation d'une innovation entre continuité et changement. *Géocarrefour*, 90(90/4), 307-315.
- Cranois Aude. (2017). *De l'automobilité à l'électromobilité : Des conservatismes en mouvement ? La fabrique d'une politique publique rurale entre innovations et résistances* [Université Paris Est].
- Cuntigh, P., Jullien, B., & Smith, A. (2005). Le contenu politique des régulations sectorielles et les méfaits de sa dénégation : Le cas de la gestion publique des produits palmipèdes périgourdins. *Politiques et Management Public*, 23(3), 175-196.
- Damette, O., Cremel, M., Demaie, H., & Lemoine, F. (2020a). Les enjeux économiques de la filière hydrogène : Une solution pour la transition énergétique ? *Mondes en développement*, 192(4), 89-101.
- Damette, O., Cremel, M., Demaie, H., & Lemoine, F. (2020b). Les enjeux économiques de la filière hydrogène : Une solution pour la transition énergétique ? *Mondes en développement*, 192(4), 89-101.
- Debizet, G. (s. d.). *Assemblage socio-énergétique et transitions bas-carbone urbaines*. 182.

- Déchaux, J.-H. (1995). Sur le concept de configuration : Quelques failles dans la sociologie de Norbert Elias. *Cahiers Internationaux de Sociologie*, 99, 293.
- Defeuilley, C. (2014). Portrait d'entreprise. La transition énergétique - 1. *Flux*, 95(1), 65-76.
- Dehez, J., & Banos, V. (2017). Territorial development in the face of energy transition. The case of wood biomass in Southwest France. *Géographie, économie, société*, 19(1), 109-131.
- Depret, M.-H., & Hamdouch, A. (2015). Le déploiement des écosystèmes industriels et d'innovation dans le business vert. Fondements et éclairages à partir du cas des pôles de compétitivité de l'énergie en France. *Revue d'économie industrielle*, 152, 152.
- Douillet, A.-C. (2013). Le territoire objet de politiques publiques : Logiques de constitution des espaces de développement promus par les politiques de développement territorial. In Y. Jean & C. Calenge (Éds.), *Lire les territoires* (p. 39-54). Presses universitaires François-Rabelais.
- Dupuis, N. (2019). L'acceptabilité sociale de l'hydrogène et son processus de co-construction, un enjeu pour la transition énergétique dans les territoires. *E.D. n*, 297.
- Durand, L., & Landel, P.-A. (2015). L'émergence de l'opérateur territorial de l'énergie. *Géocarrefour*, 90(90/4), 361-369.
- Duruiseau, K. (2016). *L'émergence du concept de transition énergétique. Quels apports de la géographie ?* Aix-Marseille.
- Duvoux, N. (2022). *Configuration*.
- Elias, N. (1981). *Qu'est-ce que la sociologie ?* (Pocket).
- Epstein, R. (2005). Gouverner à distance. Quand l'Etat se retire des territoires. *Esprit*.
- Epstein, R. (2015). La gouvernance territoriale : Une affaire d'État La dimension verticale de la construction de l'action collective dans les territoires. *L'Année sociologique*, 65(2), 457-482.
- Evrard, A. (2013). *Contre vents et marées*. Presses de Sciences Po.
- Evrard, A. (2014). Les énergies renouvelables et l'électricité. *Ecologie politique*, N°49(2), 67-80.
- Fontaine, A. (2018). *De la source à la ressource : Territoires, héritages et coopération autour de la valorisation de l'énergie solaire en Rhône-Alpes*. Université Grenoble Alpes.
- Gabillet, P. (2015). *Les entreprises locales de distribution à Grenoble et Metz : Des outils de gouvernement énergétique urbain partiellement appropriés*. Université Paris-Est.
- Gaglio Gérard. (2011). *Sociologie de l'innovation*. Presses universitaires de France.
- Galich Ante. (2015). *European Union Research and Innovation Policy : The Co-production of Policy and Expertise in the Case of Hydrogen and Fuel Cell Technologies*. Université du Luxembourg.
- Gallez, C. (2018). Analyser politique et savoir en action. Éclairages à partir du cas de la couverture de l'A6b. *Métropoles*, 22.

- Gerardin, N. (s. d.). *Vers une centralité de la Région ? Émergence et affirmation du rôle de la Région Île-de-France en matière climat-air-énergie*. 479.
- Gras, A. (1997). *Les macro-systèmes techniques* (1. éd). Presses universitaires de France.
- Grimault, J. (2021). Spatialisation et territorialisation du grand éolien en France : Le gigantisme contre l'utopie ? *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 97(4), 4.
- Guillemot, H. (2020). 2 degrés, 1.5 degrés, neutralité carbone \ldots Petite histoire des objectifs climatiques à long terme. In *Droit et changement climatique. Regards croisés à l'interdisciplinaire* ", M. Torre-Schaub (ed.), éditions Mare et Martin.
- Halpern, C., Lascoumes, P., Le Galès, P., & Institut d'études politiques de Paris (Éds.). (2014). *L'instrumentation de l'action publique : Controverses, résistances, effets*. Sciences Po Les Presses.
- Hassenteufel, P. (2011). *Sociologie politique : L'action publique*. Armand Colin.
- Hisschemöller, M., Bode, R., & van de Kerckhof, M. (2006). What governs the transition to a sustainable hydrogen economy? Articulating the relationship between technologies and political institutions. *Energy Policy*, 34(11), 1227-1235.
- Hourcade, R., & Van Neste, S. (2019). Où mènent les transitions ? Action publique et engagements face à la crise climatique. *Lien social et Politiques*, 82, 4-26.
- Joly, P.-B. (2015). Le régime des promesses technoscientifique. In *Pourquoi tant de promesses* (p. 316). Hermann.
- Jullien, B., & Smith, A. (2012). Le gouvernement d'une industrie : Vers une économie politique institutionnaliste renouvelée. *Gouvernement et action publique*, 1(1), 103.
- Jusot, F., & Wittwer, J. (2022). L'impact économique de la crise du Covid-19. *ADSP*, 117(1), 50-52.
- Kernalegenn, T., & Pasquier, R. (2018). Les régions contre l'État ? Capacité politique et fragmentation territoriale en Europe. *Droit et société*, 98(1), 71-89.
- Klebaner, S., & Assogba, G. (2018). Quelle cohérence pour la politique française de filières ? Les décalages entre la filière solidaire telle qu'elle devrait être et ce qu'elle est. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, 23, 23.
- Labussiere, O. (2014). Au-delà du territoire, spatialités et temporalités de la transition énergétique. *Lettre de l'I-Tese*, 21, 11.
- Labussière, O., & Nadaï, A. (2015). *L'énergie des sciences sociales*. Alliance Athena.
- Labussière, O., & Nadaï, A. (Éds.). (2018). *Energy Transitions*. Springer International Publishing.
- Lapostolle, D. (2021). Analyser les trajectoires territoriales de transition énergétique. *VertigO : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement, Hors-série 34*.

- Lascoumes, P. (2007). Les instruments d'action publique, traceurs de changement : L'exemple des transformations de la politique française de lutte contre la pollution atmosphérique (1961-2006). *Politique et Sociétés*, 26(2-3), 73-89.
- Lascoumes, P., & Le Bourhis, J.-P. (1998). Le bien commun comme construit territorial. Identités d'action et procédures. *Politix. Revue des sciences sociales du politique*, 11(42), 37-66.
- Lascoumes, P., & Simard, L. (2011). L'action publique au prisme de ses instruments. *Revue française de science politique*, 61(1), 5-22.
- Latour, B. (1992). *Aramis ou l'amour des techniques*. La Découverte, Paris.
- Le Gales, P. (1995). Du gouvernement des villes à la gouvernance urbaine. *Revue française de science politique*, 45(1), 57-95.
- Lemoine-Schonne, M. (2016). La flexibilité de l'Accord de Paris sur les changements climatiques. *Revue juridique de l'environnement*, 41(1), 37-55.
- Lenglet, J. (2020). *Quand la filière sort du bois : Les nouvelles dynamiques territoriales des ressources et des proximités au sein du secteur forêt-bois : Construction de stratégies alternatives dans les massifs des Vosges et du Jura*. Université Paris I Panthéon-Sorbonne.
- Leprêtre, N. (2016). *Les transformations de l'action publique au prisme des réseaux électriques intelligents. Le cas des expérimentations de smart communities au Japon*.
- Leurent, F., & Windisch, E. (2011). Triggering the development of electric mobility : A review of public policies. *European Transport Research Review*, 3.
- Marchand, M., & Poupeau, F.-M. (2021, juillet 10). *Planning energy-climate without power ? French Regions and the making of the regional schemes for the planning and sustainable development of territories (SRADDET)*. 26ème Congrès de l'IPSA (International political science association), Panel « Subnational climate governance », Session RC 30 : Comparative public policy.
- Menanteau, P., Quéméré, M.-M., Duigou, A. L., & Bastard, S. L. (s. d.). *Une analyse économique de la production d'hydrogène à partir d'électricité éolienne pour des usages transport*. 21.
- Meunier, G., & Ponsard, J.-P. (2020). *Quelles politiques publiques pour la filière hydrogène ? Les enseignements tirés du cas des bus urbains*. 8.
- Moliner, R., Lázaro, M. J., & Suelves, I. (2016). Analysis of the strategies for bridging the gap towards the Hydrogen Economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(43), 19500-19508.
- Morvan, Y. (1983). « La politique industrielle française depuis la Libération : Quarante années d'interventions et d'ambiguïtés ». *Revue d'économie industrielle*, 23(1), 19-35.
- Muller, E. (2021). Les Régions : Chefs de file du déploiement de l'hydrogène en France ? *Pouvoirs Locaux*, 1191, 85-92.
- Muller, P. (2005). Esquisse d'une théorie du changement dans l'action publique. *Revue française de science politique*, Vol. 55(1), 155-187.

- Muller, P. (2010). *Les politiques publiques*. Presses Univ. de France.
- Nadaï, A., & Debourdeau, A. (2019). Actions, séquences, épreuves de transition dans les Crêtes Pré-Ardenaises (CCPA). In C. Beslay & M.-C. Zélem (Éds.), *Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques sociales* (p. 139-147). CNRS Éditions.
- Nadaï, A., & Labussière, O. (2009). Wind power planning in France (Aveyron), from state regulation to local planning. *Land Use Policy*, 26(3), 744-754.
- Nadaï, A., & Labussière, O. (2014). Dossier « Territoires en transition environnementale » – Recomposer la mer pour devenir offshore : Le projet éolien de Veulettes-sur-Mer. *Natures Sciences Sociétés*, 22(3), 204-218.
- Nadai, A., Labussière, O., Debourdeau, A., Régnier, Y., Cointe, B., & Dobigny, L. (2015). French policy localism : Surfing on 'Positive Energie Territories' (Tepos). *Energy Policy*, 78, 281-291.
- Nicolon, A. (1984). *Le Véhicule électrique : Mythe ou réalité*. Éd. de la Maison des sciences de l'homme.
- Pasquier, R. (2004). *La capacité politique des régions*. PUR.
- Perthuis, C. de. (s. d.). L'hydrogène sera vraiment révolutionnaire si il est produit à partir des renouvelables. *The Conversation*. Consulté 23 novembre 2022, à l'adresse
- Pestre, D. (2006). *Introduction aux Science studies* (1er tirage). La Découverte.
- Picard, F., & Rey, B. (2019). Diffusion socio-technique de la pile à combustible en France : Éléments d'appréciation à partir du regard des chercheurs. In C. Beslay & M.-C. Zélem (Éds.), *Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques sociales* (p. 205-212). CNRS Éditions.
- Picard, F., & Tanguy, C. (2017). *Innovation et transition techno-écologique*. ISTE Group.
- Poupeau, F.-M. (2013). Quand l'État territorialise la politique énergétique. L'expérience des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie. *Politiques et management public*, Vol 30/4, 443-472.
- Poupeau, F.-M. (2014). Central-Local Relations in French Energy Policy-Making : Towards a New Pattern of Territorial Governance. *Environmental Policy and Governance*, 24(3), 155-168.
- Poupeau, F.-M. (2020). Everything must change in order to stay as it is. The impossible decentralization of the electricity sector in France. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109597.
- Poupeau, F.-M., & Boutaud, B. (s. d.). *La transition énergétique, un nouveau laboratoire de l'action publique locale?* 10.
- Quenault, B. (2020). Transition énergétique et durabilité des trajectoires de développement : Vers un simple ajustement à la marge ou une transformation de rupture ? *Mondes en développement*, n° 192(4), 45-70.

- Raineau, L. (2011). What can we expect from renewable energies? *Natures Sciences Societes*, 19(2), 133-143.
- Renouard, A.-C. (2020). Les régions face au défi climatique : Déterritorialisation des problèmes, reterritorialisation des dispositifs dans les schémas régionaux climat air énergie. *Pole Sud*, 52(1), 113-127.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of Innovations*. Free Press of Glencoe.
- 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*, N° 92(2), 47-61.
- Rutherford, J., & Coutard, O. (2014). *Urban energy transitions : Places, processes and politics of socio-technical change*. Direction de numéro spécial de la revue *Urban Studies* (Vol. 51, Numéro 7).
- Rutherford, J., & Coutard, O. (2015). Vers l'essor de villes post-réseaux : Infrastructures, changement sociotechnique et transition urbaine en Europe. In *Quand l'innovation fait la ville durable*.
- Shove, E., & Walker, G. (2007). Caution! Transitions Ahead: Politics, Practice, and Sustainable Transition Management. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39(4), 763-770
- Simoncini, N. (2018). *Histoire de la recherche sur les piles à combustible en France des années soixante aux années quatre-vingt*. Université de technologie de Belfort Montbéliard – Université de Bourgogne-Franche-Comté.
- Star S.L., Griesemer J. (1989), Institutionnal ecology, 'Translations', and Boundary objects: amateurs and professionals on Berkeley's museum of vertebrate zoologie, *Social Studies of Science*, 19(3): 387-420.
- Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2009). Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(24), 9639-9654
- Takam, E. N. (2021). Technologies de l'hydrogène comme vecteur de reconfiguration (géo)politique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 34, Hors-série 34.
- Tlili, O. (s. d.). *Hydrogen systems : What contribution to the energy system ? Findings from multiple modelling approaches*. 295.
- Topçu, S., & Yalçın-Riollet, M. (2017). La transition énergétique turque : Analyseur d'un nouveau régime politique ? *Revue internationale de politique comparée*, 24(1-2), 127-157.
- Torre, A. (2009). Retour sur la notion de Proximité Géographique. *Géographie, économie, société*, 11(1), 63-75.

Trompette, P., & Vinck, D. (2009). Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3, 1(1), 5-27.

Veltz, P. (2022). Bifurcation écologique et économie désirable. *Futuribles*, 447(2), 5-20. Cairn.info.

Villareal, A. (2014). *L'industrie automobile à l'épreuve des voitures électriques : Entre changement et continuité*. Université de Bordeaux.

Villareal—*L'industrie automobile à l'épreuve des voitures él.pdf*. (s. d.). Consulté 1 juillet 2021, à l'adresse

Wernert, C. (2012). *L'historicité de la transition énergétique bas carbone : Analyse comparée des politiques énergie-climats locales en France et en Allemagne*.

Rapports institutionnels

ADEME. (2011). *Feuille de route stratégique : L'hydrogène énergie et les piles à combustibles*.

ADEME. (2015). *Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations. Synthèse technique et synthèse de l'évaluation macro-économique*.

ADEME. (2018a). *Fiche technique—L'hydrogène dans la transition énergétique*.

ADEME. (2018b). *Les avis de l'ADEME - Le vecteur hydrogène dans la transition énergétique*.

Ademe (2020a). *Rendement de la chaîne hydrogène : Cas du « power-to-H2-to-power »*.

ADEME. (2020b). *Analyse du cycle de vie relative à l'hydrogène : Production d'hydrogène et usage en mobilité légère* (p. 201).

ADEME. (2022). *Transition(s) 2050 : Choisir maintenant, agir pour le climat. Synthèse du rapport*. (p. 23).

ADEME, GRT Gaz, & GRDF. (2014). *Etude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire*.

CEA, & DGEC. (2018). *Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*. MTES.

Chambolle, Thierry, M., Florence. (2004). *Les nouvelles technologies de l'énergie*.

CNCCEF. (2019). *Hydrogène : L'heure est venue*.

Conseil National de l'Industrie. (2020). *Faire de la France une économie de rupture technologique—Pacte productif*.

Dehecq, J.-F. (2010). *Etats généraux de l'industrie, rapport final*. (p329).

Durville, J.-L., Gazeau, J.-L., Nataf, J.-M., & Legait, B. (2015). *Filière hydrogène énergie—CGEDD - CGE* (p. 161).

- European Commission (Éd.). (2006). *European fuel cell and hydrogen projects : 2002 - 2006*. Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission. (2007a). *European funded Research on Hydrogen and Fuel Cells : Review – Assessment – Future Outlook*. 52.
- European Commission. (2007b). *European Hydrogen & Fuel Cell Platform—Implementation Plan*.
- European Commission, Energy, D.-G. for, Transport, Research, D.-G. for, & Innovation. (2003). *Hydrogen energy and fuel cells : A vision of our future : Final report of the High Level Group*. Publications Office.
- European Commission. (2019). *Strategic Forum for Important Projects of Common European Interest : strengthening strategic value chains for a future-ready EU industry*. 2019.
- FCH-JU. (2011). *Multi—Annual Implementation Plan*. 42.
- FCH-JU, F. (2014). *Multi—Annual Work Program 2014*. 79.
- Fondation Nicolas Hulot pour la nature et l'homme. (2020). *Les conditions de déploiement de l'hydrogène en France*.
- Galley, R., & Gatignol, C. (2003). *Les perspectives offertes par la pile à combustible*. OPESCT.
- GRT Gaz. (2019). *Conditions techniques et économiques d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel* (p. 46).
- GRT Gaz, & Terega. (2022). *Consultation nationale des acteurs du marché de l'hydrogène bas carbone et renouvelable* (p. 33).
- Hydrogen Council. (2017). *How hydrogen empowers the energy transition* (p. 28).
- Hydrogen Council. (2020). *Path to Hydrogen Competitiveness : A cost perspective*.
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen : Executive Summary and recommendations* (p. 9).
- INERIS. (2014). *Benchmark : Stations-service hydrogène*.
- INERIS. (2016). *Étude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène*.
- Kalinowski, L., & Pastor, J.-Ma. (2013). *L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique ?* OPESCT.
- McKinsey. (2010). *A portfolio of power-trains for Europe : A fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles*. McKinsey.
- Négawatt. (2017). *Synthèse du scénario Négawatt 2017—2050*.
- Robert, C. (2010). Les groupes d'experts dans le gouvernement de l'Union européenne. Bilans et perspectives de recherche. *Politique européenne*, 32(3), 7-38.
- RTE. (2017). *Synthèse du bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande de l'électricité en France : Edition 2017* (p. 44).

RTE. (2020). *La transition vers un hydrogène bas carbone.*

RTE. (2021). *Futurs énergétique 2050 : Principaux résultats.*

Simian, B. (2018). *Le verdissement des matériels roulants du transport ferroviaire en France.*

Littérature grise

ADEME. (2015). *Communiqué de presse Ademe : Un mix 100 % renouvelable ?*

ADEME. (2016a). *Appels à projets Territoires Hydrogène - Cahier des charges.*

ADEME. (2016b). *Ademe & vous, le mag : Hydrogène : un vecteur d'avenir pour les territoires.* 101, 16.

ADEME. (2019). *Appels à projets - Ecosystèmes de mobilité hydrogène - Cahier des charges.*

AFHYPAC. (2014a). *Rapport d'activités de la France sur l'hydrogène et les piles à combustible : Période juin 2012 à novembre 2014* (p. 109).

AFHYPAC. (2014b). *Rapport d'activités de la France sur l'hydrogène et les piles à combustible : Période juin 2012 à novembre 2014.*

AFHYPAC. (2015). *L'hydrogène en France en 2015* (p. 19).

AFHYPAC. (2016a). *Guide méthodologique. Insertion de l'hydrogène dans les territoires : Bonnes pratiques et applications* (p. 20).

AFHYPAC. (2016b). *L'hydrogène en France en 2016* (p. 32).

AFHYPAC. (2016c). *Insertion de l'hydrogène dans les territoires : Bonnes pratiques et applications.*

AFHYPAC. (2017). *L'hydrogène, une réalité dans les territoires.*

AFHYPAC. (2018a). *Développons l'hydrogène pour une économie française—Etude prospective.*

AFHYPAC. (2018b). *L'hydrogène, enjeu national, défis territoriaux* (p. 28).

AFHYPAC. (2019). *Rapport d'activité 2019 : Pour la filière française de l'hydrogène, l'heure est venue !* (p.31).

AFHYPAC. (2020a). *L'hydrogène en France : Une chaîne de valeur à forte valeur ajoutée.*

AFHYPAC. (2020b). *L'hydrogène : Une industrie stratégique.*

AFHYPAC. (2020c). *Manifeste pour un plan national hydrogène ambitieux et cohérent : Les propositions de la filière hydrogène* (p. 36).

AFHYPAC, & Mobilité Hydrogène France. (2020). *Livre blanc : Comment déployer des bus électriques à hydrogène en France ?* (p. 68).

ANR. (2006a). *Appel à Projets de Recherche et d'Innovation 2006 : Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible PAN-H.*

- ANR. (2006b). *Edition 2006 du Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible (PAN-H) : Liste des projets financés.*
- ANR. (2007a). *Edition 2007 du Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible (PAN-H) : Liste des projets financés.*
- ANR. (2007b). *Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible PAN-H : Appels à projets 2007.*
- ANR. (2008a). *Edition 2008 du Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible (PAN-H) : Liste des projets financés.*
- ANR. (2008b). *Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible PAN-H : Appels à projets 2008.*
- ANR. (2009a). *Hydrogene et piles à combustible H-PAC : Édition 2010.*
- ANR. (2009b). *Présentation des projets financés au titre de l'édition 2009 du Programme Hydrogène et piles à combustible.*
- ANR. (2009c). *Programmation 2010 de l'Agence Nationale de la Recherche (p. 307).*
- ANR. (2010). *Présentation des projets financés au titre de l'édition 2010 du Programme Hydrogène et piles à combustible.*
- Assemblée nationale (2019). *Compte-rendu de la mission d'information relative aux freins à la transition énergétique, table ronde du 24 janvier 2019.*
- ATEE. (2020). *Contribution du club Pyrogazéification du 23.12.2020 relative au projet au projet de décret "traçabilité de l'H2 renouvelable et bas-carbone"*
- Becker, É. (2014). *Y a-t-il une place pour l'hydrogène dans la transition énergétique ?* 16.
- CEA. (2012). *Les technologies de l'hydrogène au CEA.*
- Commission européenne (2019, 5 novembre). *Communiqué de presse de la Commission européenne du 5 novembre 2019 : Industrial policy: recommendations to support Europe's leadership in six strategic business areas.*
- Commission européenne (2020, 10 mars). *Communication de la Commission au Parlement européen, au conseil européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions du 10 mars 2020 : Une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe.*
- Commission européenne (2020, 8 juillet). *Document de presse de la Commission Européenne du 8 juillet 2020 : Alliance européenne pour un hydrogène propre.*
- Conseil National de l'Industrie. (2019). *Contrat Stratégique de Filière « Industrie des nouveaux systèmes énergétiques ».*
- Conseil National de l'Industrie. (2021). *Nouveau Contrat stratégique de Filière « Industrie des nouveaux systèmes énergétiques ».*

Présidence de la République. (2021, 12 octobre). *Discours du président de la République à l'occasion de la présentation du plan France 2030, le 12 octobre 2021.*

FNCCR, & AFHYPAC. (2018). *Guide pratique—Déployer les stations hydrogène dans vos territoires.*

France Hydrogène. (2020). *L'hydrogène en France : Edition 2020* (p. 22).

France Hydrogène. (2021). *Trajectoire pour une grande ambition Hydrogène* (p. 36).

France Hydrogène. (2022). *Note de décryptage : Les fuites d'hydrogène.*

Guidehouse. (2021). *Compétitivité de la France : Rôle des infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène.*

Hyway. *Synthèse du bilan de la phase 1 du projet Hyway 2014 – 2017.*

Le Gouvernement. (2014). *La nouvelle France industrielle : Présentation des feuilles de route des 34 plans de la nouvelle France industrielle* (p. 78).

Le Gouvernement. (2016). *Nouvelle France industrielle : Construire l'industrie française du futur.*

Le Gouvernement. (2020). *Appel à manifestation d'intérêt : Projets innovants d'envergure européenne ou nationale sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène*

Le Gouvernement. (2021). *Rapport France 2030.*

Ministère de l'Economie, des Finances et de la Relance. (2021, 30 septembre 2021). *Intervention de Bruno Le Maire au conseil national de l'hydrogène.* Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse <https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/10/1468-intervention-de-bruno-le-maire-conseil-national-de-lhydrogene.pdf>

Ministère de l'Economie, des Finances et de la Relance. (2022, 8 mars). *Communiqué de presse, Bruno Le Maire annonce les 15 projets français sélectionnés pour le PIIEC hydrogène dans le cadre de son déplacement sur le site d'Air Liquide.*

Ministère de l'Economie, des Finances et de la Relance & Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2020). *Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France.*

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat (2016). *Cahiers des charges de l'appel à projets « Territoires Hydrogènes ».*

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat (2016, 17 décembre). *Communiqué de presse du 17 décembre 2016, Ségolène Royal publie la liste des lauréats de l'appel à projets « Territoires hydrogène ».*

Ministère de l'Environnement, de l'énergie et de la mer. (2017). *Dossier de presse : Plan Climat.*

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2018). *Dossier de presse : Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique.*

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2020a). *Stratégie française pour l'énergie et le climat : Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023, 2024-2028* (p. 400).

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2020b). *Stratégie nationale bas-carbone* (p. 192).

Ministère de la Transition Ecologique. (2021a). *Déclaration de Mme Barbara Pompili, ministre de la transition écologique, sur le déploiement des technologies liées à l'hydrogène, Albi le 25 février 2021*. Consulté 22 novembre 2022, à l'adresse <https://www.vie-publique.fr/discours/279163-barbara-pompili-25022021-developpement-technologie-hydrogene>

Ministère de la Transition Ecologique. (2021b). *Synthèse de la consultation préalable du public sur le projet d'ordonnance relative à l'hydrogène, prise en application de l'article 52 de la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat*.

Mobilité Hydrogène France. (2014). *Proposition d'un plan de déploiement national des véhicules hydrogène*.

Négawatt. (2020). *Note de positionnement septembre 2020 : Développer l'hydrogène : Pourquoi et comment ?*

Plateforme française de l'automobile. (2015). *Position technique de la filière : Hydrogène et pile à combustible*.

Plateforme française de l'automobile. (2020). *Position technique de filière : Hydrogène et piles à combustible*.

Région Occitanie. (2019). *Dossier de presse : Avec son plan hydrogène vert, la région Occitanie s'engage pour les énergies du future : 150 M€ dès 2019, pour se positionner comme le leader français*.

Gouvernement. (2021, 30 septembre). *Communiqué du 30 septembre à propos de la troisième réunion du Conseil national de l'hydrogène*. Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/actualite/cp_reunion_du_conseil_national_de_l_hydrogene.pdf

Présidence de la République (2010). *Dossier de presse : conclusion des Etats généraux de l'industrie, jeudi 4 mars 2010 à Marignane (Bouches-du-Rhône)*.

Rifkin, J., Chemla, F., & Chemla, P. (2012). *La troisième révolution industrielle : Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde*. LLL, les Liens qui libèrent.

Rifkin, J., & Guilhot, N. (2002). *L'économie hydrogène : Après la fin du pétrole, la nouvelle révolution économique*. Éd. la Découverte.

Région Auvergne-Rhône-Alpes. (2017, 20 décembre) *Communiqué de presse du 20 décembre 2017 : Zero Emission Valley (ZEV), le plan régional pour le déploiement de l'hydrogène, remporte l'appel à projet européen Blending call 2017*.

Région Auvergne-Rhône-Alpes (2019, 12 juillet). *Communiqué de presse, la Région investit pour construire une station de recharge hydrogène à Moûtiers en Savoie.*

Région Occitanie. (2016). *Dossier de presse de la Région Occitanie, les rencontres régionales sur l'hydrogène, 10 novembre 2016.*

Région Occitanie. (2017a). *Convention de partenariat : Région Occitanie Midi-Pyrénées / ENGIE 2017-2021.*

Région Occitanie. (2017b). *Dossier de la Région Occitanie, Scénario Région à énergie positive de la Région Occitanie / Pyrénées-Méditerranées, juin 2017.*

Région Occitanie. (2017c). *Commission Permanente du 7 juillet 2017 Délibération N°CP/2017-JUILL/07.04 Convention de partenariat entre la Région et ENGIE.*

Région Occitanie. (2019a). *Dossier de presse : Avec son plan hydrogène vert, la région Occitanie s'engage pour les énergies du futur : 150 M€ dès 2019, pour se positionner comme le leader français.*

Région Occitanie. (2019, 25 septembre). *Communiqué de presse « Littoral + » de la Région Occitanie*

Région Occitanie. (2021a). *Cahier des charges de l'appel à projets « Corridor H₂ en Occitanie : de la production à la distribution d'hydrogène vert », Édition 2021.*

Région Occitanie. (2021b). *Dossier de presse « La Région Occitanie pionnière sur le développement de l'hydrogène vert ». 2021.*

Lois et actes juridiques

Article 52—LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. Consulté 25 octobre 2022, à l'adresse https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000039356015

Article 121—LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. (s. d.). Consulté 4 octobre 2022, à l'adresse https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000031047991

LOI n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique, 2005-781 (2005).

LOI n° 2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (1), 2014-58 (2014).

LOI n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République (1), 2015-991 (2015).

LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), 2015-992 (2015).

Ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène

Région Auvergne-Rhône-Alpes. Délibération du 8 juillet 2020 : Annexe 4, Feuille de route Hydrogène pour un « HUB hydrogène Auvergne-Rhône-Alpes »

Région Occitanie : Procès-verbal de l'Assemblée plénière du 27 juin 2019.

Région Occitanie. Délibération du 16 avril 2021 portant sur l'avancement du plan régional pour le développement de l'hydrogène vert.

Sites web

7^e édition des Journées Hydrogène dans les Territoires. (2019). France Hydrogène. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.france-hydrogene.org/publication/7e-edition-des-journees-hydrogene-dans-les-territoires/>

100% d'électricité renouvelable en France ? (2019, novembre 13). *Le Monde de l'Energie*. <https://www.lemondedelenergie.com/100-electricite-renouvelable-en-france/2019/11/13/>

Aperçu de l'amendement. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse https://www.senat.fr/amendements/2018-2019/658/Amdt_331.html

Affaires européennes et OPECST : Table ronde sur la stratégie européenne de l'hydrogène. Assemblée nationale. Consulté 29 novembre 2022, à l'adresse <https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/actualites-accueil-hub/affaires-europeennes-et-opicst-table-ronde-sur-la-strategie-europeenne-de-l-hydrogene>

Bouchard, J., & Vignon, D. (2011, juillet 5). Demain, quels réacteurs nucléaires ? *La Jaune et la Rouge*. <https://www.lajauneetlarouge.com/demain-quels-reacteurs-nucleaires/>

Construire la France de demain. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <http://www.gouvernement.fr/les-priorites/france-relance>

Ecologie : Pourquoi la technologie ne nous sauvera pas ? (2019, mai 15). France Culture. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-grande-table-idees/ecologie-pourquoi-la-technologie-ne-nous-sauvera-pas-1472275>

H2PIYR PRÉSENTE SES RÉSULTATS AUX INSTITUTIONS ET À LA SOCIÉTÉ. H2piyR.(2021) <http://h2piyr.eu/fr/h2piyr-presente-ses-resultats-aux-institutions-et-a-la-societe/>

Filière hydrogène en Occitanie et gazoduc BarMar : Des parlementaires inquiets publient une tribune. (2022, novembre 11). ici, par France Bleu et France 3. <https://www.francebleu.fr/infos/environnement/filiere-hydrogene-en-occitanie-et-gazoduc-barmar-des-parlementaires-inquiets-publient-une-tribune-1668181734>

GUILLEMIN, C. (s. d.). *Air Liquide : « Cela a du sens de concentrer d'abord le développement de l'hydrogène bas carbone sur des bassins industriels majeurs ».* Smart City Mag. Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse <http://www.smartcitymag.fr/article/1048/air-liquide-cela-a-du-sens-de->

[concentrer-dabord-le-developpement-de-lhydrogene-bas-carbone-sur-des-bassins-industriels-majeurs](#)

Hulot recule sur la baisse du nucléaire à 50 % de la production électrique en 2025. (2017, novembre 7). *Le Monde.fr*. https://www.lemonde.fr/energies/article/2017/11/07/nicolas-hulot-reporte-l-objectif-de-baisse-du-nucleaire-de-50-d-ici-a-2025_5211451_1653054.html

Hydrogène Energie. (2014a, novembre 24). *Hydrogène Energie—Pascal Mauberger à la conférence sur l'hydrogène au Sénat du 7 Novembre 2014*. <https://www.youtube.com/watch?v=ciP8kjZatic>

Hydrogène Energie. (2014b, novembre 26). *Hydrogène Energie—Fabio Ferrari—Conférence sur l'hydrogène*. <https://www.youtube.com/watch?v=KtQMs4SvXts>

La baisse du nucléaire à 50 % en 2025, une promesse jamais suivie de moyens. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/11/08/la-baisse-du-nucleaire-a-50-en-2025-une-promesse-jamais-suivie-de-moyens_5212107_4355770.html

La densité énergétique de l'hydrogène : Une propriété unique - Demaco Holland B.V. (s. d.). Demaco Cryogenics. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://demaco-cryogenics.com/fr/blog/la-densite-energetique-de-lhydrogene-une-propriete-unique/>

La valeur ajoutée, qu'est-ce que c'est ? (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.economie.gouv.fr/facileco/definition-valeur-ajoutee>

Le scénario négaWatt : Des hypothèses difficilement envisageables (Tribune). (2018, octobre 2). *Le Monde de l'Energie*. <https://www.lemondedelenergie.com/negawatt-tribune-hypotheses/2018/10/02/>

L'économisme, le solutionnisme technologique et la pensée en silo cadénassent les réflexions sur la transition. (s. d.). Leaders. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.leaders.com.tn/article/33246-l-economisme-le-solutionnisme-technologique-et-la-pensee-en-silo-cadenassent-les-reflexions-sur-la-transition>

Le plan de la « task force » pour la filière hydrogène menée par Air Liquide—23/03/2020. (2020, mars 23). La Lettre A. https://www.lalettrea.fr/entreprises_energie-et-environnement/2020/03/23/le-plan-de-la-task-force-pour-la-filiere-hydrogene-menee-par-air-liquide,108398780-ge0

L'hydrogène dans le monde. (s. d.). France Hydrogène. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.france-hydrogene.org/lhydrogene-dans-le-monde/>

Mix 100 % renouvelable en 2050 : Des projections et des questions- AEFInfo. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.aefinfo.fr/depeche/643070-mix-100-renouvelable-en-2050-des-projections-et-des-questions>

Nationale, A. (s. d.-a). *Affaires européennes et OPECST : Table ronde sur la stratégie européenne de l'hydrogène*. Assemblée nationale. Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse

<https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/actualites-accueil-hub/affaires-europeennes-et-opecst-table-ronde-sur-la-strategie-europeenne-de-l-hydrogene>

Nationale, A. (s. d.-b). *Rapport de la commission des affaires économiques sur le projet de loi, après engagement de la procédure accélérée, relatif à l'énergie et au climat, (n°1908 et lettre rectificative n°, 2032).* (M. Anthony Cellier). Assemblée nationale. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion-eco/115b2063_rapport-fond

Neutralité carbone : La taxonomie européenne en six questions. (s. d.). vie-publique.fr. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.vie-publique.fr/questions-reponses/283166-neutralite-carbone-la-taxonomie-europeenne-en-six-questions>

Objectifs | Plateforme MYRTE | Università di Corsica Pasquale Paoli | Université de Corse Pasquale Paoli. (s. d.). Consulté 29 novembre 2022, à l'adresse https://myrte.universita.corsica/article.php?id_site=15&id_menu=0&id_rub=0&id_cat=0&id_art=3051&lang=fr

Ondulia, la famille comme source d'énergie renouvelable. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.media12.fr/ondulia-la-famille-comme-source-denergie-renouvelable/>

Partenariat dans le domaine des technologies climatiques. (s. d.). [Text]. European Commission - European Commission. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_21_5586

Perthuis, C. de. (s. d.). L'hydrogène sera vraiment révolutionnaire si il est produit à partir des renouvelables. *The Conversation.* Consulté 23 novembre 2022, à l'adresse <http://theconversation.com/lhydrogene-sera-vraiment-revolutionnaire-si-il-est-produit-a-partir-des-renouvelables-145804>

Plan de relance. (s. d.). economie.gouv. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance>

Plan de relance pour l'Europe. (s. d.). [Text]. Commission européenne - European Commission. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_fr

Plan Montagne : Faire d'Auvergne-Rhône-Alpes la première montagne durable d'Europe. (s. d.). Région Auvergne-Rhône-Alpes. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.auvergnerhonealpes.fr/actualites/plan-montagne-faire-dauvergne-rhone-alpes-la-premiere-montagne-durable-deurope>

Pour une approche « colorblind » de l'hydrogène—Le Monde de l'Energie. (s. d.). Consulté 18 novembre 2022, à l'adresse <https://www.lemondedelenergie.com/pour-approche-colorblind-hydrogene-soutenons-formes-renouvelables-bas-carbone/2022/06/17/>

Qu'est-ce que la croissance verte et comment peut-elle aider à assurer un développement durable ? - OCDE. (s. d.). Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse

<https://www.oecd.org/fr/croissanceverte/quest-cequelacroissanceverteetcommentpeut-elleaideraassurerundeveloppementdurable.htm>

Renée, V. (s. d.). *Greenwashing, gaz à effet de serre... L'hydrogène est-il vraiment une énergie verte ?* Révolution Permanente. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <http://www.revolutionpermanente.fr/Greenwashing-gaz-a-effet-de-serre-L-hydrogene-est-il-vraiment-une-energie-verte>

Reporterre. (s. d.-a). *L'hydrogène, trop gourmand en énergie pour être écologique*. Reporterre, le média de l'écologie. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://reporterre.net/L-hydrogene-trop-gourmand-en-energie-pour-etre-ecologique>

Reporterre. (s. d.-b). *Solaire : Quarante ans de mauvais choix politiques*. Reporterre, le média de l'écologie. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://reporterre.net/Photovoltaique-une-filiere-restee-dans-l-ombre>

Stratégies d'accélération pour l'innovation. (s. d.). Gouvernement.fr. Consulté 28 novembre 2022, à l'adresse <https://www.gouvernement.fr/strategies-d-acceleration-pour-l-innovation>

Tribune Des Parlementaires D'occitanie 4 Novembre 2022. Consulté 29 novembre 2022, à l'adresse <https://www.calameo.com/books/00629645273929a901b60>

Un futur pipeline hydrogène dans la Vallée de la Chimie. (s. d.). Région Auvergne-Rhône-Alpes. Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse <https://www.auvergnerhonealpes.fr/actualites/un-futur-pipeline-hydrogene-dans-la-vallee-de-la-chimie>

Val Thorens : Une voiture à hydrogène va tenter d'établir un record sur le circuit de glace. (s. d.). Consulté 17 novembre 2022, à l'adresse <https://www.20minutes.fr/economie/auto/3196451-20211213-val-thorens-une-voiture-a-hydrogene-va-tenter-d-etablir-un-record-sur-le-circuit-de-glace>

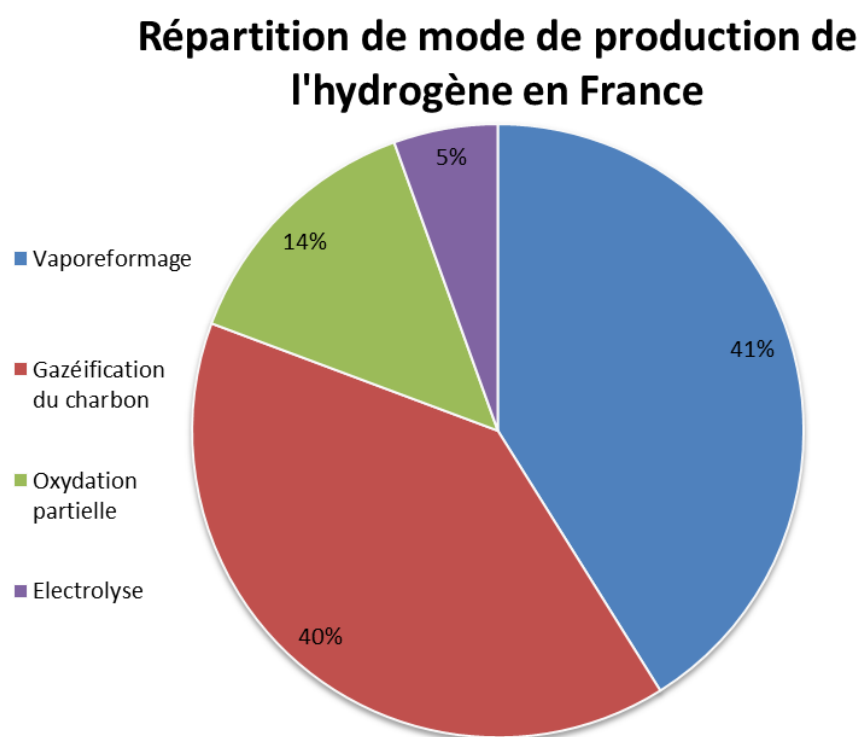
VERON, L. (2022, juillet 7). *Gaz et nucléaire entrent dans la taxonomie verte de l'Union européenne*. *Révolution Énergétique*. <https://www.revolution-energetique.com/gaz-et-nucleaire-entrent-dans-la-taxonomie-verte-de-lunion-europeenne/>

Voiture à hydrogène : La nouvelle Toyota Mirai bat le record de distance. (s. d.). *Automobile Propre*. Consulté 17 novembre 2022, à l'adresse <https://www.automobile-propre.com/breves/voiture-a-hydrogene-la-nouvelle-toyota-mirai-bat-le-record-de-distance/>

Annexes

Annexe 1 : les modes de production de l'hydrogène

Le graphique ci-dessous représenté dans la Figure 31 montre la répartition de la production d'hydrogène en France en fonction des différents modes de production en 2018.



*Figure 31: répartition des différents de production de l'hydrogène en France.
Source ; Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire*

En France, les principaux procédés sont le vaporeformage de gaz naturel, l'oxydation d'hydrocarbures et la gazéification du charbon.

Le vaporeformage, ou reformage à la vapeur d'eau ou SMR (steam methane reforming), consiste à transformer des charges légères d'hydrocarbures (gaz naturel, GPL, naphtha) en gaz de synthèse. Dans la plupart des cas, du gaz naturel est utilisé. Ce un procédé fait réagir du

méthane et de la vapeur d'eau à une température comprise entre 700°C et 1100 °C en présence d'un catalyseur à base de nickel.

L'oxydation partielle des résidus de pétroliers lourds permet de produire de l'hydrogène à partir des résidus de pétroliers lourds contenant du carbone. Il s'effectue à très haute température entre 900°C et 1500°C et à pression élevée entre 20 et 60 bars, sans présence de catalyseur.

Le procédé de gazéification de charbon, à la frontière entre la pyrolyse et la combustion, permet de transformer chimiquement du charbon en gaz de synthèse combustible, appelé syngas, composé majoritairement de monoxyde de carbone et de dihydrogène. A la place du charbon, la biomasse ou des déchets peuvent être utilisés comme combustibles, réduisant ainsi l'impact carbone de l'hydrogène produit.

Le tableau ci-dessous illustre certaines caractéristiques des différents procédés de production de l'hydrogène en France.

Tableau 17 : récapitulatif des caractéristiques des différents modes de production de l'hydrogène. Réalisation : auteure

Procédé	Vaporeformage	Oxydation partielle	Gazéification du charbon	Electrolyse de l'eau
Rendement (taux de récupération de l'hydrogène dans le gaz de synthèse)	98 % pour la méthanation 85 à 90 % pour le PSA	85 à 88%	Donnée non trouvée	Rendement électrique : entre 60 et 80 % selon la technologie utilisée
Emissions de CO ₂ /kg d'hydrogène produit	Environ 10 kg de CO ₂ pour 1 kg d'hydrogène	13 kg de CO ₂ pour 1 kg d'hydrogène	20 kg de CO ₂ pour 1 kg d'hydrogène	Selon l'origine de l'électricité mais si celle-ci est issue d'énergie renouvelable, il n'y a pas d'émissions de CO ₂ associées
Coût	1.5 euros / kg pour une unité de production supérieure à 100 000 Nm ³ /h	Entre 1.5 et 2 euros / kg pour une unité de production supérieure à 100 000 Nm ³ /h	Donnée non trouvée	Très variable selon la technologie utilisée, son dimensionnement et le coût de l'électricité. Généralement admis en France entre 5 et 10 €/kg

Annexe 2 : liste des entretiens menés

Auvergne-Rhône-Alpes	
Organisation	Date
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 1	2 décembre 2019
ENGIE Cofely	2 décembre 2019
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 2	3 décembre 2019
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 3	5 décembre 2019
Compagnie nationale du Rhône	10 décembre 2019
Chambéry Grand Lac	12 décembre 2019
Syndicat d'énergie Auvergne-Rhône-Alpes	16 décembre 2019
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 1	8 octobre 2020
Pôle de compétitivité 1 de la région Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 1	21 octobre 2020
Ville de Moutiers	27 octobre 2020
Saint Etienne Métropole - Agent 1	30 novembre 2020
Ademe Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 1	2 décembre 2020
Saint Etienne Métropole - Agent 2	4 décembre 2020
Hypulsion	7 décembre 2020
Pôle de compétitivité 3 de la région Auvergne-Rhône-Alpes	8 décembre 2020
Métropole du Grand Lyon - Agent 1	10 décembre 2020
Metropole du Grand Lyon - Agent 2	27 janvier 2021
Métropole de Grenoble	5 février 2021
Pôle de compétitivité 1 de la région Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 2	12 février 2021
Ademe Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 2	24 février 2021
Métropole de Grenoble	3 mars 2021
Ville de Moutiers	4 mars 2021
Metropole du Grand Lyon	10 mars 2021
Communauté d'agglomération Cœur de Tarentaise	17 mars 2021
Hypulsion - Agent 1	25 mars 2021
Pôle de compétitivité 2 de la région Auvergne-Rhône-Alpes	26 mars 2021
Compagnie des Alpes	1 avril 2021
Transdev Auvergne-Rhône-Alpes	12 avril 2021
Symbio	19 avril 2021

Hypulsion - Agent 2	27 avril 2021
Compagnie Nationale du Rhône	28 avril 2021
GRT Gaz	28 avril 2021
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes	30 avril 2021
VICAT	4 mai 2021
Chargé de mission innovation métropole de Lyon	4 mai 2021
Pôle de compétitivité 1 de la région Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 3	23 juillet 2021
Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes - Agent 1	1 décembre 2021

Occitanie	
Organisation	Date
Conseil Régional Occitanie - Agent 1	5 novembre 2019
Conseillé régional Occitanie	6 novembre 2019
Ademe Occitanie - Agent 1	6 novembre 2019
Agence régionale de développement économique Occitanie	7 novembre 2019
Agence régionale de l'énergie et du climat Occitanie - Agent 1	7 novembre 2019
Syndicat mixte des déchets du Tarn	13 novembre 2019
Pôle de compétitivité de la région Occitanie	14 novembre 2019
Producteur d'énergie renouvelable	15 novembre 2019
Cabinet de conseil spécialisé en hydrogène	13 décembre 2019
Agence régionale de développement économique Occitanie	22 mai 2020
Montpellier Métropole	25 mai 2020
Conseil régional Occitanie	20 juillet 2020
Hynamics Occitanie	29 septembre 2021
Conseil régional Occitanie - Agent 2	1 octobre 2021
Conseil régional Occitanie - Agent 3	6 octobre 2021
Toulouse Métropole	13 octobre 2021
Agence régionale de l'énergie et du climat Occitanie - Agent 2	5 janvier 2022

National	
Organisation	Date
Président AFHYPAC	29 mars 2019
Conseil général de l'économie	15 avril 2019
Michelin	25 avril 2019
Air Liquide	6 mai 2019
McPhy	7 mai 2019
Plateforme Française de l'Automobile (PFA)	13 mai 2019
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	14 mai 2019
Air Liquide	22 mai 2019
Direction générale des entreprises, ministère de l'Economie	24 mai 2019
Hynamics	31 mai 2019
SNCF	30 septembre 2019
AFHYPAC	29 novembre 2019
Fédération nationale des collectivités concédantes et régies	8 janvier 2020
Directrice transition énergétique Régions de France	10 janvier 2020
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	25 février 2020
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	28 février 2020
Michelin	15 mai 2020
ADEME - Agent 1	2 juin 2020
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	4 juin 2020
CEA	16 juillet 2020
Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking	23 juillet 2020
RTE	29 juillet 2020
GRT Gaz	26 août 2020
ENEDIS	26 août 2020
ENEDIS	30 septembre 2020
ex ENGIE	30 septembre 2020
Président AFHYPAC	2 octobre 2020
France Chimie	9 octobre 2020
Union française des industries pétrolières	12 octobre 2020
CSF NSE	16 octobre 2020
ADEME - Agent 1	20 octobre 2020
Association Technique Energie et Environnement (ATEE) - Agent 1	26 octobre 2020
ENGIE	3 novembre 2020
Air Liquide	20 novembre 2020

Symbio	23 novembre 2020
EDF	24 novembre 2020
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	30 novembre 2020
TOTAL	30 novembre 2020
Commissariat général au développement durable (CGDD)	10 février 2021
ADEME - Agent 2	1 mars 2021
Association Technique Energie et Environnement (ATEE) - Agent 2	9 mars 2021
Association Régions de France	23 mars 2021
Direction générale des entreprises, ministère de l'Economie	30 mars 2021
Conseil général de l'économie	13 avril 2021
Négawatt	21 avril 2021
Direction générale des entreprises, ministère de l'Economie	29 avril 2021
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	30 avril 2021
PFA / Stellantis	30 juin 2021
Secrétariat général pour l'investissement	9 juillet 2021
Direction générale de l'énergie et du climat, ministère de la Transition Ecologique	22 octobre 2021
ENGIE	3 novembre 2021
France Urbaine	17 novembre 2021
Secrétariat général pour l'investissement	21 juillet 2022
Conseil national de l'industrie	26 juillet 2022
France Hydrogène	29 juillet 2022
EDF	4 août 2022

Annexes 3 : exemples de grilles d'entretien

Pour chaque entretien mené, une grille de question spécifique était élaborée en lien avec l'interlocuteur et sa structure. Quelques questions et thématiques générales se retrouvent néanmoins dans plusieurs entretiens.

Questions et thèmes généraux abordés :

- Présentation de l'interlocuteur
- Pouvez-vous m'expliquer vos missions de manière générale et ensuite un peu plus particulièrement celles relatives l'hydrogène ?
- Depuis quand votre structure XX s'intéresse-t-elle à l'hydrogène ? Genèse de cet intérêt ?
- De quelle manière la structure XX s'intéresse à l'hydrogène en termes (usages, production, etc.) ?
- Quelles sont les ambitions portées par XX en matière d'hydrogène ?
- Comment cela s'organise-t-il au sein de la structure XX ?
- Avec quels partenaires publics ou privés travaillez-vous sur le sujet ?
- Qu'entendez-vous par hydrogène « vert » ? A quel(s) mode(s) de production ?

Concernant l'étude d'un projet à destination des acteurs privés ou collectivités territoriales :

- Pouvez-vous me présenter les grandes lignes du projet H2
- Quelle organisation a été mise en place ?
- Quel mode de production est privilégié ? Ce projet H2 s'accompagne-t-il d'un déploiement des ENR ?
- Avec quels partenaires travaillez-vous pour le projet ?
- Avez-vous demandé des subventions pour ce projet ? Si oui, lesquelles ?
- Si projet candidat aux appels à projets de l'Ademe : Comment s'est passé l'élaboration du dossier de candidature à l'appel à projets ? Le projet a-t-il évolué par rapport au cahier des charges de l'ADEME ? Lesquels ? Quelles sont vos relations avec l'Ademe ?
- Votre projet s'inscrit-il dans la feuille de route régionale ? Dans quelle mesure la Région vous accompagne sur ce projet ?

A destination des acteurs publics nationaux :

- Depuis quand l'hydrogène est un sujet au sein de la direction XX ?
- Quels sont les objectifs fixés pour la direction XX concernant l'hydrogène ?
- Quels sont les outils mis en place par XX pour accompagner le déploiement d'une filière ?

- Comment s'organise la task force interministérielle ? Quels sont les sujets abordés ?
- Comment s'est fait le choix d'instaurer cette task force ? Comment a-t-elle vu le jour ?
- Concernant la deuxième stratégie nationale, comment arrive-t-on au choix de d'investir que dans les électrolyseurs pour la production ? Quels ont été les arguments ?
- Quelle est la prise en compte des territoires dans cette stratégie ? A quel niveau ? Quel moyen de consultation a été mis en place ?
- Travaillez-vous directement avec des collectivités sur le sujet hydrogène ?

Concernant les dispositifs d'action publique mis en place :

- Comment s'est construit cet appel à projets ? Quelles sont les attentes ?
- L'appel à projets parle d'écosystème structurant : à quoi cela renvoie-t-il ? Quels critères sont mis en place pour juger si un écosystème est structurant ou non ?
- Comment les seuils de 1MW, plus de 30 t/an ont-ils été décidés ?
- Pourquoi les collectivités territoriales sont-elles autant visées par ce dispositif ? Quel rôle est attendu de leur part ?
- Une mention concerne le contenu local des projets, qu'est-ce que cela sous-entend ?
- Pourquoi le prix de 9euros/kg ? Comment cela a-t-il été calculé ?
- Concernant l'AMI publié en janvier 2021, comment est-on passé de l'AMI à la deuxième stratégie nationale ? Concrètement comment cela s'est-il passé ? Quels critères ont été pris pour classer les candidatures ?
- Pour l'IPCEI, quels critères sont pris en compte et comment sont évalués les projets ?

A destination des Régions :

- Présentation de la feuille de route régionale
- Comment s'organise le sujet hydrogène au sein du Conseil régional ? Avec quelles autres directions travaillez-vous ?
- Avec quels autres partenaires (pôle de compétitivité, agences régionales) travaillez-vous sur le sujet ?
- Quels sont les projets sur lesquels la Région est impliquée ? De quelle manière est-elle impliquée ?
- Quelles sont les actions mises en place par la Région sur l'hydrogène ? Quels dispositifs ?
- Avez-vous adapté vos actions suite aux annonces faites par le gouvernement en septembre 2020 sur la nouvelle stratégie hydrogène ? Si oui, de quelle manière ?
- Comment travaillez avec les collectivités infrarégionales sur le sujet ? Et avec les services de l'Etat ?