Modéliser le pouvoir expansif de la structuration des connaissances en conception innovante : mise en évidence des effets génératifs du K-preordering grâce à l'étude du non-verbal

Juliette Brun

▶ **To cite this version:**

Juliette Brun. Modéliser le pouvoir expansif de la structuration des connaissances en conception innovante : mise en évidence des effets génératifs du K-preordering grâce à l'étude du non-verbal. Gestion et management. Université Paris sciences et lettres, 2017. Français. NNT : 2017PSLEM007 . tel-01774457

HAL Id: tel-01774457
https://pastel.hal.science/tel-01774457

Submitted on 23 Apr 2018

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.

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à MINES ParisTech

Modéliser le pouvoir expansif de la structuration des connaissances en conception innovante : mise en évidence des effets génératifs du K-preordering grâce à l'étude du non-verbal

Ecole doctorale n°396

ÉCONOMIE, ORGANISATIONS, SOCIÉTÉS

Spécialité SCIENCES DE GESTION

COMPOSITION DU JURY :

M. Jean-François BASSEREAU
ENSAD, Rapporteur

M. Christian DUCROT
INRA, Invité

Mme. Valérie FERNANDEZ
Télécom ParisTech, Suffragant

M. Sylvain LENFLE
CNAM, Rapporteur

Mme. Barbara TVERSKY
Stanford University, Suffragant

M. Pascal LE MASSON
Mines ParisTech, Directeur de thèse

M. Benoît WEIL
Mines ParisTech, Directeur de thèse

Soutenue par JULIETTE **BRUN**
le 31 mai 2017

Dirigée par **Pascal LE MASSON**
et **Benoît WEIL**

MINES ParisTech

PSL RESEARCH UNIVERSITY PARIS

Mines ParisTech n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à l'auteur.

À ma mère,

Et à toutes les femmes courageuses qui ouvrent la voie aux autres

Résumé

La thèse étudie le pouvoir génératif de la structuration des connaissances pour la conception innovante. Partant d'une analyse de la générativité des structures de connaissances non-verbales, et notamment du dessin d'architecte, elle identifie un nouveau mode de conception en montrant comment une revisite des rapports entre connaissances favorise la génération de nouveaux concepts. En particulier, une restructuration des connaissances visant à rendre la structure splitting, c'est-à-dire, sans rapports modulaires ou déterministes entre connaissances, possède un fort pouvoir génératif. En session collective, les médias non-verbaux, tels que le dessin, les images ou encore le prototypage 3D, se révèlent ainsi particulièrement favorables à la restructuration des connaissances : trois conditions nécessaires présentées dans la thèse doivent cependant être réunies afin de garantir la performance du non-verbal en session collective. Par ailleurs, ce phénomène de restructuration générative - aussi appelée K-preordering – diffère de l'exploration classique par génération de concepts alternatifs. Les deux modes de conception ne sont pas pour autant incompatibles : la thèse propose ainsi un processus de conception alternant phases de K-preordering et phases de génération de concepts. Ce processus est notamment testé à travers deux cas de recherche-intervention visant à provoquer la réorganisation des structures de connaissances stabilisées et partagées à l'échelle de l'organisation. Ces deux cas montrent en particulier comment un tel processus favorise la conception de programmes de recherche transdisciplinaires.

Mots-clés : *Conception innovante, Structuration de la connaissance, Conception non-verbale, Théorie C-K, Recherche transdisciplinaire*

Summary

The thesis investigates the generative power of knowledge structuration for innovative design. Analyzing the generativity of non-verbal knowledge structures - especially, architectural drawings -, this work identifies a new design method by showing that the transformation of links between knowledge bases fosters concept generation. In particular, a restructuration that aims to design a splitting structure - a structure avoiding modular and deterministic links between knowledge bases - has a strong generative power. During collective creativity sessions, non-verbal tools such as sketches, pictures or 3D-printing, can enhance knowledge restructuration: however, three necessary conditions, which are presented in the thesis, have to be met in order to ensure performance of the non-verbal tools used during the session. Moreover, this generative restructuration - also called K-preordering - differs from the classic design exploration by alternative concepts generation. But the two design modes are not mutually exclusive: the thesis proposes a design process that alternates K-preordering and concept generation. This process is applied in two studies, which were led as action research and intended to foster the reorganization of knowledge structures that were both stabilized and shared at the organizational level. In particular, these studies show how such a process helps enhancing the design of transdisciplinary research programs.

Key words : *Innovative design, Knowledge reordering, Non-verbal design, C-K theory, Transdisciplinary research*

Remerciements

La reconnaissance est la mémoire du cœur.
Suite à ces années de thèse, le mien se trouve chargé de beaux souvenirs.

Pour m'avoir accompagnée tout au long de cette aventure, je tiens à remercier chaleureusement mes directeurs de thèse, Pascal Le Masson et Benoit Weil : leurs conseils, leur disponibilité, leur bienveillance et leur confiance ont été de précieux atouts dans la réussite de ce projet. Je remercie également Christian Ducrot, Gwenaël Vourc'h, Olivier Potier, Tom Gray, Alejandro Scarpa, Anne Bion-Robin, Stéphane Cobo, Frédéric Arnoux, ainsi que Benjamin Duban, qui m'ont ouvert les portes de leurs organisations respectives, et ont ainsi offert à cette thèse de beaux terrains de recherche. Ma reconnaissance va aussi aux membres de mon jury, Jean-François Bassereau, Valérie Fernandez, Sylvain Lenfle, et Barbara Tversky, pour avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse.

Un grand merci à Sophie Hooge et Marine Agogué pour leur écoute et leurs conseils, mais également, pour m'avoir embarquée dans leurs valises en Tunisie et m'avoir encouragée à donner mes premiers cours à l'École Nationale des Ingénieurs de Tunis. Ce voyage restera longtemps dans ma mémoire. Merci à Armand Hatchuel, Dominique Laousse et Akin Kazakçi pour leur intérêt pour mes travaux. Merci à Kevin Levillain et Milena Chen pour leurs relectures, leurs précieux apports et leurs encouragements. Merci à Céline Bourdon et Stéphanie Brunet pour leur aide indispensable. Merci à l'ensemble des doctorants du Centre de Gestion Scientifique des Mines pour leur soutien et les bons moments partagés ensemble. Je remercie tout particulièrement mes collègues de bureau, Yanyan Yang, Rachelle Belinga, Hicham Ezzat, ainsi que mon collègue, Benjamin Cabanes, pour leur amitié sans faille : ils savent combien elle m'a été précieuse.

Enfin, sur un plan plus personnel, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance - et bien plus encore - à mes parents, à mes proches et à mon compagnon Vincent : ils sont les piliers autour desquels tout le reste se construit.

“

Le hasard ne favorise que les esprits préparés

”

— Louis Pasteur, 1854

TABLE DES MATIERES

Introduction générale - Étudier le rôle des structures de connaissances en conception innovante : enjeux et état de l'art..... 17

Partie I - Du pouvoir génératif des connaissances au pouvoir génératif des structures de connaissances : une étude nécessaire de l'impact de la structure des connaissances en conception innovante..... 39

Chapitre I – Vers un pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante.....43

1. S'affranchir des connaissances ou miser sur la connaissance ? Les effets génératifs contrastés des connaissances en conception innovante 45
2. Du rôle des connaissances au rôle des structures de connaissances en conception : un impact des rapports entre connaissances d'ordinaire bien maitrisé en conception mais pourtant peu exploité en conception innovante.... 59

Chapitre II – De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : potentiel et difficultés de l'étude du non-verbal pour comprendre le rôle des structures de connaissances en conception innovante 69

1. Un fort potentiel de l'étude du non-verbal pour la compréhension du rôle de la structure des connaissances en conception..... 71
2. De la difficulté à analyser les structures non-verbales en conception : une variété de motivations et de contextes d'usage..... 75
3. Des effets génératifs du non-verbal non systématiques et parfois négatifs : savoir identifier les effets de fixation potentiels..... 85

Conclusion de la partie I – S'appuyer sur l'étude du non-verbal afin de mettre en évidence et de modéliser le pouvoir génératif de la structure des connaissances en conception innovante 95

Partie II – Étudier la générativité des structures de connaissances en conception innovante : démarche et méthodologie de recherche 105

Chapitre III – Stratégie de recherche : l'étude de deux cas contrastés de structures de connaissances en conception 107

1. Motivations du choix des structures à étudier : observer des effets génératifs inédits et valider une méthode de conception basée sur la générativité des structures de connaissances..... 107
2. La stratégie de recherche : du pouvoir génératif des structures de connaissances portées par le non-verbal à la réorganisation des structures de connaissances établies et partagées..... 111

Chapitre IV – Itinéraire de recherche : mobilisation de différentes approches et choix des terrains de recherche 117

1. La mise en évidence du rôle des structures de connaissances en conception : étude des effets génératifs du dessin d'architecte 117
2. Modélisation des effets génératifs des structures de connaissances en conception : recours à la théorie du Forcing de Cohen 126
3. Contrôler les effets génératifs de la restructuration des connaissances : performance du non-verbal en session de conception collective 131
4. Pilotage de la réorganisation de structures de connaissances figées : le cas d'une discipline – le Génie des Procédés – et d'un réseau de recherche – le réseau R2A2. 134

Conclusion de la partie II – De la générativité du non-verbal à la générativité des structures de connaissances en conception 137

Partie III – Mise en évidence de l'impact d'une pré-structuration des connaissances en conception innovante 145

Chapitre V – Analyse d'un travail de conception réalisé à travers un média non-verbal particulier : le dessin d'architecte 147

1. Sélection du matériau empirique : collaboration avec l'atelier d'ingénierie T/E/S/S 147
2. Mise au point d'une méthodologie d'étude de la conception par le dessin : analyse de l'expansion en concepts et en connaissances 151

Chapitre VI - Une stratégie de structuration des connaissances pour la conception innovante 159

1. Un travail de conception majoritairement basé sur les connaissances : une conception orientée K 159
2. Une base de connaissance construite de façon stratégique : un travail minutieux de composition de la base K 166

Conclusion de la partie III – Une anomalie qui appelle à de nouveaux modèles couplant structures de connaissance et générativité 171

Partie IV – Élaboration d'un modèle permettant de rendre compte des effets génératifs de la restructuration des connaissances en conception 177

Chapitre VII – Modélisation de la structuration des connaissances pour la conception 179

1. Première approche théorique du modèle : adaptation au modèle canonique de la conception 179
2. Apports théoriques pour la conception : des schémas divergents entre conception réglée et conception innovante 183
3. Connaissance splitting vs. Base de connaissance splitting : introduction à la notion de compatibilité des connaissances 190

4. Synthèse du modèle proposé 194

Chapitre VIII – Application du modèle au cas du dessin d'architecte : K-preordering génératif et bases de connaissances splitting 197

1. Impact des nouvelles connaissances apportées par le dessin 197
2. Construction d'une base de connaissances splitting favorisant la générativité 201

Conclusion de la partie IV – Conséquences théoriques et managériales de la construction d'un modèle permettant de rendre compte du K-preordering 207

Partie V – Contrôler la restructuration des connaissances en conception collective : performance du non-verbal pour le K-preordering 215

Chapitre IX – Impacts cognitifs du non-verbal en situation de conception collective 217

1. Une première étude de l'usage du non-verbal en collectif : le cas des images... 219
2. Une restructuration générative des connaissances pas toujours évidente pour le groupe 229

Chapitre X – Le pilotage de la performance du non-verbal : conditions nécessaires de réussite et rôle du leader créatif 239

1. Étudier l'impact de la dynamique collective sur la générativité du non-verbal : une comparaison de quatre cas de conception 240
2. Proposition de moyens de contrôle relatifs à la performance du non-verbal : analyse de la capacité à restructurer la base K 247

Conclusion de la partie V – Apports managériaux pour la conception innovante en collectif 261

Partie VI - Outiller et organiser la générativité des structures de connaissances : méthodes pour la conception innovante et structures organisationnelles splitting 269

Chapitre XI – Provoquer la restructuration générative des connaissances : la réorganisation de bases de connaissances établies et partagées 271

1. Proposition d'un processus de restructuration générative des connaissances : épreuve empirique dans le domaine du Génie des procédés 271
2. La restructuration des connaissances pour la générativité : un travail de conception dédié mené en parallèle d'un travail de conception classique 284

Chapitre XII – Vers des organisations favorables à la restructuration générative des connaissances 299

1. Un exemple de structure organisationnelle visant à favoriser le K-preordering : le cas du réseau R^2A^2 de l'INRA 300

2. Vers des organisations splitting : quelles caractéristiques organisationnelles pour permettre la réorganisation générative des structures de connaissances établies et partagées 306

Conclusion de la partie VI – Conditions organisationnelles favorisant la restructuration des connaissances 319

Conclusion générale : une pré-structuration générative des connaissances pour la conception innovante 323

1. Résumé des principaux résultats 325
2. Limites de l'étude 332
3. Des implications managériales pour le pilotage de la conception 334
4. Questions et perspectives de recherche 336

Listes des publications associées à la thèse 341

Références bibliographiques 343

Annexes 357

Annexe 1 : Séquences de dessins étudiées chez T/E/S/S 359
Annexe 2 : Analyse CKD des séquences de dessins 2 et 3 371
Annexe 3 : Images utilisées par le designer pour favoriser la génération de concepts sur le thème de la recharge communautaire 377
Annexe 4 : Raisonnement suivi pour établir la correspondance entre images et concepts 381
Annexe 5 : Détail des arbres C-K développés sur les thèmes « La station d'épuration optimisée » et « Innover en Génie des Procédés » - Extrait de l'article de Potier, Brun, Le Masson & Weil (2015) 387
Annexe 6 : Résultats de l'enquête réalisée auprès des membres du réseau R^2A^2 397

« Que de raisons n'ai-je pas prises ou inventées, pour reculer le moment où j'aligne sur la page blanche les premiers mots, les noms des matériaux, qui devront exprimer l'idée née d'un prétexte ! Le rangement des petits flacons des travaux en cours qui règnent en désordre sur ma table de travail ; un regard sur un papier qui attend une réponse ; un bruit ; l'attente d'une communication téléphonique.
Ce refus animal de composer peut durer des heures, des jours. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum[1]

[1] Chaque partie du manuscrit sera illustrée par une citation issue du carnet de notes de Jean-Claude Ellena, carnet dans lequel le parfumeur livre ses réflexions sur la conception des essences. Le lecteur pourra y lire de multiples correspondances avec l'objet de la thèse.

Introduction générale - Étudier le rôle des structures de connaissances en conception innovante : enjeux et état de l'art

Dans ses notes, Jean-Claude Ellena, parfumeur de la maison Hermès, confie que la création d'un parfum ne saurait résulter d'une disposition successive et ordonnée des odeurs (Ellena, 2015). Selon lui, les composants du parfum ne se lisent pas dans un ordre continu comme peuvent l'être les mots ou les notes de musique : il s'agit de les faire interagir, de les composer, et non de les superposer. Les essences entrant dans la formule d'un parfum sont en effet toutes perceptibles dès l'ouverture du flacon, de façon simultanée, et ne peuvent exprimer leur sens indépendamment les unes des autres. À propos de la composition du parfum *Un jardin en Méditerranée* créé en 2003, Jean-Claude Ellena écrit ainsi :

> *« Le choix du prétexte se fit dans le jardin de Leïla Menchari sur les bords de la Méditerranée, en Tunisie. L'histoire s'était présentée simplement, sous la forme d'une feuille de figuier qu'une jeune femme avait déchirée et sentie en souriant. En capturant cet instant, j'opérais un choix, l'odeur de la feuille de figuier devenait signe et symbolisait la Méditerranée.*
> *Quelques jours plus tard, en rentrant dans mon laboratoire, j'ai composé à grands traits ce parfum, né d'une émotion vécue et partagée, et à l'aide de mes notes, béquilles de ma mémoire. »*

Le parfumeur explique qu'un tel choix n'est pas le fruit du hasard : même si la connaissance créant le déclic peut lui apparaître de façon fortuite, elle s'insère dans une logique préparée, comme dans une niche fabriquée au

préalable qui n'attendait qu'à l'accueillir. Jean-Claude Ellena insiste ainsi sur l'importance des liens qu'il parvient à tisser entre les différentes odeurs, les différents composants ; des liens d'autant plus intéressants qu'ils semblent ténus. Cette structure de connaissances élaborée avec soin par le parfumeur favoriserait ainsi considérablement l'émergence de nouvelles créations.

À l'instar de la composition de parfums, on peut se demander comment un créateur parvient à travailler ce rapport entre éléments de connaissances parfois éloignés les uns des autres et dont la synergie donnera plus tard une création inédite. En d'autres termes : quel rôle tient le rapport entre les connaissances dans la capacité à concevoir du nouveau ?

Aujourd'hui, les data sciences montrent qu'il est possible de combiner entre elles un très grand nombre de connaissances : l'une des applications les plus prometteuses se dégageant de cette capacité combinatoire des data sciences est la conception de nouveaux produits ou services (Kégl, Cherti & Kazakçi, 2016). De par une capacité à traiter massivement les données, l'application des data sciences à des fins conceptives pourrait aboutir à la triste conclusion qu'il n'y a plus besoin d'avoir le talent d'inventer ou de créer : combiner en masse toutes les connaissances existantes pourrait suffire à créer tout ce qu'il y a à créer. Cependant, s'il est aisé de combiner ces connaissances, évaluer la valeur du résultat des combinaisons ainsi obtenues n'est pas chose facile (Kazakçi, Cherti & Kégl, 2016). La notion de sérendipité est d'ailleurs souvent posée comme limite à l'application conceptive des data sciences. Souvent considérée comme étant l'art d'inventer « par hasard », la sérendipité serait à l'origine de l'invention de la pénicilline par Fleming ou encore du Velcro par George de Mestral. Dans une logique purement sérendipienne, le croisement « heureux » des connaissances, celui qui fait naître un nouvel objet à fort potentiel de valeur, ne pourrait pas être provoqué : la composition pertinente des connaissances proviendrait avant tout du fameux « coup de chance ». Cependant, si la sérendipité est liée au

hasard, elle n'est pas pour autant indépendante de la sagacité du concepteur (Catellin, 2014). Le mot « sérendipité » est d'ailleurs inspiré d'un conte persan relatant les aventures des princes de Serendip, princes dont l'extraordinaire capacité d'observation et de déduction les sauve de bien des mauvais pas. Dans une logique de création, le croisement heureux des connaissances ne tiendrait pas donc seulement de la chance, mais également d'un certain talent du concepteur à repérer ces croisements heureux. Plus encore que de les repérer, le parfumeur Jean-Claude Ellena semble même les préparer minutieusement. On peut donc aller plus loin que la notion de sérendipité en se demandant s'il serait possible de provoquer ces croisements heureux : existe-t-il une théorie ou un protocole qui permettraient de les décrire, de les évaluer et de les piloter ? C'est la problématique que nous investiguerons au cours de cette thèse : nous verrons notamment comment les sciences de la conception, qui traitent de la création des nouveaux objets, permettent de décrire les processus de structuration de connaissances. Par ailleurs, nous nous appuierons sur l'étude des structures de connaissances non-verbales : à l'instar des essences de Jean-Claude Ellena, ces structures agiles, mais également ambiguës, permettront de révéler un certain nombre de phénomènes pilotant la générativité des structures de connaissances en conception.

PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Comment comprendre le rôle génératif des structures de connaissances en conception innovante ?

1. Méthodologie

Afin d'adresser la problématique de recherche, différentes approches méthodologiques ont été mobilisées au cours de la thèse. Notre projet de

recherche s'est notamment appuyé sur une étude de cas approfondie de raisonnements de conception portés par le dessin d'architecte. Les croquis étudiés ont été sélectionnés au sein de l'atelier d'ingénierie T/E/S/S et leur étude a nécessité plusieurs entretiens approfondis avec le directeur de l'agence. Cette étude de cas a permis de mettre en évidence un phénomène de structuration des connaissances particulièrement génératif, phénomène que la thèse s'est ensuite attachée à modéliser, à optimiser et à outiller. En particulier, dans le but de comprendre comment mieux contrôler la performance des médias non-verbaux pour la conception collective, une étude comparative de cas a été menée à partir d'observations réalisées chez T/E/S/S, Renault et la RATP. Par ailleurs, afin de proposer et de tester des outils de pilotage du nouveau processus génératif proposé dans la thèse, deux recherches-interventions ont été menées : la première au sein du réseau R2A2 de l'INRA sur le thème des antibiotiques sans résistance, la seconde avec le LRGP de Nancy dans le but de repenser les paradigmes dominants en Génie des Procédés.

2. Positionnement et originalité des travaux

Si le rôle de la structuration des connaissances a depuis longtemps été souligné en conception (Suh, 1990 ; Le Masson, Hatchuel & Weil, 2016), la littérature en management de l'innovation s'est surtout attachée à décrire l'importance de cette structuration en conception réglée, lorsqu'il s'agit de développer des produits ou services ayant une identité stabilisée. En revanche, la question du rôle de la structure des connaissances lors des phases amont de la conception est relativement nouvelle. Ces phases amont explorent l'inconnu pour imaginer de nouvelles identités d'objets et se rattachent alors à une forme particulière de conception appelée conception innovante.

Afin d'adresser la question du rôle génératif de la structure des connaissances en conception, la thèse mobilise principalement une littérature en management de l'innovation portant sur les théories et méthodes de la conception innovante. Il s'agira notamment d'étudier si la structuration des connaissances présente des effets génératifs intéressants pour la conception innovante ; en d'autres termes, si elle pourrait aider à améliorer la quantité et la qualité des concepts générés au cours d'une exploration de conception. Les théories de la conception pourront ainsi permettre de faire apparaître certains raisonnements de conception, mais également de modéliser l'impact de la structure des connaissances sur ces mêmes raisonnements. Par ailleurs, des travaux portant sur la générativité des structures de connaissances (Cohen, 1966, 2002 ; Le Masson, Hatchuel, Kokshagina & Weil, 2015 ; Lenfle, Le Masson & Weil, 2016) seront également mobilisés afin de soutenir la construction d'une modélisation permettant de rendre compte des phénomènes génératifs observés.

Toujours dans l'optique d'étudier le rôle génératif de la structure des connaissances, une littérature s'intéressant à l'impact de la connaissance sur la génération d'idées sera également mobilisée : les sciences cognitives ont en effet montré que certains types de connaissances permettaient de favoriser la créativité tandis que d'autres la freinaient, renforçant alors un phénomène appelé fixation cognitive (Jansson & Smith, 1991 ; Smith, Ward & Schumacher, 1993). La thèse introduira ainsi des éléments de littérature appartenant aux sciences cognitives, portant plus particulièrement sur les blocages cognitifs en créativité.

Enfin, puisque la démarche adoptée dans la thèse consiste à étudier dans un premier temps les structures de connaissances non-verbales, et ce dans le but d'identifier des phénomènes génératifs intéressants, nos recherches viseront à dresser un état de l'art des travaux abordant le rôle du

non-verbal en conception. Une telle littérature appartiendra tantôt à la littérature en conception, tantôt à la littérature en créativité.

Si la littérature en conception innovante a déjà été croisée avec les sciences cognitives dans le but de mieux comprendre les blocages à la conception innovante (Agogué, 2012), le croisement de littératures portant sur le rôle des structures de connaissances en conception, l'impact des nouvelles connaissances en créativité et le non-verbal contribue à renforcer l'originalité des travaux de recherche présentés dans la thèse. Si la problématique vise à mieux comprendre le rôle génératif des structures de connaissances en conception innovante, nous verrons que les travaux menés permettront également de mieux comprendre la nature des raisonnements de conception portés par les médias non-verbaux et de proposer des solutions pour mieux contrôler leur performance générative en session de créativité.

3. Questions de recherche

La stratégie mobilisée dans la thèse consiste ainsi à s'appuyer sur l'étude du non-verbal pour mieux comprendre le pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante. En effet, les structures non-verbales offrent au concepteur une grande flexibilité de raisonnement (Tversky, 1999 ; Schön & Wiggins, 1992) et permettent également d'introduire de nouvelles connaissances apportant de l'originalité dans l'exploration menée (Schön, 1983 ; Suwa, Tversky, Gero & Purcell, 2001). En revanche, nous verrons que l'analyse de l'impact de ces structures sur la générativité peut être délicate : en effet, si le caractère non-verbal permet parfois d'améliorer la générativité d'une exploration, cette même nature non-verbale peut aussi renforcer les effets de fixation. Notre première question de recherche interroge donc la façon de mettre en évidence l'importance de la

structuration des connaissances en conception innovante à travers l'étude des effets génératifs du non-verbal (**Q1**).

En plus de parvenir à identifier des phénomènes génératifs intéressants en lien avec la structuration des connaissances, il s'agira ensuite de proposer une modélisation capable de rendre compte de ces phénomènes dans des contextes variés (**Q2**). Cette modélisation devra notamment être validée pour des contextes cognitifs et organisationnels variés, y compris lorsque l'on s'affranchit de la présence du non-verbal. En effet, si l'étude du non-verbal est la stratégie choisie pour mettre en évidence des effets génératifs intéressants, la situation idéale consiste à pouvoir les reproduire sans avoir nécessairement à mobiliser des médias non-verbaux.

Une fois notre modélisation proposée, on se demandera dans un premier temps comment contrôler l'usage du non-verbal pour favoriser ces phénomènes génératifs (**Q3**). On comparera notamment différents contextes d'usage, cognitifs et organisationnels, pour en déduire les conditions les plus favorables à la performance du non-verbal. Puis, dans une volonté de réussir à s'affranchir du recours aux médias non-verbaux, nous nous interrogerons enfin sur la façon d'outiller et d'organiser la structuration générative des connaissances à l'aide de processus indépendants du non-verbal (**Q4**).

QUESTIONS DE RECHERCHE

Q_1
Comment **mettre en évidence** l'importance de la structuration de la connaissance en conception innovante à travers l'étude des effets génératifs du non-verbal ?

Q_2
Comment **modéliser** les effets génératifs des représentations non-verbales en conception et en particulier leur effet sur la structuration des connaissances ?

Q_3
Quelle est la performance du non-verbal lorsqu'il s'agit de réorganiser les connaissances ? Comment **contrôler** l'usage du non-verbal pour favoriser la construction de structures de connaissances génératives ?

Q_4
Comment **outiller et organiser** la restructuration des connaissances afin de favoriser l'émergence de concepts innovants à l'échelle de l'organisation ?

4. Structure du manuscrit et synopsis de la thèse

Le manuscrit de thèse a été organisé en six parties. Si la première partie correspond à une revue de littérature et la deuxième partie à une présentation de la démarche de recherche, les quatre parties qui composent le reste du document répondent tour à tour à chacune des questions de recherche présentées précédemment. La figure ci-après donne une représentation schématique de la composition du manuscrit.

Introduction générale

Partie I - Du pouvoir génératif des connaissances au pouvoir génératif des structures de connaissances : une étude nécessaire de l'impact de la structure des connaissances en conception innovante

Chapitre I - Vers un pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante
État de l'art adressant la place des connaissances en conception innovante et notamment l'impact des structures de connaissances sur la performance et la générativité de la conception

Chapitre II - De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : potentiel et difficultés de l'étude du non-verbal pour comprendre le rôle des structures de connaissances en conception innovante
Littérature portant sur le pouvoir génératif du non-verbal en conception
Introduction aux spécificités des structures non-verbales et aux difficultés liées à leur analyse

Partie II - Étudier la générativité des structures de connaissances en conception innovante : démarche et méthodologie de recherche

Chapitre III - Stratégie de recherche : l'étude de deux cas contrastés de structures de connaissances en conception
Une démarche de recherche naviguant entre deux types de structures de connaissances : des structures flexibles et ambiguës vs. des structures établies et partagées

Chapitre IV - Itinéraire de recherche : mobilisation de différentes approches et choix des terrains de recherche
Présentation des cadres d'analyse retenus : théorie C-K et théorie du Forcing de Cohen
Des terrains d'analyse pour identifier les conditions nécessaires à la performance du non-verbal : T/E/S/S, Renault & RATP
Des terrains de recherche-intervention pour outiller la restructuration des connaissances : le LRGP et le réseau R2A2 de l'INRA

Partie III - Mise en évidence de l'impact d'une pré-structuration des connaissances en conception innovante

Chapitre V - Analyse d'un travail de conception réalisé à travers un média non-verbal particulier : le dessin d'architecte
Une méthodologie d'analyse d'un travail de conception soutenu par le non-verbal : recours à la théorie C-K

Chapitre VI - Une stratégie de structuration des connaissances pour la conception innovante
Un travail de conception basé majoritairement sur les connaissances : composition minutieuse et stratégique de la base de connaissances

Partie IV - Élaboration d'un modèle rendant compte des effets génératifs de la restructuration des connaissances en conception

Chapitre VII - Modélisation de la structuration des connaissances pour la conception
Un modèle intégrant la structure des connaissances : modèle canonique étendu et notion de compatibilité des connaissances
Optimiser la conception : une conception réglée privilégiant les structures de connaissances déterministes et modulaires vs. une conception innovante pouvant tirer partie des structures des connaissances splitting (non déterministes et non modulaires)

Chapitre VIII - Application du modèle au cas du dessin d'architecte : K-preordering génératif et bases de connaissances splitting
Un caractère splitting de la structure des connaissances venant contribuer à la générativité du dessin d'architecte

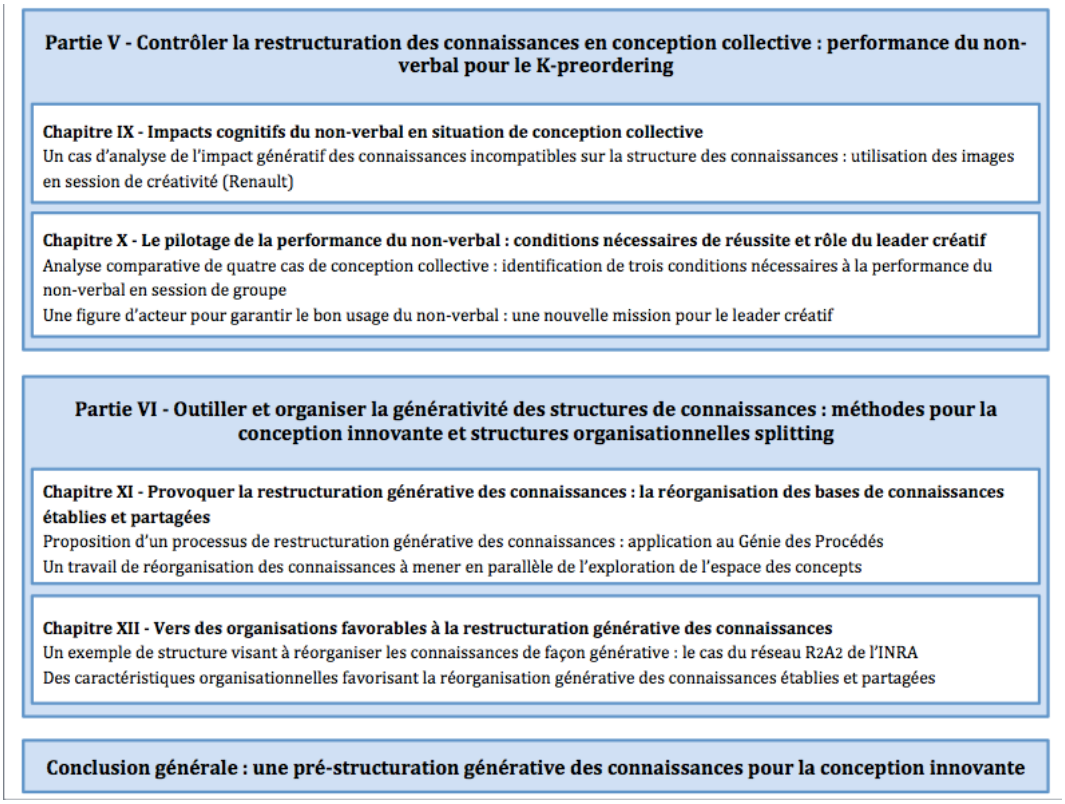


Figure 1. Synopsis de la thèse

La **Partie I** présente un état de l'art portant, d'une part, sur le rôle des structures de connaissances en conception innovante, et d'autre part, sur le pouvoir génératif du non-verbal.

- Le **Chapitre I** montre que le rôle des connaissances est particulièrement important en conception : l'introduction de connaissances nouvelles au cours du raisonnement est précisément ce qui distingue la conception de la décision. Par ailleurs, le résultat de la conception impacte en retour l'espace des connaissances : la conception d'un nouvel objet conduit en effet à réorganiser les rapports entre connaissances afin de valider l'existence de cet objet. On peut ainsi imaginer qu'une structuration des connaissances au préalable de la conception permettrait d'anticiper ce phénomène, et ainsi, de favoriser la génération de nouveaux concepts. Cependant, si la conception réglée attache une grande importance à la

structure des connaissances en privilégiant les relations modulaires et déterministes entre connaissances, la conception innovante la considère comme un paramètre libre de la conception. Or, certaines études tendent à montrer que la structure de connaissances pourrait présenter un fort pouvoir génératif, pouvoir qu'il serait intéressant de mieux exploiter en conception innovante.

- Le **Chapitre II** s'intéresse plus particulièrement aux structures de connaissances non-verbales, structures largement mobilisées par les concepteurs afin d'atteindre des effets génératifs. C'est le cas par exemple du dessin à la main souvent utilisé par l'architecte en phase de génération d'idées. Le non-verbal est en effet susceptible d'accélérer le processus de conception et d'apporter au concepteur de nouvelles informations. En session de créativité, les médias non-verbaux sont également fréquemment mobilisés pour favoriser la génération d'idées. On peut distinguer trois modes d'usages du non-verbal en session de créativité : la visualisation, le réarrangement et la création. Les structures non-verbales semblent ainsi particulièrement propices à l'observation de phénomènes génératifs basés sur la modification des rapports entre connaissances.

La **Partie II** détaille quant à elle la démarche de recherche suivie pour mener notre projet de recherche.

- Le **Chapitre III** présente la stratégie de recherche choisie. Elle consistait en l'étude de deux types de structures de connaissances : d'une part, les structures non-verbales car elles favoriseraient l'observation d'effets génératifs intéressants, et d'autre part, les structures de connaissances stabilisées et partagées à l'échelle de l'organisation car elles allaient permettre de tester la restructuration générative des connaissances sur des structures particulièrement peu flexibles. En particulier, la structuration des sciences en différentes disciplines constitue une structure stable qu'il est difficile de rediscuter lors des opérations de

conception : il s'agissait d'un bon exemple de structure établie et partagée à l'échelle de l'organisation.

- Le **Chapitre IV** décrit quant à lui l'itinéraire de recherche suivi. Il présente les différents terrains de recherche, ainsi que les cadres théoriques retenus. Afin d'étudier les structures non-verbales, nous nous sommes intéressés au cas du dessin d'architecte à travers une observation menée au sein de l'atelier d'ingénierie T/E/S/S, agence mêlant à la fois architectes et ingénieurs. Afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles les structures non-verbales favorisaient la générativité, nous avons ensuite étudié trois autres cas d'usage du non-verbal en session de créativité : un à la RATP, au cours d'une phase C de KCP mobilisant un illustrateur expérimenté, et deux chez Renault, le premier cas correspondant à une séance de brainsketching et le second à une session animée par un designer à l'aide d'un jeu d'images. Enfin, afin de tester les effets génératifs identifiés grâce à l'étude du non-verbal sur d'autres types de structures, nous avons réalisé deux recherches-interventions : l'une au sein du LRGP, un laboratoire en Génie des Procédés à Nancy, et l'autre au sein du réseau R2A2 de l'INRA, réseau de recherche travaillant sur le thème de l'antibiorésistance animale. Ces deux cas de recherche-intervention visaient à provoquer une réorganisation générative de structures de connaissances établies et partagées, et ce, afin de favoriser la conception de programmes de recherche innovants. Concernant les cadres théoriques retenus, nous avons souhaité mobiliser une théorie générique du raisonnement de conception - la théorie C-K - ce afin de mieux comprendre le raisonnement associé à l'usage des médias non-verbaux en cours de conception. La théorie C-K ne proposant pas de modélisation de la structure de connaissances, nous nous sommes par ailleurs intéressés à la théorie du Forcing de Cohen. Cette théorie permet en effet de mieux comprendre comment la modification de certaines relations entre connaissances favorise la génération de nouveaux concepts.

La **Partie III** présente la mise en évidence d'un phénomène génératif original à partir de l'étude de structures de connaissances non-verbales.

- Dans le **Chapitre V**, nous présentons la méthodologie développée afin d'analyser l'impact génératif des structures de connaissances non-verbales. Trois séquences de dessins ont été sélectionnées au sein de l'agence T/E/S/S et des entretiens ont été réalisés avec leur concepteur afin de comprendre le raisonnement associé aux différents dessins. Pour pouvoir analyser l'exploration correspondante, nous avons ainsi réalisé une modélisation C-K des opérations de conception décrites par l'architecte lors des entretiens.
- Le **Chapitre VI** détaille les résultats de cette analyse. En particulier, nous montrons que les dessins superposent à la fois des concepts et des connaissances. Par ailleurs, au cours de son exploration, l'architecte mobilise majoritairement des connaissances : il s'attache à construire minutieusement une base de connaissances réduite, y intégrant la connaissance qu'il juge intéressante et éliminant les éléments qui ne contribuent pas à la qualité de l'exploration. Une telle stratégie de structuration de l'espace des connaissances fut nommée K-preordering. Il restait alors à comprendre l'origine de la générativité d'une telle stratégie de structuration des connaissances.

La **Partie IV** propose une modélisation visant à rendre compte du phénomène de K-preordering.

- Le **Chapitre VII** propose d'étendre le modèle canonique de la conception afin d'y intégrer la structure des connaissances R(K). Par ailleurs, nous réalisons une distinction entre les nouvelles connaissances compatibles avec la structure de la base de connaissances initiale, et les connaissances incompatibles : les connaissances compatibles ne remettent pas en question la structure des connaissances, tandis que les connaissances incompatibles nécessitent de réorganiser cette structure afin de s'y intégrer et de pouvoir être utilisées au cours de la conception. À l'aide de

ces nouvelles notations, nous montrons notamment que la conception réglée favorise des opérations de restructuration visant à maximiser la modularité et le déterminisme entre connaissances, et ce, afin d'améliorer la performance de la conception. En revanche, les théories et méthodes de la conception innovante ne favorisent aucune structure de connaissances : différents types de structures peuvent être ainsi librement mobilisés par le concepteur au cours de son exploration. En revanche, la théorie du Forcing permet d'intuiter qu'une réorganisation des connaissances tendant à rendre la structure splitting – sans modularité ni déterminisme - sera particulièrement générative.

- Dans le **Chapitre VIII**, nous réalisons une première application de la modélisation proposée précédemment afin de mieux comprendre l'origine de la générativité des dessins d'architecte étudiés en Partie III. Nous montrons que l'architecte tend à éliminer de sa base de connaissances les éléments introduisant soit du déterminisme, soit de la modularité entre connaissances. Il réalise ainsi un K-preordering visant à rendre sa structure des connaissances splitting. Une telle stratégie justifie la générativité des dessins étudiés et est particulièrement favorisée par l'agilité et l'ambiguïté des structures non-verbales mobilisées par le concepteur.

La **Partie V** vise à comprendre comment mieux contrôler l'usage du non-verbal pour favoriser la restructuration générative des connaissances.

- Le **Chapitre IX** présente l'analyse détaillée d'une séance de créativité animée par un designer à l'aide d'images visant à inspirer de nouvelles idées aux participants. La session, organisée au sein du groupe Renault, portait sur le thème de la communauté de recharge. Notre étude montre que la nature de la connaissance portée par les images conditionne fortement le type d'effets génératifs obtenus. Plus spécifiquement, les images introduisant une nouvelle connaissance compatible avec la structure de connaissances initiale permettaient de générer facilement

des concepts, mais peu de concepts expansifs. En revanche, les images apportant une connaissance incompatible avec la structure de connaissance initiale permettaient de générer peu de concepts : cependant, une grande majorité de concepts correspondait à des concepts expansifs. En effet, les connaissances incompatibles permettaient de casser une règle de la base de connaissance des participants, favorisant ainsi l'ouverture de nouvelles voies d'innovation. L'effort cognitif requis pour adresser ces voies étaient cependant bien plus important que celui nécessaire à une génération de concepts respectant la structure des connaissances.

- Le **Chapitre X** présente la comparaison de quatre cas d'usage du non-verbal à des fins génératives. Les cas correspondent à des sessions de créativité menées chez T/E/S/S, la RATP et Renault. L'étude comparative permet d'identifier trois conditions nécessaires à la bonne performance générative du non-verbal en session collective : (1) l'effet produit par le non-verbal doit être cohérent avec les objectifs de la session, (2) les participants doivent pouvoir interpréter le média non-verbal utilisé pendant la session et en extraire des informations nouvelles et (3) les médias non-verbaux mobilisés doivent présenter un fort potentiel génératif. Ces trois conditions doivent ainsi être réunies si l'on souhaite favoriser la restructuration générative des connaissances à l'aide du non-verbal. Nous proposons par ailleurs que le leader créatif incarne la figure d'acteur chargée de mettre en place et de maintenir ces bonnes conditions au cours de la session.

Enfin, la **Partie VI** vise à proposer des modes d'organisation permettant de provoquer la restructuration générative des connaissances sans avoir à mobiliser nécessairement du non-verbal.

- Le **Chapitre XI** propose notamment un processus de conception basé sur la restructuration générative des connaissances. Ce processus consiste à mener conjointement un travail de K-preordering et une exploration

conceptuelle classique (génération de concepts alternatifs). Nous validons par ailleurs ce processus via une étude menée en recherche-intervention au sein du LRGP et visant à provoquer des changements de paradigmes permettant d'ouvrir de nouvelles voies d'innovation en Génie des Procédés.

- Le **Chapitre XII** s'intéresse quant à lui à la réorganisation collective des structures de connaissances établies et partagées à l'échelle de l'organisation. Ce chapitre présente ainsi une recherche-intervention menée au sein du réseau R2A2 de l'INRA et visant à favoriser la conception de programmes de recherche transdisciplinaires sur le thème de l'antibiorésistance animale. Le cas du réseau R2A2 constitue un exemple de structure créée spécifiquement dans le but de favoriser le croisement entre disciplines, et ainsi, de concevoir via le K-preordering. Nous identifions notamment trois conditions organisationnelles favorisant la restructuration générative des connaissances établies et partagées : (1) une capacité de la structure à s'affranchir des frontières de l'organisation d'origine, (2) une bonne flexibilité correspondant notamment à la capacité à faire évoluer son mode de fonctionnement, et enfin (3) une capacité à transférer et transformer les acquis au sein de l'organisation d'origine, voire au delà. Nous concluons ce chapitre en expliquant que si une organisation vise à favoriser les effets splitting afin d'améliorer sa générativité, elle doit également penser l'articulation de ces effets avec des effets de type « mirroring » favorisant les phases de conception réglée.

« La composition d'un parfum diffère cependant d'autres formes d'expression, comme l'écrit ou la musique qui disposent les mots et les notes dans un ordre continu. Cette disposition successive et ordonnée des mots ou des notes de musique n'existe pas dans la mise en forme du parfum, car les composants entrant dans une formule de parfum […] sont perceptibles dès l'ouverture du flacon […]. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie I – Du pouvoir génératif des connaissances au pouvoir génératif des structures de connaissances : une étude nécessaire de l'impact de la structure des connaissances en conception innovante recherche . 39

Chapitre I – Vers un pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante 43

1. S'affranchir des connaissances ou miser sur la connaissance ? Les effets génératifs contrastés des connaissances en conception innovante 45

1.1. Mobiliser les connaissances pour la conception : généralités et modes de représentation 45
1.2. La place des connaissances en conception innovante : une ressource indispensable à l'émergence de nouveaux concepts, mais à double tranchant..... 50
1.3. De nouveaux objets qui réorganisent à leur tour l'espace des connaissances.... 56

2. Du rôle des connaissances au rôle des structures de connaissances en conception : un impact des rapports entre connaissances d'ordinaire bien maîtrisé en conception mais pourtant peu exploité en conception innovante 59

2.1. Des structures de connaissances explicitées et valorisées en conception réglée : la recherche de structures de connaissances modulaires et déterministes 60
2.2. Des structures de connaissances non explicitées en conception innovante, mais pourtant stratégiques 63

Chapitre II – De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : potentiel et difficultés de l'étude du non-verbal pour comprendre le rôle des structures de connaissances en conception innovante 69

1. Un fort potentiel de l'étude du non-verbal pour la compréhension du rôle de la structure des connaissances en conception 71

1.1. De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : une accélération du traitement de l'information et une réinterprétation des idées favorisée à l'échelle individuelle 71

1.2. Une grande probabilité d'observer des effets génératifs forts grâce aux structures non-verbales : de nouvelles informations venant enrichir le processus de conception 73

2. De la difficulté à analyser les structures non-verbales en conception : une variété de motivations et de contextes d'usage 75

2.1. Un rôle du non-verbal en conception difficile à analyser 75
2.2. Des médias non-verbaux présents à différentes étapes du processus de conception 77
2.3. Du non-verbal pour l'usage collectif : spécificité du management de groupe en session de créativité 79
2.4. Du non-verbal pour répondre à une large typologie d'usages 81

3. Des effets génératifs du non-verbal non systématiques et parfois négatifs : savoir identifier les effets de fixation potentiels 85

3.1. Une contribution du non-verbal non systématique 85
3.2. Des effets de fixation desservant le processus de conception individuel 87
3.3. Une fixation du non-verbal potentiellement renforcée dans le collectif : facteurs cognitifs et organisationnels 89

Conclusion de la partie I – S'appuyer sur l'étude du non-verbal afin de mettre en évidence et de modéliser le pouvoir génératif de la structure des connaissances en conception innovante 95

Partie I - Du pouvoir génératif des connaissances au pouvoir génératif des structures de connaissances : une étude nécessaire de l'impact de la structure des connaissances en conception innovante

Dans un contexte d'innovation intensive, la conception des nouvelles générations de produits et services est un processus qu'il peut être tentant de rationaliser : acquérir une compréhension fine des mécanismes pilotant la conception est en effet essentiel pour espérer rendre cette dernière plus performante. Dans une telle démarche de rationalisation, il est possible de distinguer deux formes de conception. La première correspond au processus de réalisation d'un objet dont l'identité est bien définie et stabilisée : la conception de l'objet répond à un design dominant (Utterback & Abernathy, 1975). Dans un contexte industriel, la conception de l'iPhone 7, dernier né d'une longue lignée de produits, renvoie à ce type de conception : l'iPhone 7 introduit quelques changements technologiques - comme l'étanchéité - mais l'usager reconnaît immédiatement en lui un smartphone : l'identité du produit n'a pas été modifiée. Grâce à cette stabilité de l'identité, l'industrie a pu développer des systèmes de règles permettant de concevoir efficacement les produits et les services associés : ces règles visent à optimiser le processus de conception, et ainsi, à le rendre toujours plus rapide et toujours plus rentable. Cette première forme de conception est ainsi nommée **conception réglée** (Le Masson & Weil, 2010). La deuxième forme de conception se réfère quant à elle au processus qui permet de rediscuter l'identité des objets existants. Elle s'attache à décrire l'exploration dans

l'inconnu : ce passage d'un objet qui n'existe pas encore à un objet nouveau. Ici, la mise en place de règles favorisant le pilotage de la conception est bien plus délicate : comment favoriser la création d'objets totalement nouveaux, tels que la Twizy de Renault ou encore le Mother Dirt de AOBiome (voir figure ci-dessous) ? Cette deuxième forme de conception visant à renouveler l'identité des objets est appelée **conception innovante** (Le Masson & Weil, 2010) : c'est essentiellement du point de vue de la conception innovante que l'on s'intéressera au pouvoir génératif des structures de connaissances.

Figure 2. À gauche : Twizy, le quadricycle électrique de Renault.
À droite : Mother Dirt by AOBiome, un probiotique à pulvériser servant de substitut au savon, au déodorant et au shampoing

La connaissance joue un rôle essentiel dans la performance de la conception : dans une conception réglée, le passage de la définition fonctionnelle d'un produit à son design détaillé nécessite en effet de pouvoir mobiliser facilement un grand nombre de connaissances. Ces dernières peuvent être des connaissances acquises à travers des pratiques de conception établies mais il peut également s'agir de nouvelles connaissances, bien souvent indispensables à l'amélioration d'une lignée de produits. En conception innovante, la place de cette nouvelle connaissance est d'autant plus importante que l'on cherche à revisiter l'identité des objets existants : en effet, l'exploration dans l'inconnu conduit non seulement à une expansion des

propriétés des objets, mais également à une expansion de l'espace des connaissances maîtrisées par le concepteur. Dans cette logique de renouvellement des possibles, favoriser la créativité est essentiel : l'acquisition de connaissances nouvelles et originales, ainsi que l'usage qui en sera fait, reposent en effet sur les capacités créatives du concepteur. Les sciences cognitives, et en particulier, la psychologie se sont particulièrement intéressées à ces capacités créatives : alors que les sciences de la conception s'attachent à décrire les moyens d'actions mis en place pour réaliser ce passage de l'inconnu au nouveau, les sciences cognitives étudient quant à elles les capacités cognitives d'un individu ou d'un groupe mis en situation d'imaginer le nouveau (qu'il s'agisse ou non de concevoir un objet). Si l'on s'attache à mieux comprendre l'impact des connaissances, et en particulier, des articulations entre connaissances sur les capacités créatives du concepteur, il sera nécessaire de prendre en compte les deux points de vue : celui des sciences de gestion et celui des sciences cognitives. Par ailleurs, on s'attend à ce que le mode de représentation de la connaissance ait notamment une forte influence sur les capacités conceptrices. Les modes de représentation non-verbaux comme les dessins, les maquettes ou encore les impressions 3D sont par exemple très prisés des concepteurs. Nous verrons que ces structures de connaissances présentent une flexibilité particulièrement intéressante pour tenter d'identifier les effets génératifs liés à la façon dont les connaissances s'articulent entre elles au cours d'un processus de conception.

Dans cette partie, le chapitre I présente un état de l'art de la littérature adressant le rôle de la connaissance, et en particulier des structures de connaissances, en conception réglée et innovante. Le chapitre II décrit quant à lui la littérature relative aux structures de connaissances non-verbales et à leur usage en conception innovante. Ce chapitre présentera en particulier les travaux adressant l'impact du non-verbal sur les capacités conceptives.

Chapitre I - Vers un pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante

De façon simplifiée, la rationalisation de l'activité de conception conduit à décrire, d'une part, son but, d'autre part, les moyens mobilisés pour atteindre ce but. L'objectif de la conception est de créer un objet possédant un certain nombre de propriétés désirables (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014) : par exemple, un vélo « léger » ou encore une voiture « sans carburant ». Afin de créer cet objet, le concepteur aura besoin à la fois de prendre des décisions concernant la façon dont sera réalisé cet objet et de mobiliser un certain nombre de connaissances qui lui permettront de prendre ces décisions. Afin d'illustrer cette logique de conception associant but et moyens, on peut prendre l'exemple d'une exploration réalisée chez SAAB Aerospace, constructeur aéronautique suédois spécialisé dans la défense et la sécurité civile. SAAB s'est en effet intéressé très tôt à la question des drones et souhaitait développer un aéronef, à la fois sans pilote et innovant. Lors de ses explorations, le groupe s'est tout d'abord penché sur un concept d'hélicoptère autonome pour la surveillance du trafic automobile. Cet hélicoptère devait posséder un certain nombre de propriétés désirables : il devait notamment être autonome et permettre la surveillance du trafic automobile.

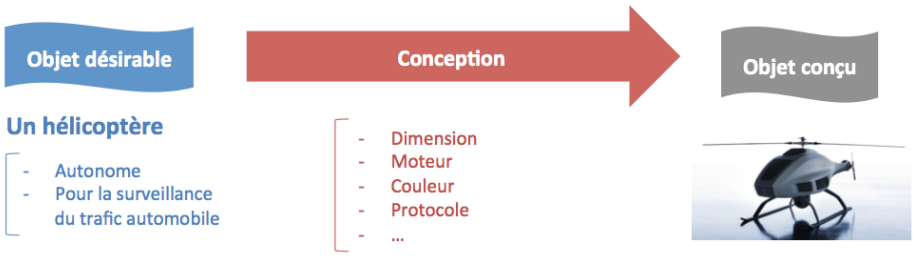


Figure 3. L'activité de conception : création d'un objet vérifiant un certain nombre de propriétés désirables

Afin de concevoir un nouvel objet, le concepteur doit être capable de prendre un certain nombre de décisions concernant sa réalisation : dans le cas de l'hélicoptère, les concepteurs devaient par exemple décider de la dimension, de la couleur, du type de moteur ou encore du protocole de pilotage associé à l'hélicoptère. L'activité de conception est ainsi étroitement liée à l'activité de décision, mais c'est le rapport à la connaissance qui permet de distinguer la conception de la décision : il y a conception lorsque les décisions à prendre font appel à de la connaissance nouvelle. Ainsi, l'acquisition de connaissance est au cœur même de ce qui définit l'activité de conception. On comprend aisément que ce caractère de nouveauté soit d'autant plus important lorsque l'on travaille en situation de conception innovante, où il s'agit de créer de nouvelles identités d'objets. Savoir comment identifier les connaissances nouvelles les plus pertinentes pour mener à bien le pilotage dans l'inconnu est évidemment crucial.

La première section du Chapitre I présente ainsi une revue de littérature sur la place de la connaissance en conception innovante : elle montre notamment comment la connaissance influence la conception, mais également, comment l'objet conçu modifie en retour l'espace des connaissances. La deuxième section s'attarde quant à elle sur l'impact de la structure des connaissances en conception. On s'intéressera notamment à l'impact des rapports existants entre les connaissances mobilisées sur l'issue même de la conception : en d'autres termes, on explorera dans quelle mesure la façon dont les connaissances sont organisées entre elles impacte la nature de l'objet à concevoir.

1. S'affranchir des connaissances ou miser sur la connaissance ? Les effets génératifs contrastés des connaissances en conception innovante

Avec des cycles de développement de produits de plus en plus courts (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014), il est nécessaire de s'intéresser aux mécanismes favorisant le renouvellement de l'identité des objets. La conception innovante correspond au moment où l'on souhaite créer un nouvel objet (produit, service, scénario d'usage, business model ou encore programme de recherche) en partant de l'inconnu. Mais cette exploration dans l'inconnu a longtemps souffert d'un manque de méthodes : dans les grandes compagnies industrielles, les idées de nouveaux produits sont souvent sélectionnées suite à des sessions de brainstorming (Osborn, 1957) ou encore des comités exécutifs. Pourtant, nous verrons que cette exploration peut être favorisée par l'apport de connaissances nouvelles, permettant de réaliser des opérations cognitives spécifiques allant dans le sens du renouveau de l'identité des objets. De façon plus générale, nous verrons dans cette section que la nature des connaissances mobilisées en conception impacte fortement les capacités conceptives, pouvant les améliorer aussi bien que les bloquer.

1.1. Mobiliser les connaissances pour la conception : généralités et modes de représentation

Le rôle de la connaissance au sein des organisations a été depuis longtemps souligné par la recherche en gestion, notamment par les études en Knowledge Management (Drucker, 1995 ; Quintas, Lefrere & Jones, 1997 ; Davenport, De Long & Beers, 1998). Ce dernier considère la connaissance comme une ressource stratégique pour les organisations : les processus de création, d'acquisition, de communication et d'application de cette

connaissance doivent ainsi être correctement organisés et gérés (Quintas, Lefrere & Jones, 1997). Mais piloter ces processus se révèle souvent complexe : la connaissance stratégique pour une organisation peut en effet être produite en interne mais également en dehors de ses frontières (Cohen & Levinthal, 1989). Cette connaissance peut par ailleurs être tacite, notamment incarnée dans des processus organisationnels et sociaux, ce qui en complexifie la gestion (Polanyi, 1958 ; Nelson & Winter, 1982 ; Nonaka, Umemoto & Senoo, 1996). Une telle connaissance se transmet par diffusion de pratiques, de savoir-faire, parfois par apprentissage mimétique. La connaissance tacite ne prend donc pas une forme tangible, qu'il s'agisse de mots ou d'autres formes, comme par exemple, des maquettes ou des formules.

Qu'elle soit tacite ou explicite, on peut en effet distinguer différents modes de représentation de la connaissance. Au cours d'un processus de conception, la connaissance mobilisée n'est ainsi pas toujours formulée sous forme de mots, écrits ou prononcés : elle n'est pas systématiquement verbalisée. Selon Bürgi et Roos (2003), la connaissance peut être représentée à travers trois modes : le mode verbal, le mode pictural et le mode spatial. Le mode pictural fait référence à la perception visuelle, tandis que le mode spatial est lié à la perception haptique (sens du toucher). D'autres modes relevant par exemple du sens de l'odorat, de l'ouïe ou du goût peuvent aussi être considérés (voir figure ci-après).

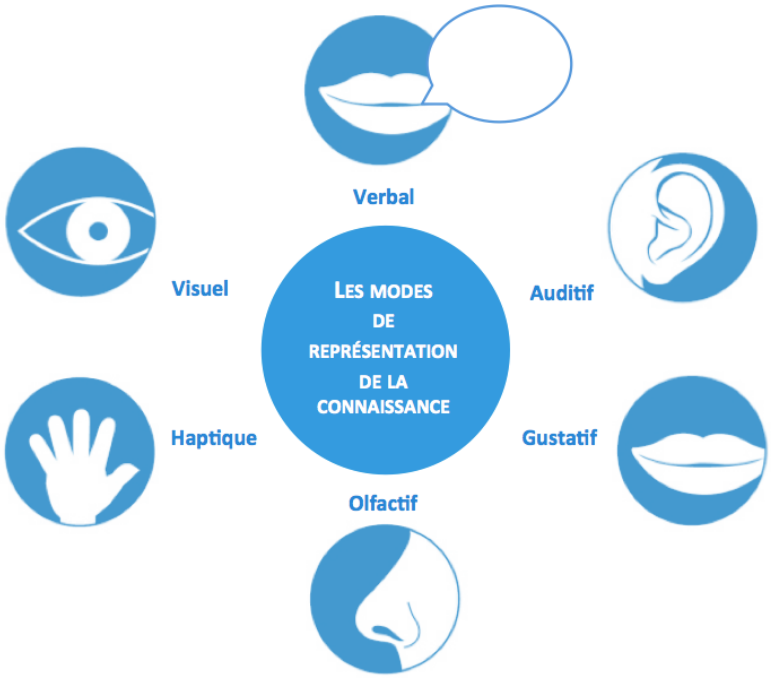


Figure 4. Les modes de représentation de la connaissance (verbal, visuel, haptique, auditif, gustatif, olfactif)

La plus grande partie des modes de représentation mentionnés ci-dessus sont ainsi des modes non verbaux. La notion de « non-verbal » peut être opposée à la notion de « verbal » relative à la parole, aux mots, aux langages (définition du Larousse). Les images, les dessins, les story-boards, mais aussi les mouvements ou encore les essences de parfum, sont autant d'exemples de modes de représentation non-verbaux mobilisés par les concepteurs. Il est néanmoins nécessaire de préciser que représentation verbale et représentation non-verbale sont souvent étroitement mêlées. Ainsi, un texte, de par sa forme, son arrangement et la police utilisée, comporte toujours une part de non-verbal. Le calligramme en est un bon exemple. De la même façon, parce qu'ils mobilisent dans leur lecture les mots et la narration, les rébus ou encore les « pictologies » (voir ci-dessous) comportent toujours une part de verbal.

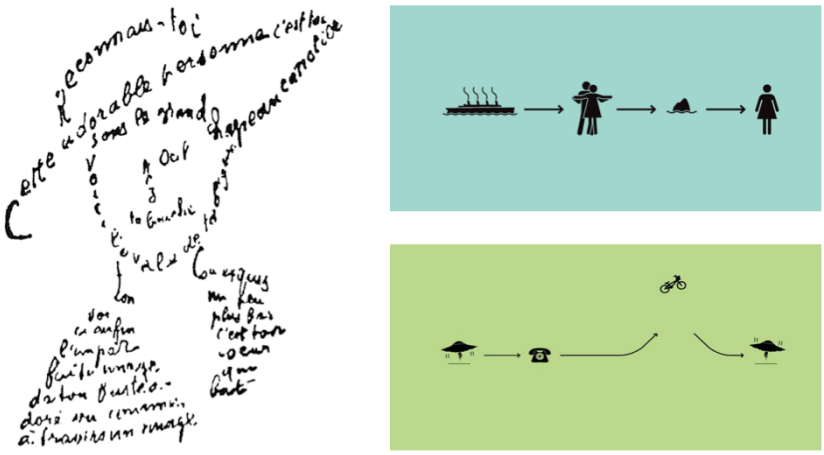


Figure 5. Complexité des modes de représentation de la connaissance :
du verbal non-verbal et du non-verbal verbal
À gauche, calligramme de Guillaume Apollinaire ;
À droite : pictologies des films « Titanic » et « E.T. » (*Source : Civaschi & Milesi, 2014*)

La représentation de la connaissance joue par ailleurs un rôle crucial pour un grand nombre de métiers de conception : nombre d'entre eux ont créé leur propre code de représentation : chez les scientifiques, il peut s'agir de graphes ou d'équations mathématiques ; chez les sculpteurs, de moules de cire ou de galerie de modèles. Et ces modes de représentation comportent bien souvent du non-verbal. Nous verrons en effet que la représentation non-verbale joue un rôle important, tant dans la mobilisation et l'usage des connaissances, que dans leur transmission. A ce titre, l'exemple le plus emblématique de codage de la connaissance est sans doute le dessin. La pratique du dessin à des fins de conception comme de transmission de savoir a été développée dès la Renaissance : on en trouve notamment de nombreuses traces dans les carnets des ingénieurs et des architectes de l'époque. Parmi les plus célèbres, on peut citer les fameux codex de Leonard de Vinci ou encore le traité sur l'architecture d'Andrea Palladio publié à Venise en 1570 (voir figure ci-dessous).

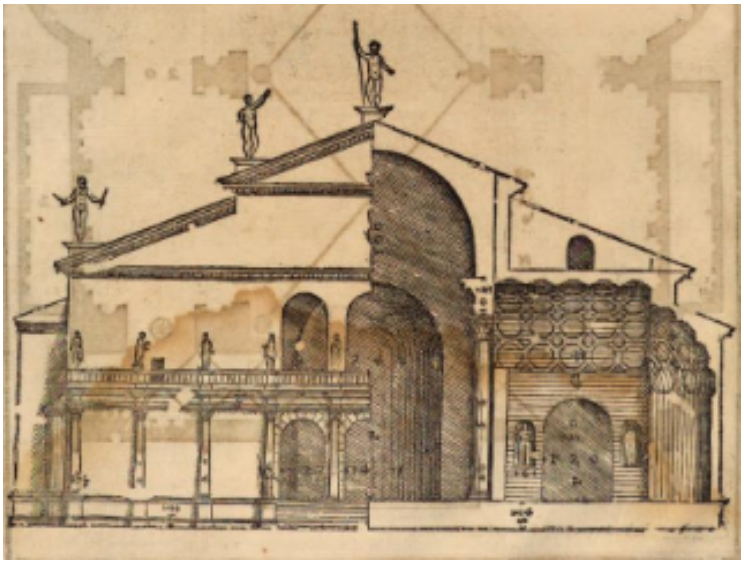


Figure 6. Dessin d'étude du Temple de la Paix à Rome, réalisé par Andrea Palladio, *Les Quatres Livres de L'architecture, Livre IV* (Palladio, 1980)

Le développement de cette pratique a notamment permis de transmettre une grande quantité de connaissances techniques, en particulier à travers la diffusion de manuels de machines ou de procédés techniques (Ferguson, 1977, 1992). Aujourd'hui, les artistes, les architectes et les ingénieurs utilisent toujours le dessin dans leurs activités quotidiennes : selon Goldschmidt (1991), « ils exécutent un grand nombre de dessins au titre d'une pratique standardisée ». La même auteure affirme que le dessin peut être défini comme un mode de représentation figurant soit des « perceptions directes », soit des « idées » ou des « images détenues par l'esprit». Nous verrons ainsi qu'en plus de détenir une part importante de connaissances, les outils non-verbaux comportent également une part de concept : si la représentation de l'information n'est jamais purement verbale, elle n'est pas toujours purement connaissance non plus.

1.2. La place des connaissances en conception innovante : une ressource indispensable à l'émergence de nouveaux concepts, mais à double tranchant

L'introduction de connaissances nouvelles joue un rôle crucial en conception, en particulier en ce qui concerne le renforcement des capacités créatives des parties prenantes. D'après Hatchuel & Weil (2003, 2009), la clé de la conception innovante réside dans la mobilisation des connaissances originales permettant de désigner les objets à l'aide de mots nouveaux : ceci permettra de se dégager de la vision que l'on porte habituellement sur le produit ou le service que l'on souhaite réinventer, et ce, afin de mieux réviser son identité. On peut illustrer l'importance de l'introduction de connaissances nouvelles à l'aide d'un exemple pédagogique : celui de la conception d'un « bateau volant ». Cet exemple de conception relève bien d'une exploration dans l'inconnu car on ne sait pas, a priori, si un tel bateau est réalisable ou non. Partant de ce concept initial, on peut essayer de concevoir un bateau volant à partir de différents systèmes de vol existants, comme par exemple une montgolfière ou encore un deltaplane. On aboutit alors à des formes de « bateau volant » qui ne redéfinissent pas l'identité de l'objet « bateau » (voir figure ci-après). En revanche, si l'on cherche des formes de connaissances originales sur le vol, on peut s'intéresser à la zoologie et aux différentes formes de vol du règne animal. Un exemple particulièrement original de vol est celui du poisson volant, qui s'appuie en réalité sur le principe de poussée d'Archimède et la réduction des frottements de l'air. La propriété « voler comme un poisson volant » constitue un attribut surprenant pour le bateau et permet d'étendre la définition de l'objet bateau au lieu de la restreindre. Un tel bateau volant correspond en fait à l'hydroptère, bateau équipé d'un système de foils qui permet d'augmenter considérablement la vitesse de navigation.

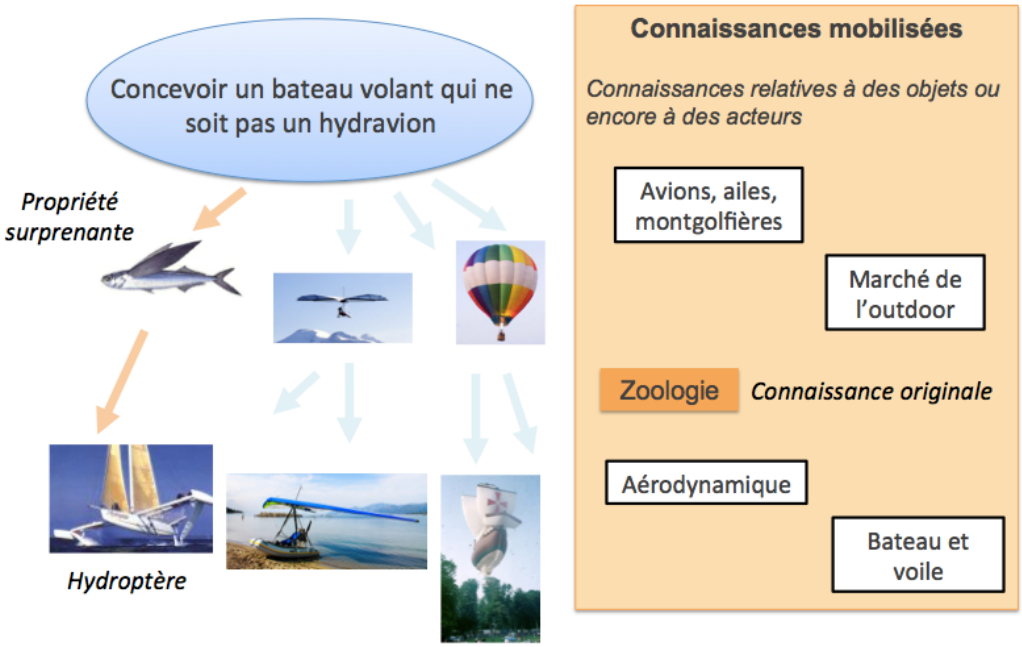


Figure 7. Un exemple d'exploration à partir du concept de bateau volant : c'est l'ajout d'une propriété surprenante - le vol du poisson volant – qui permet de renouveler l'identité de l'objet « bateau »

Dans notre exemple, la connaissance du poisson volant est mobilisée car elle vient alimenter la base de connaissances portant sur les formes de vol envisageables. Cette connaissance possède donc un lien facilement identifiable avec le problème initial. Mais ce lien entre le thème d'exploration et la connaissance mobilisée par le concepteur n'est pas toujours évident. Smith (1998) rappelle en effet que la connaissance introduite en créativité afin de stimuler la génération d'idées peut relever aussi bien de connaissances liées au thème d'exploration (« related stimuli ») que de connaissances en apparence décolérées du sujet (« remote stimuli »). Les deux types de connaissances permettent d'introduire de l'originalité dans les idées formulées. Mais même si Smith réalise cette distinction, il n'est absolument pas évident de savoir dans quelle mesure une connaissance en apparence décolérée du problème initial l'est réellement : si cette connaissance en vient effectivement à inspirer une ou plusieurs idées en rapport avec le thème d'exploration, peut on considérer qu'elle n'avait

véritablement aucun lien avec ce dernier ? Dans la suite de la thèse, nous nous demanderons notamment comment une connaissance en apparence incompatible avec le sujet traité permet de générer des idées nouvelles rentrant bien dans le cadre de l'exploration.

La connaissance dont dispose un concepteur pour imaginer de nouveaux concepts peut ainsi fortement influer sur ses capacités génératives. Mais l'impact de cette connaissance ne se révèle pas toujours positif : selon sa nature, elle peut soit favoriser l'émergence d'idées originales, soit fixer le concepteur sur des voies restrictives, peu originales (Agogué, Kazakçi, Hatchuel, Le Masson, Weil, Poirel & Cassotti, 2013). Afin de mieux étudier ce phénomène, il est nécessaire de faire appel aux sciences cognitives : l'impact des connaissances du concepteur sur ses capacités créatives a en effet été largement étudié en créativité à travers un phénomène appelé « fixation ». Il est à noter qu'une tâche de créativité se distingue d'une tâche de conception dans le sens où elle ne vise pas à aboutir à la réalisation d'un nouveau produit ou service : il s'agit seulement de stimuler les capacités créatives des participants. Les tâches d'utilisation alternatives d'objets sont un exemple classique de tâche de créativité : on peut par exemple demander aux participants d'imaginer le maximum d'utilisations alternatives possibles pour une brosse à dent. La tâche de l'œuf est également une tâche de créativité fréquemment utilisée : il s'agit ici d'imaginer le maximum de solutions possible, les plus variées et les plus originales possibles, pour faire en sorte qu'un œuf lâché d'une hauteur de 10 mètres ne se casse pas.

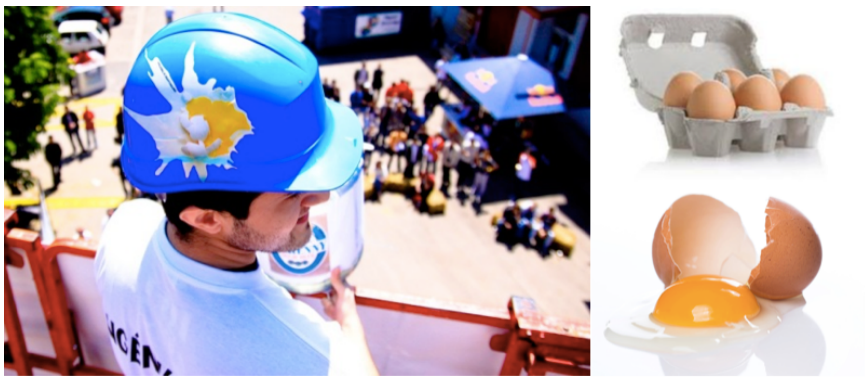


Figure 8. La tâche de l'œuf : imaginer un maximum de solutions pour qu'un œuf lâché d'une hauteur de 10 mètres ne se casse pas

Lors d'une tâche de créativité, la performance de chaque participant est évaluée selon trois critères : la fluidité (i.e. le nombre), la variété et l'originalité des idées. Dans ce contexte, un effet de fixation sera observé si un individu éprouve des difficultés à s'écarter d'une idée particulière pour en générer des alternatives originales. Un tel phénomène réduit fortement la variété et l'originalité des idées proposées lors de sessions de créativité (Jansson & Smith, 1991). Or, face à une tâche de créativité, un individu a naturellement tendance à davantage explorer des voies restrictives et peu originales, plutôt que des voies expansives (Agogué et al., 2013). La fixation sur des idées peu originales est ainsi en quelque sorte un réflexe cognitif par défaut et concerne aussi bien les ingénieurs que les entrepreneurs ou encore les designers (Agogué, Le Masson, Dalmasso, Houdé & Cassotti, 2015). Dans le cas de la tâche de l'œuf, les participants ont en effet tendance à explorer majoritairement trois types de solutions (Agogué et al., 2013) : ralentir la chute (comme par exemple, avec un parachute), amortir la chute (comme avec un matelas) et protéger l'œuf (comme par exemple, en créant une coque de papier bulle). On peut néanmoins imaginer des solutions bien plus originales, comme par exemple jouer sur les propriétés physiques de l'œuf : un œuf dur congelé serait capable de résister à une chute de 10 mètres. Parmi les solutions générées, on trouve également des solutions faisant

intervenir un animal, comme par exemple l'idée d'un faucon dressé pour aller récupérer l'œuf ! Cependant, alors que l'on demande aux participants de générer les solutions les plus originales possibles, 80% des propositions formulées se trouvent dans les trois types classiques évoqués plus haut : ralentir la chute, amortir la chute et protéger l'œuf. Ce chiffre illustre bien le phénomène de fixation en créativité : alors même qu'il s'agit de générer les solutions les plus créatives possibles, le cerveau se raccroche à ce qu'il connaît déjà.

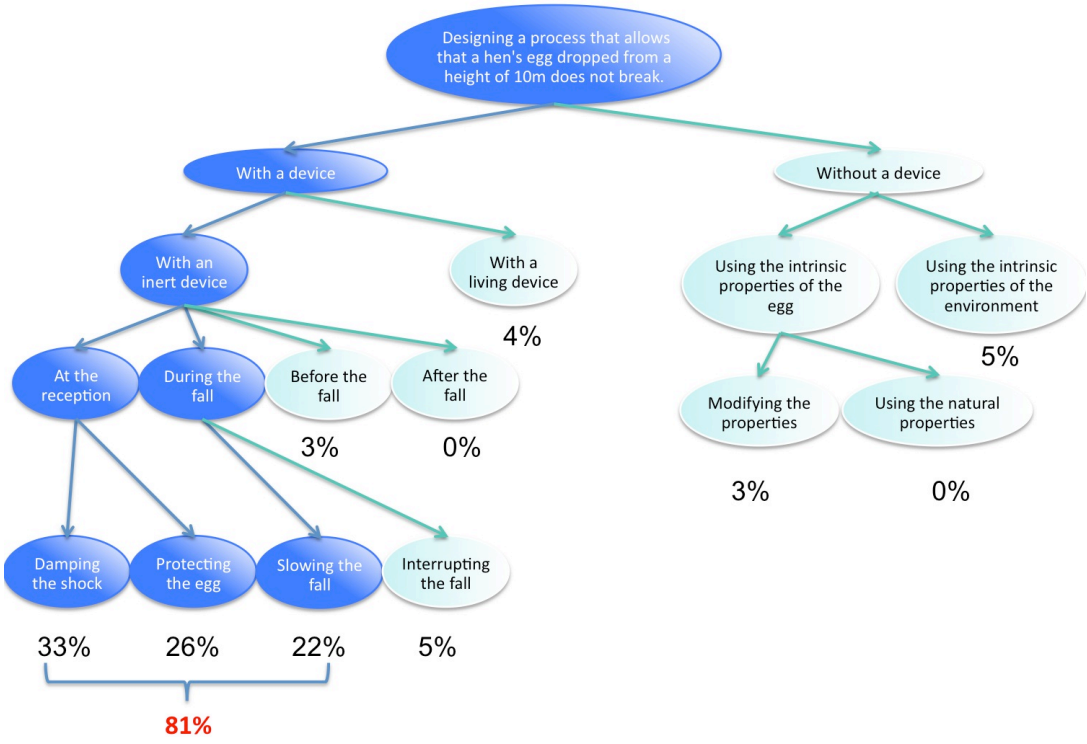


Figure 9. Une fixation systématique : trois variétés d'idées représentent 81% des réponses de la tâche de l'œuf
Source : Agogué et al., 2013

Par ailleurs, la connaissance mobilisée lors d'une tâche de créativité joue un rôle fondamental dans la nature des effets génératifs induits. Par exemple, la base de connaissance relative à la gravité est très peu développée

chez l'enfant : lors de la tâche de l'œuf, un enfant explorera davantage les deux voies « amortir la chute » et « protéger l'œuf » et formulera très peu de solutions touchant aux notions de gravité et de ralentissement de la chute (Agogué, Poirel, Pineau, Houdé & Cassotti, 2014). De la même façon, les directions d'exploration d'un ingénieur et d'un designer ne seront pas les mêmes : un ingénieur ayant une base de connaissances très développée sur la notion de gravité, ce dernier est davantage susceptible de générer des solutions relatives au ralentissement de la chute qu'un designer par exemple (Agogué et al, 2014). La connaissance conditionne ainsi de potentiels effets de fixation et influence fortement les performances génératives du concepteur.

L'impact des **exemples** permet également d'illustrer l'influence de la connaissance sur les capacités génératives : un exemple de connaissance peut être introduit aux participants au début de la tâche de créativité, et, en fonction de sa nature, renforcer la fixation. Agogué et al. (2013) ont en effet montré qu'un exemple restrictif - appartenant à la base de connaissances des participants - aura tendance à favoriser la fixation. A l'inverse, un exemple de solution particulièrement originale et faisant intervenir des bases de connaissances que les participants n'avaient pas encore mobilisées auparavant – exemple aussi appelé exemple expansif – aura tendance à défixer les participants en favorisant l'émergence d'idées originales. Dans le cas de la tâche de l'œuf, l'exemple du parachute - exemple restrictif - renforcera la fixation, tandis que l'exemple du faucon dressé - exemple expansif- favorisera l'originalité et la variété des idées proposées (voir figure ci-après).

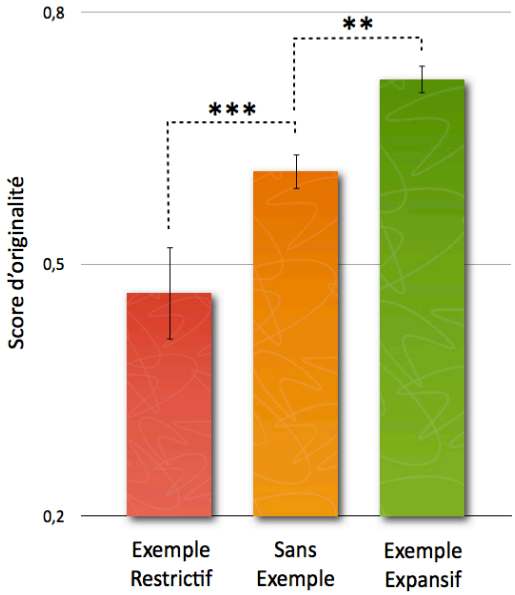


Figure 10. L'impact des exemples sur la génération d'idées en créativité : exemples restrictifs et expansifs
(Source : Thèse de Marine Agogué, 2012)

Nous verrons par la suite que ces effets de fixation existent également lorsque les exemples fournis en début de session sont de nature non-verbale (par exemple, s'il s'agit d'images ou de dessins).

1.3. De nouveaux objets qui réorganisent à leur tour l'espace des connaissances

La conception d'un nouvel objet constitue parfois une rupture importante de l'identité d'une famille d'objets. Une remise en ordre des noms et des définitions dans l'espace des connaissances est alors nécessaire afin de conserver un sens pour les nouveaux et les anciens objets (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014). On parle de **remise en ordre des connaissances**[2]. Pour illustrer ce phénomène, on peut considérer un exercice de conception qui

[2] Dans la suite, nous désignerons également ce phénomène sous le nom de « **K-reordering** » (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014).

consiste à imaginer une chaise outdoor, plus légère et moins chère (voir figure ci-après). Cette proposition de départ crée une tension car on s'attend à ce qu'une chaise « plus légère » fasse intervenir des matériaux coûteux - tels le carbone - et donc soit « plus chère ». Afin de rendre la chaise plus légère, on peut songer à l'alléger en jouant sur ses attributs : le dossier, l'assise ou encore les pieds. Une chaise « sans pieds » serait en effet « plus légère ». L'idée qu'il pourrait exister une « chaise sans pied » oblige à reconsidérer la définition de l'objet « chaise ». Une chaise n'est pas fondamentalement définie comme telle parce qu'elle possède des pieds : elle peut avant tout être vue comme un objet dont la mission principale est de soulager la position assise en aidant notamment à conserver l'équilibre du corps.

Figure 11. Une chaise sans pied ? La Chairless de Vitra

Selon cette définition, la Chairless de Vitra - qui consiste en une ceinture soulageant l'assise en tailleur (voir figure ci-dessus) - répond à la fonction de la chaise, et ce, sans pour autant en présenter les attributs (et notamment, les pieds). Afin de valider le concept d'une telle chaise « plus légère et moins chère », il est tout d'abord nécessaire d'en identifier les usages et les clients potentiels. Par ailleurs, un tel objet remet en question un certain nombre de propriétés entrant habituellement dans la définition de la chaise, notamment les pieds, l'assise et le dossier. Ainsi, l'ensemble des connaissances détenues sur les chaises doit être **réorganisé** afin de donner un sens à ce nouvel objet dans l'espace des chaises existantes. La conception, par les nouveaux objets qu'elle fait naître, s'accompagne donc systématiquement d'une remise en ordre des connaissances mobilisées initialement.

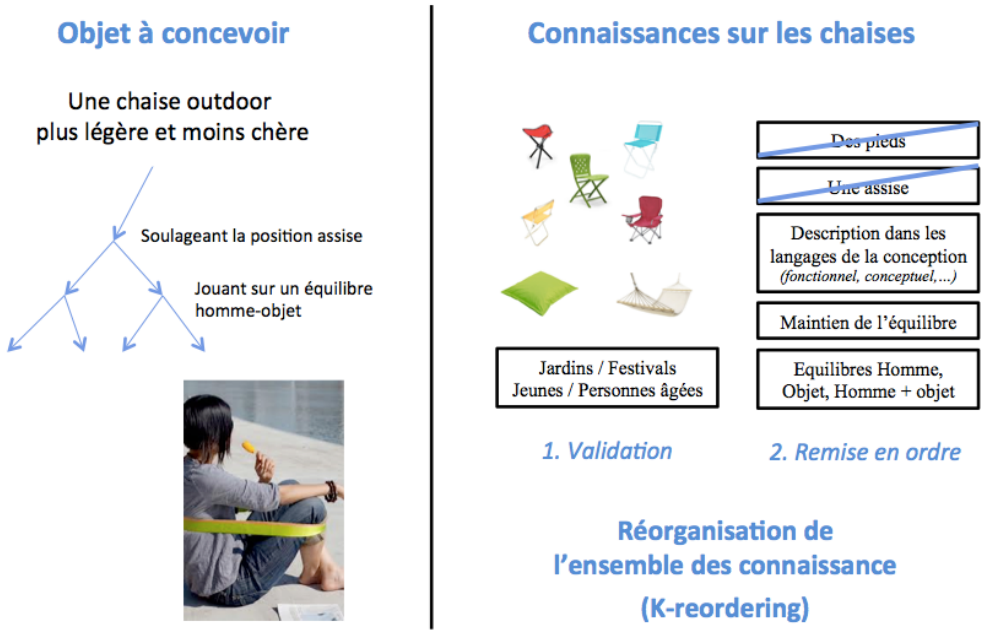


Figure 12. Une remise en ordre des connaissances nécessaire pour intégrer la Chairless de Vitra à l'ensemble des connaissances portant sur les chaises

Si cette opération de remise en ordre des connaissances est nécessaire afin de donner un sens au nouvel objet conçu et de favoriser son intégration dans le connu, ne peut-on pas imaginer qu'une réorganisation des rapports entre connaissances, en amont de la conception, puisse constituer un cadre plus propice à la rupture et favoriser ainsi l'apparition des nouveaux objets ? En d'autres termes, plutôt que de considérer la remise en ordre des connaissances comme une opération de préservation des objets, ne pourrait-on pas imaginer qu'elle puisse constituer une opération de conception ? Que se passe-t-il si on cherche à réorganiser les liens entre connaissances avant de concevoir les nouveaux objets ? La conception serait-t-elle plus rapide ? Une telle question revient finalement à se demander quelle est la place de la structure de connaissance en conception innovante.

2. Du rôle des connaissances au rôle des structures de connaissances en conception : un impact des rapports entre connaissances d'ordinaire bien maîtrisé en conception mais pourtant peu exploité en conception innovante

Un certain nombre d'enjeux associés à la structure des connaissances en conception innovante sont introduits dans les premiers travaux destinés à formuler les enjeux du Knowledge Management pour les organisations. En particulier, Quintas, Lefrere & Jones (1997) affirment qu'il est dangereux de ne pas chercher à remettre en question l'organisation des bases de connaissances à partir desquelles on travaille :

> *« This may be why some firms are blinkered and do not perceive threats from outside their traditional knowledge boundary (e.g. knowledge from new or unfamiliar disciplines, or knowledge about familiar ways of doing business).*

It is clearly difficult to think completely 'outside the box' – to find solutions that are not influenced by one's traditional knowledge boundary, or by the constraints and assumptions of one's organization and one's society. Ideally, the management of knowledge would be carried out by people with 'prepared minds', able to cope with rare yet valuable opportunities such as the discovery of the Penicillin mould (which perhaps had been seen a thousand times in labs, before Fleming noticed it as something unusual rather than annoying). »

Si le hasard ne favorise en effet que les esprits préparés comme l'affirmait Pasteur, peut-être est-ce en effet parce que ces esprits ont pris le temps de remettre en question la façon dont leurs connaissances sont organisées habituellement, et ce, afin de pouvoir identifier plus facilement des connaissances nouvelles, pertinentes et porteuses de valeur pour leur exploration. En effet, la structuration des connaissances peut se révéler extrêmement intéressante en conception : en particulier, la conception réglée s'appuie depuis longtemps sur la structuration afin de développer toujours plus efficacement les nouveaux produits.

2.1. Des structures de connaissances explicitées et valorisées en conception réglée : la recherche de structures de connaissances modulaires et déterministes

En conception réglée, les systèmes de règles développés dans le but d'améliorer la performance de la conception s'appuient bien souvent sur une structuration fine de la connaissance. En effet, des modélisations de connaissances peuvent être proposées afin d'optimiser la performance des produits. De façon générale, ces modélisations permettent de mieux définir le rapport entre les différents éléments constitutifs d'un produit (propriétés,

technologies, etc.): en fonction de la nature de ce rapport, on peut par exemple évaluer la performance du produit. C'est notamment le cas de la théorie axiomatique de Suh (1990, 2001) que nous présenterons ci-dessous. Ces rapports entre les différentes propriétés du produit définissent une certaine structuration de la connaissance : la conception réglée consiste ainsi à évaluer dans quelle mesure ces structures de connaissances sont favorables à la performance du produit. Dans le cas de la conception innovante en revanche, la littérature s'est très peu intéressée aux structures de connaissances favorables à une « bonne » conception. Il faudra ainsi recourir à d'autres domaines de littérature, et notamment aux théories mathématiques de conception des ensembles, pour trouver des indications sur les types de structures de connaissances qui favorisent la conception innovante.

La conception réglée se base notamment sur des représentations de la connaissance qui reflètent le rapport entre les propriétés constitutives du produit. Dans la théorie axiomatique de Suh (1990, 2001), il est question de distinguer les bonnes solutions de conception des mauvaises sur la base du rapport entre deux types de propriétés : d'une part, les fonctions remplies par le produit (notées FR pour Functional Requirements), et d'autres part les paramètres de conception (notés DP pour Design Parameters). Cette représentation DP/FR est souvent utilisée en conception réglée pour décrire la structure de connaissances associée à un produit (Ulrich, 1995). Les FR correspondent aux objectifs du produit, tandis que les DP se réfèrent aux décisions prises par le concepteur pour réaliser le produit (technologies utilisées, matériaux choisis, pièces composant le produit). Pour Suh, toute conception revient ainsi à associer une ou plusieurs fonctions à un ou plusieurs paramètres DP permettant de les réaliser. Ceci revient à représenter l'objet de la conception par une matrice FR/DP. Afin de donner une illustration de cette théorie, on peut prendre le cas de l'aspirateur, un objet du quotidien assez simple (La Masson, Weil & Hatchuel, 2014).

L'aspirateur classique contient un sac composé d'un filtre et d'un contenant : Ce sac est un DP assurant à la fois la séparation air/poussière (FR1) et la rétention de la poussière (FR2). L'aspirateur peut ainsi être représenté par une matrice 2x1 (voir figure ci-après). D'après la théorie axiomatique, la conception d'un produit est optimale lorsque chaque DP permet de satisfaire une et une seule fonction. Cela permet en effet d'ajuster un unique DP pour bien remplir la fonction correspondante, plutôt que d'avoir à ajuster simultanément plusieurs DP et plusieurs FR. La conception optimale est donc réalisée pour des DP/FR découplés, ce qui correspond à une matrice diagonale. Dans le cas de l'aspirateur, l'aspirateur sans sac de Dyson utilise un cyclone (DP1) pour la séparation air/poussière (FR1) et un bac (DP2) pour la rétention de la poussière (FR2) : on obtient ainsi une matrice 2x2 diagonale. Il s'agit donc d'une meilleure conception au sens de l'axiomatique de Suh (voir figure ci-après).

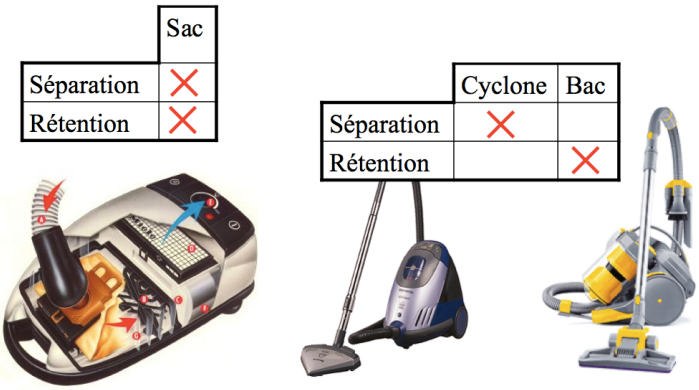


Figure 13. Matrices de Suh de l'aspirateur avec sac (à gauche) et sans sac (à droite)
(Source : Le Masson, Hatchuel & Weil, 2014)

Un tel découplage FR/DP favorise notamment la conception en créant un déterminisme entre fonctions et paramètres de conception. En effet, l'ingénierie apprécie tout particulièrement l'existence de déterminismes dans la structure des produits. Dans le cas d'un produit possédant des DP et des FR

découplés, comme l'aspirateur cyclone, l'ingénieur sait en effet rapidement identifier la source d'un problème potentiel grâce au déterminisme FR/DP : un souci au niveau de la séparation air/poussière viendra nécessairement du cyclone et non du bac, ce sera l'inverse pour un problème de rétention de la poussière. Outre le déterminisme, la modularité est particulièrement appréciée en ingénierie : elle permet en effet de réutiliser le même élément de conception (DP) afin de remplir la même fonction au sein de différents produits. Par exemple, Dyson pourrait utiliser le même système de cyclone pour différents aspirateurs, ou bien Renault, la même poignée de portière pour différentes voitures (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014). Ainsi, la conception réglée repose sur la construction de bases de connaissances privilégiant autant que possible la modularité et le déterminisme entre connaissances.

Si la structuration des connaissances est à l'origine de la performance de la conception réglée, qu'en est-il de la place des structures de connaissances en conception innovante ? Cette structure est-elle aussi bien construite et travaillée par le concepteur qu'en conception réglée ? A-t-elle un rôle sur la performance générative de l'activité de conception ? Si la littérature présente peu de références adressant le rôle du rapport entre connaissances en conception innovante, quelques travaux portant notamment sur la conception de programmes de recherche transdisciplinaires ou encore sur la conception d'objets mathématiques nouveaux, permettent d'appréhender le rôle génératif de la structure de connaissances en conception.

2.2. Des structures de connaissances non explicitées en conception innovante, mais pourtant stratégiques

Dans le domaine de la recherche, de nombreux travaux ont souligné l'intérêt du dépassement des frontières qui séparent habituellement les différentes disciplines. Dans une vision conceptive, un tel dépassement vise à faire émerger des projets de recherche transdisciplinaires originaux et à fort potentiel de valeur. La mobilisation de bases de connaissances n'appartenant pas aux mêmes disciplines permettrait de porter un regard original sur un objet de recherche commun, ou encore de créer des questions de recherche inédites (Horlick-Jones & Sime, 2004). Au contraire de la multidisciplinarité (juxtaposition de disciplines, chacune travaillant de manière autonome) et de l'interdisciplinarité (transfert de connaissances d'une discipline à une autre), la transdisciplinarité cherche en effet à organiser la connaissance autour de bases de connaissances complexes et hétérogènes plutôt qu'autour de bases appartenant à une même discipline (Bruce, Lyall, Tait & Williams, 2004 ; Ramadier, 2004). Cependant, ce croisement de connaissances n'appartenant pas aux mêmes domaines de recherche doit faire face à de nombreuses barrières : la science ainsi que le vocabulaire mobilisé par ses différents domaines devient notamment de plus en plus spécialisé, ce qui rend toujours plus complexe le dialogue entre des domaines hétérogènes (Kostoff, 1999). Par ailleurs, si la recherche d'un bouleversement des points de vue est souvent la motivation de la transdisciplinarité, un tel changement de paradigme est en fait difficilement accepté, notamment lorsqu'il s'agit de valoriser la recherche par la publication (Karniouchina, Victorino & Verma, 2006). Enfin, l'interaction entre chercheurs venant de domaines de recherche hétérogènes entraîne de nombreux problèmes de communication et de coordination. Elle doit parfois faire face à des incompréhensions et à des divergences d'attentes. Ainsi, si remettre en question la structure de connaissance en science paraît être un bon moyen de concevoir des programmes de recherche originaux, une telle restructuration n'est pas pour autant chose aisée. À la suite de l'exemple des disciplines, on comprend aisément que des modes de structuration trop figés des connaissances puissent parfois trouver leurs limites en conception. Mais cet exemple

permet également d'intuiter que la réorganisation des connaissances ne sera pas chose aisée. Aussi est-il nécessaire d'investiguer quels seraient les leviers envisageables afin de restructurer efficacement les connaissances.

Dans une optique de renouvellement de l'identité des objets, on peut tout d'abord se demander s'il n'est pas réducteur de se contenter de décrire un objet selon une unique structure de connaissances : une telle description restreint en effet le vocabulaire dans lequel on peut parler de l'objet, alors que c'est précisément l'usage d'un vocabulaire nouveau qui permet de revisiter les identités d'objets (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). D'autre part, il pourrait être intéressant de savoir si le fait de se reposer sur certaines structures de connaissances pour innover ne serait pas une voie sans issue. En effet, nous avons vu que le langage FR/DP permet d'optimiser le développement de produits en conception réglée. En revanche, l'axiomatique de Suh n'apporte aucun levier au concepteur qui souhaiterait renouveler conjointement ces FR et ces DP, et ainsi revisiter profondément l'identité de l'objet à concevoir. La théorie axiomatique ne fournit en effet aucun protocole pour guider l'ajout simultané de plusieurs FR et de plusieurs DP. Certaines structures de connaissances se révèlent ainsi particulièrement peu génératives. D'ailleurs, Hatchuel et Weil (2003, 2009) considèrent la structure des connaissances comme un paramètre libre de la conception : ceci laisse au concepteur la liberté d'avoir recours à différents types de structures, pouvant se révéler plus ou moins génératives au cours de son exploration.

En effet, si certaines structures de connaissances n'encouragent pas la révision de l'identité des objets, d'autres offrent en revanche un levier génératif particulièrement intéressant pour la conception innovante. C'est par exemple le cas de la représentation des connaissances en matroïdes (Le Masson et al., 2015). Dans cette représentation, les objets à concevoir sont représentés par une association de techniques (voir figure ci-après). Une

telle structuration des connaissances permet de représenter les dépendances et les indépendances entre techniques au sein d'un groupe de techniques donné. Un objet (encore appelé « working system ») est le résultat d'une association de techniques dépendantes les unes des autres : on dira également que ces techniques sont **compatibles**. Une telle structure peut se révéler particulièrement générative dans le sens où la représentation des indépendances permet d'identifier des voies de conception potentielles : la création d'une nouvelle dépendance entre techniques permet en effet d'aboutir à un nouvel objet (voir figure ci-après).

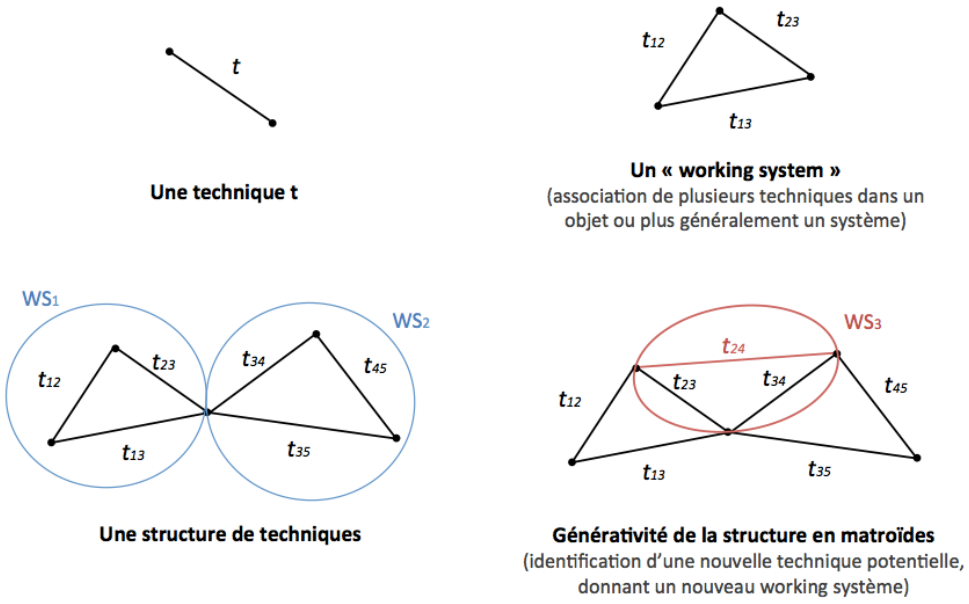


Figure 14. Représentation des connaissances à l'aide des matroïdes : techniques et structures de techniques

La théorie du Forcing de Cohen (1966, 2002) souligne elle aussi l'importance de la structure de connaissances pour la générativité. Cette théorie s'intéresse aux conditions de génération de nouveaux objets mathématiques et propose notamment un protocole pour la construction de nouveaux ensembles dont le détail sera présenté en Partie IV. En particulier, ce protocole ne garantit la création de nouveaux ensembles mathématiques

que si la base de connaissances initiale vérifie une condition particulière : il ne doit y avoir ni modularité ni déterminisme entre les connaissances. Une telle base est alors appelée « splitting ». Le pouvoir génératif de ce type particulier de structures de connaissances a déjà été souligné dans la littérature en conception par Le Masson, Hatchuel et Weil (2016). Les auteurs ont en effet montré que les cours donnés par Itten et Klee au Bauhaus (Itten 1961, 1975; Klee 1922, 1966, 2005) encourageaient les étudiants à construire des structures de connaissances évitant le déterminisme et la modularité, et ce, afin d'atteindre des effets génératifs. En particulier, Itten encourageait ces élèves à casser les déterminismes existants entre matériaux, couleurs et textures (par exemple, le fait qu'un métal soit souvent considéré comme froid et gris, ou un bois comme marron et chaud). Néanmoins les étudiants ne devaient pas pour autant considérer toutes les combinaisons comme équivalentes (absence de modularité). La nouvelle association choisie par l'élève ne devait pas être aléatoire mais porteuse de sens : il devait être capable de justifier son choix.

L'impact de la structure de connaissances mobilisée pour réaliser une exploration dans l'inconnu a également été mis en évidence à travers l'étude du projet Manhattan (Lenfle, Le Masson & Weil, 2016). L'étude du projet ayant permis de concevoir la première bombe atomique permet en effet de mettre en évidence une stratégie très originale de conception, basée sur l'exploration simultanée de différentes solutions. L'exploration s'appuya en particulier sur la création d'une base de connaissances splitting, sans modularité et sans déterminisme, base qui permit notamment de générer différents types d'architecture pour la bombe H.

Même si la littérature en conception innovante ne s'est pas encore attachée à décrire avec précision le rôle génératif de la structure de connaissances au sein du processus de conception, on peut néanmoins intuiter que son impact est significatif. Afin d'étudier le pouvoir génératif des structures de connaissances, nous nous intéresserons dans cette thèse à un

cas particulier de connaissance : la connaissance non-verbale. En effet, nous avons vu avec la conception réglée qu'une structure de connaissances trop codifiée, trop fermée et trop évidente pour le concepteur pouvait parfois constituer un frein à la générativité. Par ailleurs, il n'est pas impossible qu'une telle structure entraîne de forts effets de fixation que le concepteur aura du mal à dépasser pour renouveler l'identité des objets. À l'inverse, des structures de connaissances qui ne seraient pas perçues de façon évidente pourraient faciliter un travail génératif de revisite de l'identité des objets : puisqu'elles ne sont pas gravées dans un système de règles ou dans une représentation particulière, elles pourraient éventuellement se révéler plus flexibles et plus rapidement rediscutables. Une connaissance non verbalisée, portée par des médias non-verbaux tels que le dessin, les images ou encore l'impression 3D constitue un cas particulièrement intéressant de structure de connaissances non apparente pour le concepteur. En effet, nous verrons qu'une conception réalisée à travers des dessins d'ébauche ne rend absolument pas évidente la lecture de la structure des connaissances associée à l'objet en train d'être conçu. L'étude de ce type de conception pourrait ainsi présenter une probabilité plus importante de faire apparaître des phénomènes intéressants concernant la générativité des structures de connaissances en conception innovante. Le chapitre suivant présente ainsi un état de l'art associé à ces modes particuliers de conception mobilisant les médias non-verbaux.

Chapitre II - De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : potentiel et difficultés de l'étude du non-verbal pour comprendre le rôle des structures de connaissances en conception innovante

Les structures de connaissances non-verbales portées par des médias tels que les dessins, les images ou les maquettes jouent un rôle important dans le processus de conception artistique ou encore architectural. Cette façon originale de créer n'est pas réservée qu'aux seules communautés artistiques : les ingénieurs et les scientifiques utilisent fréquemment des modes de pensée non-verbaux lorsqu'ils réfléchissent à de nouveaux concepts : les prototypes, les graphes, les cartes ou encore les symboles mathématiques sont souvent utilisés pour accélérer les premières étapes du processus de conception et favoriser ainsi l'émergence d'innovations technologiques (Ferguson, 1977, 1992). Aujourd'hui, les grandes compagnies commencent à promouvoir l'usage de médias et d'outils non-verbaux dans le but de soutenir l'esprit d'innovation. Cette tendance est confirmée par le succès de méthodes telles que le Lego Serious Play (Roos & Victor, 1999), le « rush to prototype » d'IDEO (Kelley & Littman, 2001) ou encore par le développement de FabLabs au sein de grandes organisations. Plus généralement, les espaces créatifs où les employés peuvent dessiner, prototyper ou utiliser l'impression 3D, deviennent de plus en plus courants au sein des entreprises et constituent bien souvent un espace de choix pour organiser des sessions de génération d'idées (Lewis & Moultrie, 2005 ; Haner, 2005).

Cependant, si le non-verbal est souvent utilisé dans le but de favoriser l'émergence d'idées innovantes, les mécanismes impliqués dans cette capacité générative du non-verbal restent difficiles à saisir. Par ailleurs, plusieurs travaux de recherche en conception, en architecture, ou encore en créativité, ont souligné des contradictions concernant la façon dont le non-verbal contribue au processus de création. D'un côté, le non-verbal est souvent présenté comme un outil utile, qui améliore le processus de conception (Goldschmidt, 1991; Ferguson, 1992) en offrant au concepteur un feedback instantané sur les idées explorées (Schön & Wiggins, 1992; Goldschmidt, 2003) et en apportant au concepteur de l'information nouvelle (connaissances ou idées) (Schön, 1983; Suwa et al., 2001). En revanche, d'autres travaux de recherche en conception et en créativité ont montré que le non-verbal ne favorise pas nécessairement la génération d'idées innovantes (Anderson & Helstrup, 1993 ; McGown, Green & Rodgers, 1998 ; Rodgers, Green & McGown 2000 ; Verstijnen, Van Leeuwen, Goldschmidt, Hamel & Hennessey, 1998 ; Verstijnen, Heylighen, Wagemans & Neuckermans, 2001). Plus encore, le non-verbal peut parfois provoquer d'importants effets de fixations, ces derniers impactant négativement la génération d'idées (Smith, Ward & Schumacher, 1993 ; Atilota, Tomko & Linsey, 2015).

Dans ce chapitre, nous verrons que l'étude des structures non-verbales présente un fort potentiel pour la compréhension du rôle de la structuration des connaissances en conception (section 1) mais qu'elle se révèlera également difficile à mener. En effet, les contextes d'usages du non-verbal sont variés et ne visent pas tous les mêmes objectifs (section 2). Par ailleurs, l'impact du non-verbal sur la conception est parfois difficile à percevoir car les effets génératifs associés ne sont pas toujours systématiques et peuvent être parfois négatifs (section 3).

1. Un fort potentiel de l'étude du non-verbal pour la compréhension du rôle de la structure des connaissances en conception

Le non-verbal est très souvent utilisé par des concepteurs tels les architectes ou encore les scientifiques car il apporte une grande flexibilité. C'est en particulier cette flexibilité qui pourrait favoriser l'observation d'effets génératifs originaux. En effet, le non-verbal aiderait le concepteur à mieux analyser l'information et à mieux la réinterpréter, accélérant ainsi le processus de conception. Par ailleurs, les structures de connaissances non-verbales présentent souvent une ambiguïté favorisant la lecture de nouvelles informations, venant enrichir à leur tour le processus de conception.

1.1. De la flexibilité des structures de connaissances non-verbales : une accélération du traitement de l'information et une réinterprétation des idées favorisée à l'échelle individuelle

Le non-verbal présente de nombreuses qualités permettant de soutenir le processus de conception. Certaines études montrent que les médias non-verbaux peuvent soutenir la pensée en facilitant le traitement de l'information. Tversky (1999) explique en effet que le dessin se révèle être une béquille cognitive permettant au concepteur d'externaliser ses idées. Parce qu'un média non-verbal créé par un concepteur diffère dans la forme et le contenu de l'idée qu'il représente, ce dernier ne constitue pas une présentation d'une idée donnée mais une certaine représentation de celle-ci (Suwa & Tversky, 1997). Par exemple, un architecte choisira en général de ne pas représenter dans ses croquis tous les éléments constitutifs du bâtiment qu'il dessine : il peut inclure dans le dessin des informations qu'il considère

importantes (côtes, échelles) ou bien éliminer des informations jugées non pertinentes (par exemple, le détail des pierres d'une façade). Les médias non-verbaux constituent ainsi un outil cognitif très important. En particulier, le non-verbal améliore la mémoire et la pensée (Goel, 1995) et permet un traitement rapide de l'information visuelle et spatiale. Par ailleurs, Schön et Wiggins (1992) soulignent que le non-verbal offre au concepteur un feed-back instantané sur son travail, feed-back se révélant très économique cognitivement.

Ce traitement rapide de l'information soutient ainsi le processus de conception et peut faciliter la fluidité de l'exploration réalisée par le concepteur. Cependant, le fait que le non-verbal accélère le processus ne signifie pas nécessairement qu'il y contribue ou qu'il l'enrichisse en améliorant l'originalité des idées proposées : il pourrait agir comme un catalyseur du processus sans pour autant rien changer au résultat obtenu. Pour comprendre comment le non-verbal facilite la production d'un objet original, des effets génératifs plus forts doivent être identifiés.

Afin de mieux identifier ces effets génératifs, Van der Lugt (2000, 2002, 2005) s'est notamment intéressé à la façon dont l'information est traitée au sein d'un processus de conception comportant du non-verbal. Il étudie en particulier la façon dont la représentation des concepts à travers des médias non-verbaux impacte les sessions de générations d'idées. Notamment, il identifie trois rôles potentiels du dessin pendant la session de créativité. Premièrement, le dessin pourrait éventuellement soutenir la réinterprétation des idées durant le processus de pensée individuelle (en relation avec une fonction appelée « thinking ») : il aiderait l'individu à enrichir et transformer ses propres idées. Deuxièmement, dessiner permettrait d'améliorer la réinterprétation des idées d'autrui (en relation avec une fonction appelée « talking ») : il aiderait l'individu à rebondir sur une idée qui n'est pas la sienne pour générer d'autres idées. Enfin, dessiner les idées pourrait offrir un meilleur accès aux idées formulées précédemment

dans le groupe, remplissant une fonction appelée « storing » : il serait potentiellement plus aisé de se rappeler des idées formulées précédemment dans le groupe si elles sont représentées sous forme de dessins. Dans son étude, Van der Lugt compare deux processus distincts : le brainstorming traditionnel avec post-its et le processus de brainsketching durant lequel les participants notent leurs idées sous forme de dessins (et non sous forme de mots comme dans le brainstorming avec post-its). Dans les sessions de générations d'idées impliquant des designers industriels, il apparaît que le brainstorming génère un nombre plus important d'idées que le brainsketching, tandis que ce dernier fournit un meilleur accès aux idées formulées par le groupe et soutient la réinterprétation individuelle des idées.

En d'autres termes, grâce au dessin, un individu est davantage capable de réinterpréter ses propres idées, de les améliorer et de les transformer. Cette réinterprétation favorise le processus créatif dans le sens où elle offre de nouvelles façons de voir une représentation dessinée et fournit de nouvelles directions pour la génération d'idées (Purcell & Gero, 1998). Ainsi le non-verbal aiderait non seulement le concepteur à traiter et à organiser l'information, mais il pourrait également apporter à ce dernier de l'information nouvelle : cette information nouvelle pourrait ensuite être utilisée par le concepteur afin d'enrichir ses propositions créatives.

1.2. Une grande probabilité d'observer des effets génératifs forts grâce aux structures non-verbales : de nouvelles informations venant enrichir le processus de conception

Lors d'une situation de conception, le non-verbal fournit aux concepteurs de nouveaux insights, favorisant ainsi la génération d'idées (Schön, 1983; Suwa et al. 2001). Par exemple, les croquis réalisés à la main, souvent denses et ambigus, permettent aux concepteurs de lire de nouvelles informations et de nouvelles idées dans leurs dessins (Goel, 1995). En

particulier, la façon dont les architectes interagissent avec leurs dessins a été minutieusement décrite par Goldschmidt (1991, 2003) qui parle d'un véritable dialogue entre le concepteur et ses croquis. L'architecte est capable de lire de nouvelles informations dans ses dessins et enrichit ainsi sa réflexion à l'aide de ces nouveaux éléments. Dans le cas de séquences de dessin, de l'information invisible est également présente sur le papier, contenue entre les blancs séparant les différents dessins (Goldschmidt, 2003). Les croquis d'une même page peuvent en effet être reliés les uns aux autres : même si cette relation n'est pas visible sur le papier, elle renvoie à de l'information comprise au sein de la séquence de dessins.

Goldschmidt (1991) tente par ailleurs d'expliquer la capacité surprenante du dessin à générer de l'information nouvelle à travers l'analyse de plusieurs séquences de croquis réalisées par des architectes. Durant des sessions de créativité à voix haute, il a été demandé à plusieurs architectes de verbaliser leurs pensées alors même qu'ils dessinaient. Les séquences de propositions ainsi formulées par les architectes ont ensuite été analysées. Il apparaît deux types de propositions : des propositions que Goldschmidt nomme « seeing as » (« voir comme ») et des propositions appelées « seeing that » (« voir que »). Le designer « voit comme » lorsqu'il formule des propos figuratifs - qui se réfèrent à la description un objet réel - tandis qu'il « voit que » lorsqu'il formule des propositions non-figuratives. Par exemple, concernant l'exécution d'un plan de bâtiment, le concepteur peut voir son dessin « comme » un puzzle (objet figuratif) ou bien voir « qu'il » s'agit d'un bon moyen de résoudre le problème initialement posé (proposition non-figurative). L'analyse fait par ailleurs apparaître une alternance régulière de propositions « seeing as » et « seeing that ». Les propositions « seeing as » favorisent la représentation visuelle, picturale : cette dernière aide le concepteur à traduire de l'information descriptive et verbale, en une information figurative et non-verbale. En retour, l'information non-verbale peut également être traduite pour en extraire de nouvelles informations

verbales (Fish & Scrivener, 1990). C'est de cette dynamique de lecture alternée que naissent les informations nouvelles.

2. De la difficulté à analyser les structures non-verbales en conception : une variété de motivations et de contextes d'usage

Si l'ambiguïté d'un média non-verbal permet à un concepteur d'y lire de nouvelles informations, cette ambiguïté pourrait également rendre particulièrement difficile l'analyse des structures de connaissances non-verbales, et en particulier, l'analyse de leur apport au processus de conception. En effet, ces médias sont souvent interprétables uniquement par la personne qui les conçoit. Par ailleurs, on retrouve ces médias non-verbaux à différentes étapes du processus de conception : de la phase de génération d'idées, à la présentation de l'idée finale à des personnes extérieures au processus de conception. À toutes ces étapes, le non-verbal est susceptible de remplir différents types de fonctions : en particulier, il sera susceptible de produire des effets génératifs à différents moments du processus de conception. Enfin, le non-verbal possède une grande variété d'usages qui eux-mêmes s'accompagnent de contextes organisationnels variés. Cette section investigue ainsi la multiplicité des motivations et des contextes d'usage du non-verbal, une multiplicité qui accroit la difficulté associée à l'analyse de l'impact du non-verbal en conception.

2.1. Un rôle du non-verbal en conception difficile à analyser

Le non-verbal a depuis longtemps été associé à la conception : faisant partie intégrante du processus de pensée des ingénieurs, des architectes ou encore des artistes, les outils non-verbaux sont réputés pour contribuer

fortement au processus de conception (Ferguson, 1992). Par exemple, les dessins d'ébauche réalisés par les architectes sont reconnus pour leur capacité à favoriser la génération d'idées originales (Goldschmidt, 1991; Goel, 1995). Cependant, si le non-verbal peut aider un concepteur à être innovant en favorisant l'originalité et la variété de ses idées, la nature et les causes de cette capacité générative restent difficile à saisir. Pour reprendre l'exemple de l'architecte, ses dessins d'ébauche ne sont souvent compréhensibles que par lui-même (Goldschmidt, 1991) et ne sont pas aisément traductibles sous forme de mots (Ferguson, 1977). L'exemple du dessin d'esquisse de Franck Gehry marquant les prémices de la Fondation Louis Vuitton (voir figure ci-après) illustre très bien ce phénomène. Cependant, même si la tâche semble ardue, être capable de comprendre la façon dont le non-verbal interagit avec le processus de conception, et plus particulièrement, influence l'émergence d'idées nouvelles et originales, serait susceptible d'apporter des éléments intéressants pour les théories et méthodes de la conception. Dans la suite de la thèse, il sera ainsi nécessaire de développer des méthodes d'analyse susceptibles de dépasser cette difficulté posée par l'ambiguïté du non-verbal.

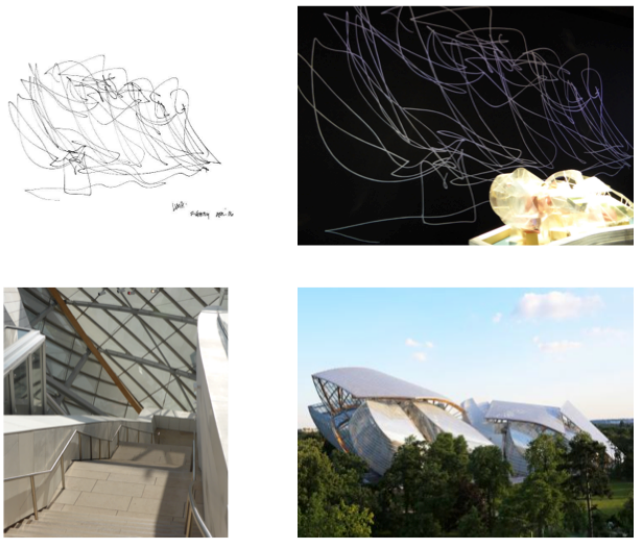


Figure 15. Conception de la Fondation Louis Vuitton : Première esquisse de Franck Gehry (en haut, à gauche), maquette du projet (en haut, à droite), vue de l'intérieur du bâtiment fini (en bas, à gauche) et vue d'ensemble (en bas, à droite)

2.2. Des médias non-verbaux présents à différentes étapes du processus de conception

Souvent associé aux premiers instants de la création, le non-verbal peut cependant intervenir à différents stades du processus de conception. Dans son livre *Engineering and the Mind's Eye*, Ferguson (1992) souligne l'importance de la pensée non-verbale pour l'ingénierie : les maquettes, les images, les dessins jouent selon lui un rôle majeur dans l'émergence des innovations technologiques. Il distingue en particulier trois catégories de dessins : tout d'abord, des dessins de type « thinking » (penser) esquissés par un ingénieur recherchant de nouvelles idées, puis des dessins de type « talking » (parler) exécutés par deux ingénieurs afin d'échanger et de communiquer, et enfin des dessins de type « prescriptive » (normatif) réalisés dans le but de plaire ou de convaincre des personnes n'ayant pas participé au processus de conception (Dans une agence d'architecture, ce sera par exemple le cas des livrables présentés aux clients). Ces catégories permettent également de distinguer différents types de médias non-verbaux (voir figure ci-après).

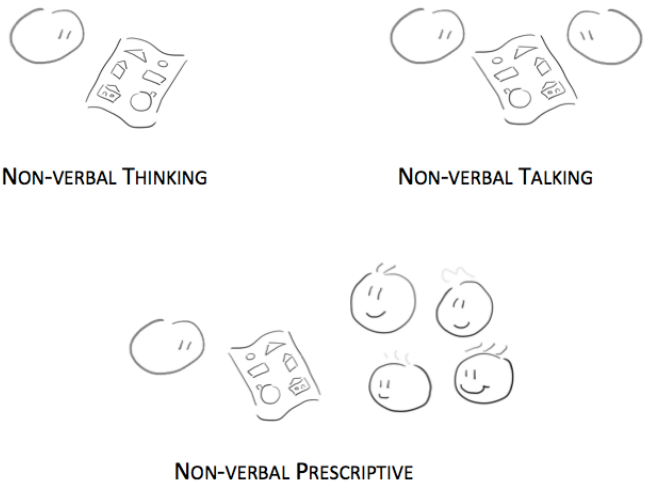


Figure 16. Les trois types de médias non-verbaux d'après Ferguson (1992) : Thinking, Talking, Prescriptive

Bien que les différentes catégories établies par Ferguson sont nommées d'après des propriétés du dessin (« thinking », « talking » ou « prescriptive »), ces catégories sont en fait basées sur la nature des parties prenantes impliquées dans l'usage du dessin : un concepteur seul (dessin de type « thinking »), deux concepteurs échangeant des informations (dessin de type « talking ») ou bien un ou plusieurs concepteurs communiquant avec des personnes extérieures au processus de conception (dessin de type « prescriptive »). Ainsi, un media non-verbal de type « talking » au sens de Ferguson peut très bien être utilisé par deux concepteurs pour échanger des informations mais aussi pour générer des idées ou encore pour se convaincre l'un l'autre. Il est donc important de souligner que la génération de concepts n'est pas nécessairement associée aux seuls médias non-verbaux de type « thinking » (lorsque le concepteur travaille seul) : la naissance d'un nouveau concept peut bien évidemment se produire quelque soit le jeu des parties prenantes, et donc, que l'on manipule des médias de type « thinking », « talking » ou « prescriptive » au sens de Ferguson. Ce dernier soulignait d'ailleurs que c'est le pouvoir génératif du non-verbal, c'est-à-dire sa capacité à donner naissance à de nouvelles idées, qui justifie son implication dans toutes les étapes de la conception (Ferguson, 1992). Dans la suite de la thèse, il sera nécessaire de prendre en compte cette présence potentielle d'effets génératifs du non-verbal à différentes étapes du processus de conception. Par ailleurs, il sera nécessaire de garder en mémoire le fait que la générativité du non-verbal n'est pas systématiquement associée à un jeu d'acteurs unique et pourra être influencée par la façon dont ces acteurs s'organisent entre eux. Dans le paragraphe suivant, nous introduisons ainsi quelques généralités sur le management de sessions de créativité, afin de pouvoir notamment discuter par la suite du rôle du leader dans la performance du non-verbal en conception collective.

2.3. Du non-verbal pour l'usage collectif : spécificités du management de groupe en session de créativité

Si l'architecte, l'artiste ou le scientifique est souvent amené à créer seul, l'usage du non-verbal à des fins génératives pourra être organisé de façon collective. Dans les entreprises notamment, des espaces destinés à encourager la créativité et l'innovation sont aujourd'hui de plus en plus développés et proposent aux salariés un accès à une large gamme de matériel non-verbal : post-its, paperboard, feutres - ou encore à du matériel TIC comme des découpeuses laser ou encore des imprimantes 3D (Lewis & Moultrie, 2005). Si les outils non-verbaux sont de plus en plus mobilisés lors des sessions de génération d'idées collectives, c'est parce qu'ils sont réputés pour améliorer la créativité du groupe, favorisant ainsi l'émergence d'idées à la fois originales et pertinentes (Sternberg & Lubart, 1999).

Tenter de renforcer la générativité d'un groupe par différents moyens, et notamment par l'usage de médias non-verbaux, peut contribuer à contrebalancer l'impact négatif du collectif sur la créativité. En effet, la capacité créative d'un groupe est moins importante que celle d'un individu isolé (Diehl & Stroebe, 1987; Mullen, Johnson & Salas, 1991; Stroebe & Diehl, 1994). Ceci s'explique par deux phénomènes : l'effet de conformité (il sera plus difficile pour un participant d'oser formuler devant les autres une idée s'éloignant de la norme) et la paresse sociale (un individu se sent moins investi dans la réalisation d'une tâche lorsque cette dernière est placée sous la responsabilité du groupe et non sous sa seule responsabilité). Ces deux effets impactent négativement la créativité en collectif et viennent même renforcer les effets de fixation individuels (Kohn & Smith, 2010). Or, concernant l'usage du non-verbal dans le but de contrebalancer cet impact négatif du groupe, on peut s'attendre à ce que les médias non-verbaux présentent en session collective les mêmes impacts cognitifs - positifs comme négatifs - qu'en conception individuelle. Par ailleurs, la dynamique du groupe

pourrait elle aussi venir influencer de façon contrastée les effets du non-verbal observés dans le cas individuel.

La mobilisation de médias non-verbaux en session collective s'accompagne en effet de configurations organisationnelles variées. De façon générale, la gestion des sessions de créativité peut prendre des visages multiples et n'est pas forcément associée à un profil professionnel particulier : le leader de la session peut très bien être un chef de projet, responsable d'un projet spécifique au sein de l'entreprise, aussi bien qu'un facilitateur, qui sera expert en management de sessions collectives et pourra intervenir sur différents types de projets. Parfois, des profils artistiques comme des designers, des illustrateurs ou encore des metteurs en scène, peuvent être mobilisés pour diriger des sessions de créativité. En outre, ce rôle peut être incarné aussi bien par des salariés de l'entreprise que par des personnes extérieures. Si différents types de profils peuvent prendre la direction de sessions de génération d'idées, différents modes de management ou encore différents styles de leadership peuvent également être mobilisés.

Le leadership correspond à la capacité d'influencer une équipe et de prendre des décisions dans le but d'améliorer la performance globale de cette équipe (Hernon & Rossiter, 2006). Ceci peut être réalisé selon différentes politiques – démocratiques, transactionnelles ou encore transformationnelles - (Bass, 1985, 1991 ; Van Vugt, Jepson, Hart & De Cremer, 2004). Mais le leadership sera appelé « créatif » lorsque le leader est capable de diriger un groupe ou une organisation vers des voies nouvelles et innovantes (Mueller, Goncalo & Kamdar, 2011). Dans l'étude des effets génératifs des structures de connaissances non-verbales, c'est à ce dernier type de leadership que nous nous intéresserons. Les leaders créatifs sont en effet capables de générer eux-mêmes de nouvelles idées mais aussi d'aider à améliorer la créativité d'autres membres de l'équipe. En plus des compétences traditionnelles du management que sont la planification,

l'analyse et la prise de décision, Palus et Horth (2005) expliquent que les leaders créatifs doivent posséder une capacité d'écoute active et être capables de développer des connexions entre les passions personnelles des membres de l'équipe et leur travail quotidien. Les leaders créatifs doivent aussi aider à créer du sens en favorisant le recours à l'image. Pour fournir ces images, ils sont encouragés à utiliser des outils non-verbaux tels que le dessin à la main ou encore les collages créatifs. Ceci permettrait de mobiliser plus facilement l'intuition et la sensibilité des membres du groupe, contribuant ainsi à la créativité de l'équipe. L'usage du non-verbal pour rendre le groupe plus créatif est ainsi largement encouragé. En sessions de créativité collectives, ce n'est cependant pas « un » usage mais « des » usages du non-verbal qui pourront être réalisés, rendant, là encore, l'analyse de la générativité des structures non-verbales toujours plus complexe.

2.4. Du non-verbal pour répondre à une large typologie d'usages

Dans la pratique, les facilitateurs utilisent le non-verbal pour répondre à des buts très variés. Kristensen (2004) propose de décomposer le processus de conception en quatre sous-processus afin de mieux comprendre l'intervention du non-verbal dans la conception :

- La création de valeur qui consiste à identifier en point de départ un concept initial ;
- Le « scaffolding » (échafaudage) : tout processus créatif se déroule dans un cadre particulier qui comprend aussi bien certains objets physiques que la pièce dans laquelle a lieu la session de génération d'idées ;
- L'imagination qui correspond à la représentation de ce qui n'existe pas encore (Brann, 1991). Elle consiste en l'intégration de nouvelles connaissances pour créer de nouvelles représentations et doit être

documentée à la fois par des descriptions verbales et non-verbales (Horn, 1998) ;

- La matérialisation, un process qui transforme le concept en objet matériel.

Chaque sous-processus de Kristensen (2004) correspond à un usage du non-verbal pour un objectif donné. Par exemple, une maquette être utilisée pour mieux visualiser un problème initial : dans une approche de création de valeur, la maquette fournit l'information visuelle et spatiale nécessaire à la compréhension du problème (Ferguson, 1992). Un espace créatif ainsi que du matériel non-verbal peuvent aussi être mobilisés dans le seul but de créer une atmosphère stimulante (scaffolding process). Des signes non-verbaux comme des images ou des objets physiques peuvent fournir de l'information nouvelle aux participants ou encore inspirer de nouvelles idées, ce qui correspond ainsi à la phase d'imagination. Enfin, le non-verbal peut être utilisé dans une approche de matérialisation afin de donner un aperçu pratique des idées générées et de les évaluer : par exemple, le prototypage permet de tester la faisabilité d'un concept mais aussi d'évaluer la facilité d'usage - la future expérience utilisateur - de nouveaux produits ou services (Kelley & Littman, 2001; Weiss, 2002).

Dans la pratique, si le leader créatif mobilise du non-verbal en session de créativité, c'est tout d'abord dans le but de développer un climat favorable à la génération d'idées. La création d'une atmosphère favorable répond à la logique de « scaffolding » de Kristensen. En effet, l'espace dans lequel se tiennent les sessions de créativité semble jouer un rôle de plus en plus important aux yeux des entreprises. Ces dernières se révèlent soucieuses de la façon dont est organisé cet environnement physique de l'innovation (Haner, 2005). On compte de plus en plus d'espaces dédiés spécifiquement à la créativité et à la génération d'idées : Studios Design, Creative Labs, Innovation Rooms ou encore Fablabs. Ces espaces mettent à disposition des

salariés du matériel non-verbal comme par exemple des post-its, des stylos, des feutres, des paperboards, des images, de grands tableaux blancs, et parfois, des imprimantes 3D, tout ceci dans le but de créer une atmosphère d'émulation et de créativité. Cependant, le non-verbal n'est pas seulement mobilisé afin de créer un environnement favorable (scaffolding process) : il peut être utilisé pour contribuer directement à la génération de nouvelles idées (imagination process).

Dans ce contexte de génération d'idées, trois modes d'utilisation du non-verbal peuvent être distingués: la stimulation visuelle, le réarrangement et la création. Dans des protocoles de stimulation visuelle, des images ou des objets physiques sont montrés aux participants qui doivent s'en inspirer afin de générer de nouvelles idées. Michalko (2010) propose par exemple de s'inspirer de hiéroglyphes égyptiens dans le but d'imaginer de nouveaux concepts. D'autres protocoles proposent au contraire de manipuler plus activement les médias non-verbaux, en les réarrangeant : par exemple, en les modifiant légèrement ou encore en les combinant entre eux (protocole de réarrangement). C'est le cas des collages créatifs qui consistent à associer des images variées et de les déplacer, jusqu'à ce qu'un sens émerge et l'ensemble inspire une nouvelle idée au groupe. Enfin, le non-verbal peut être mobilisé au sein de protocoles de création où il s'agit de générer des objets qui expriment une idée totalement différente du matériel initial desquels ils sont issus : c'est le cas par exemple dans le brainsketching (où on génère un dessin à partir d'une feuille blanche), dans la méthode Lego Serious Play (Roos & Victor, 1999) ou encore dans le processus « rush to prototype » du groupe IDEO (Kelley & Littman, 2001). Les illustrations de chacun des trois modes d'usage du non-verbal (stimulation visuelle, réarrangement et création) sont illustrés dans la figure ci-après.

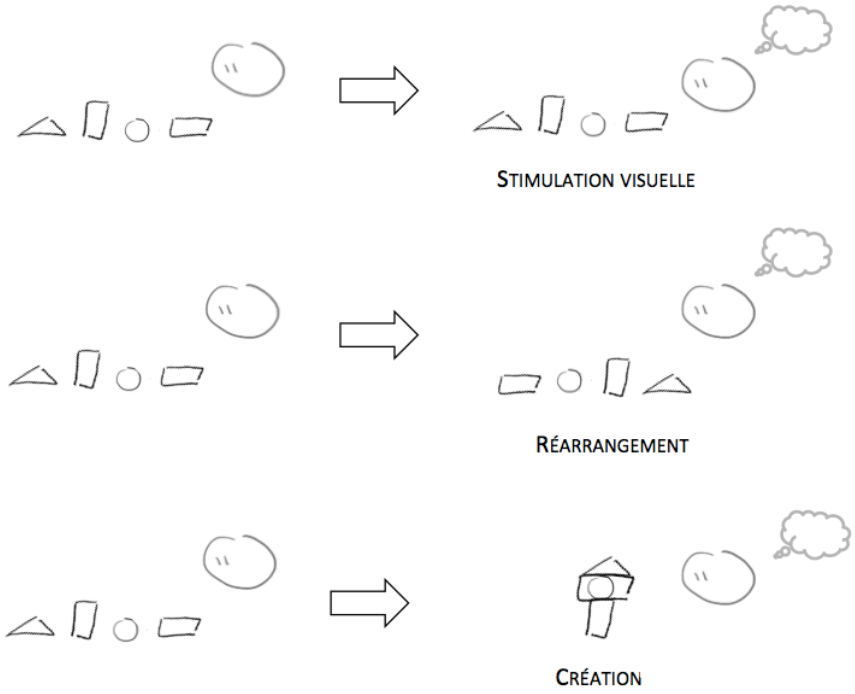


Figure 17. Trois modes d'usage du non-verbal en session de créativité

Aussi n'est-il pas rare lors des sessions de créativité que le facilitateur utilise du non-verbal pour aider les participants à générer de nouvelles idées. De plus, l'éventuelle intervention d'un designer ou d'un illustrateur permettra de créer des médias non-verbaux dans le but de favoriser la visualisation de concepts déjà générés ou en devenir (Weiss, 2002). Horn (1998) explique par ailleurs que le non-verbal permet d'apporter aux participants des informations nouvelles, opération qui constitue le cœur de la génération d'idées. Cependant, il a été vu précédemment qu'un apport de connaissance nouvelle peut avoir sur l'individu un effet aussi bien positif que négatif, et ce, en fonction de la nature restrictive ou expansive de la connaissance. Aussi est-il légitime de se demander si ce phénomène se retrouve également dans le cas de structures de connaissances non-verbales utilisées à des fins génératives.

3. Des effets génératifs du non-verbal non systématiques et parfois négatifs : savoir identifier les effets de fixation potentiels

Si l'analyse de l'impact des structures non-verbales est rendue complexe par des contextes organisationnels et des usages variés, elle pourrait également se complexifier en cas d'effets génératifs contrastés. Nous avons vu en effet que le non-verbal peut venir enrichir le processus de conception en apportant au concepteur de l'information nouvelle. Cette dernière est réputée pour avoir un impact positif car elle peut potentiellement contribuer à renforcer l'originalité de l'exploration. Cependant, nous allons voir que les effets du non-verbal sur la générativité ne sont pas systématiques, et pas toujours de la même nature.

3.1. Une contribution du non-verbal non systématique

McGown, Green et Rogers (1998, 2000) montrent en effet que la façon de mobiliser le non-verbal au cours de la conception joue un rôle déterminant dans sa capacité générative. Les auteurs étudient en particulier la relation entre la stratégie employée par un concepteur pour générer des idées nouvelles et la qualité de son exploration. Analysant des séquences de dessins exécutées par des designers industriels, McGown, Green et Rogers se sont tout particulièrement intéressés aux opérations réalisées par le concepteur pour passer d'un dessin à l'autre. Dans leurs études, la stratégie de conception a pu être modélisée en distinguant deux types de transformations : des transformations dites « verticales » qui désignent le passage d'une idée à une version plus détaillée de la même idée ; et des transformations appelées « latérales » qui désignent le passage d'une idée à une idée très différente (Goel, 1995). Les études de McGown, Green et Rogers montrent que toutes les explorations réalisées à l'aide du dessin ne

présentent pas systématiquement des effets génératifs positifs. Les conceptions complètes et de qualité étaient en effet le résultat des stratégies d'exploration présentant un bon équilibre entre les deux types de mouvements (verticaux et latéraux). En particulier, les auteurs ont pu observer que les transformations de type latéral se produisent grâce à l'ambiguïté des dessins, ambiguïté qui apporte de nouveaux insights au designer (Goel, 1995) et aide à réorienter l'exploration. Ainsi, si un concepteur souhaite produire à la fois des idées originales et variées, ses dessins doivent apporter de nouveaux insights non pas une fois, mais plusieurs fois au cours du processus de conception, qui plus est à différentes étapes du processus. Les résultats de l'étude suggèrent ainsi que les stratégies d'usage du non-verbal peuvent être plus ou moins efficaces et plus ou moins contrôlées. Ainsi apparaît-il important de comprendre de façon précise la nature des interactions qui se produisent entre le raisonnement du concepteur et le média non-verbal qu'il génère au cours de son exploration. Pour ce faire, il sera nécessaire dans la suite de la thèse de pouvoir modéliser de façon détaillée la stratégie de conception mobilisée par le concepteur.

Les études de McGown, Green et Rogers montrent ainsi que des effets positifs du non-verbal ne sont pas obtenus de façon systématique. D'autres études permettent même d'aller plus loin en démontrant que les structures de connaissances non-verbales peuvent parfois impacter de façon négative le processus de conception : ces dernières pourrait en effet favoriser des effets de fixation, réduisant ainsi fortement la capacité d'un individu à générer des idées variées et originales.

3.2. Des effets de fixation desservant le processus de conception individuel

Si le phénomène de fixation a été présenté dans le chapitre précédent à travers des exemples verbaux, la conception réalisée à travers des supports non-verbaux n'est pour autant pas épargnée par la fixation. Nous avons vu en effet que la fixation est présente dans toutes les situations de conception et constitue un véritable piège cognitif. Travailler dans le non-verbal n'affranchit malheureusement pas le concepteur de ces effets de fixation. Ceci est très bien illustré par l'anecdote du citron selon laquelle le peintre Itten, après avoir demandé à ses étudiants du Bauhaus de dessiner un citron, se montre contrarié du fait que tous ses élèves aient dessiné un citron entier : aucun d'entre eux n'avait eu l'idée de représenter l'intérieur du citron afin d'en exprimer l'acidité, en le représentant coupé en deux par exemple (Itten, 1975).

Par ailleurs, des exemples non-verbaux peuvent également renforcer encore davantage la fixation. Smith, Ward et Schumacher (1993) ont en effet montré que des exemples comportant une grande part de non-verbal pouvaient également favoriser les effets de fixations. Alors que l'on peut avoir tendance à penser qu'un dessin est plutôt défixant, l'étude de Smith, Ward et Schumacher (1993) montre que si l'on présente aux participants, en début de tâche de créativité, des dessins de solutions potentielles, ces individus seront fixés par les solutions dessinées. En effet, si les exemples de dessins donnés aux participants contiennent des éléments familiers (non originaux), ces derniers auront tendance à inclure dans leurs propositions les mêmes éléments, révélant un certain effet de conformité vis-à-vis de l'exemple. L'une des tâches de Smith, Ward et Schumacher consistait en effet à imaginer et dessiner un animal original (voir figure ci-après). Les participants ayant vu, en début de session, des exemples d'animaux présentant tous quatre pattes, une queue et une antenne, avaient davantage

tendance à proposer des dessins d'animaux contenant ces éléments que les participants à qui il n'avait pas été présenté d'exemples en début de session.

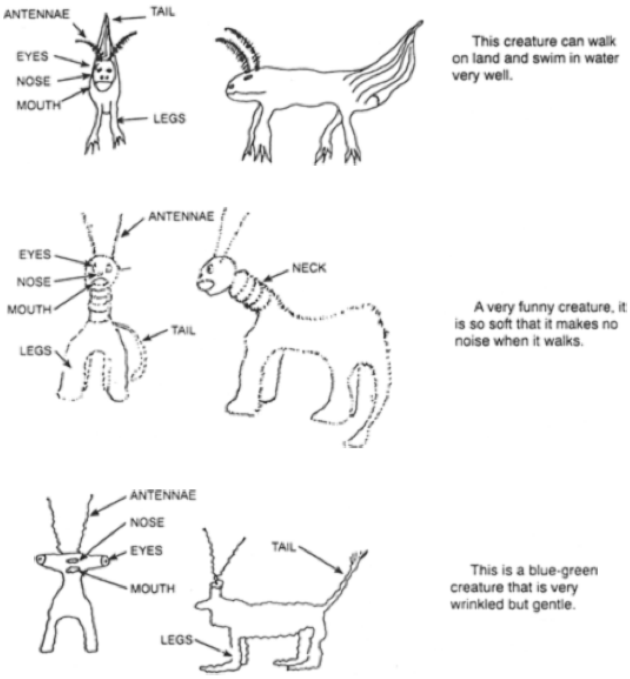


Figure 18. Exemples de dessins présentés aux participants devant imaginer un animal original *(Source : Smith, Ward & Schumacher, 1993)*

Nous avons vu que la nature de la connaissance (restrictive ou expansive) portée par l'exemple est au cœur du phénomène de fixation (ou de défixation). Mais s'il est aisé d'analyser si un exemple donné sous forme verbale apporte des connaissances restrictives ou bien originales par rapport à la base de connaissance d'un individu, la tâche est bien plus complexe lorsqu'il s'agit, dans la pratique, de prévoir si un dessin ou une image aura plutôt un effet restrictif ou un effet génératif. On peut notamment se demander s'il est toujours aisé de générer ce type d'exemples de connaissances originales dans le cas du non-verbal : pour un thème de créativité donné, que serait un dessin expansif ? Une image expansive ?

Par ailleurs, nous avons vu que les structures de connaissances non-verbales sont bien souvent mobilisées en situation de conception collective. Nous avons également montré que les effets de fixation sont renforcés dans le collectif. Les outils non-verbaux, de plus en plus mobilisés lors des sessions de génération d'idées, sont-ils capables d'améliorer significativement la créativité du groupe ? Si oui, dans quels contextes ? Quels sont les pièges à éviter si l'on souhaite atténuer les effets de fixations propres à la fois au non-verbal et au travail collectif ? Afin d'étudier la génération des structures de connaissances non-verbales, il sera nécessaire d'avoir en tête que certains contextes favoriseront, non pas les effets génératifs positifs que nous cherchons à identifier, mais les effets de fixation.

3.3. Une fixation du non-verbal potentiellement renforcée dans le collectif : facteurs cognitifs et organisationnels

Concernant les aspects cognitifs, l'usage du non-verbal pourrait éventuellement venir compenser l'impact négatif du collectif sur générativité : on peut en effet imaginer qu'un participant générera davantage d'idées originales s'il peut s'inspirer de médias non-verbaux expansifs - dessins, maquettes ou prototypes – produits par d'autres participants. Or, l'étude de Van der Lugt (2005) présentée précédemment n'a pas permis d'identifier un tel effet : les participants avaient en effet peu tendance à exploiter le non-verbal produit par autrui. Cela peut provenir d'une difficulté à exploiter les informations présentes dans les médias non-verbaux produits par des tiers, mais cela pourrait également s'expliquer par la nature peu expansive des médias produits au cours de l'étude de Van Der Lugt. En effet, que le non-verbal soit produit par les participants eux-mêmes ou par un acteur extérieur (facilitateur, designer), la nature restrictive ou expansive de la connaissance portée par les structures non-verbales pourrait là encore jouer un rôle important. Être capable d'identifier cette nature est essentiel pour pouvoir

prévoir l'effet positif ou négatif du non-verbal sur la créativité du groupe. Or, le caractère restrictif/expansif - et donc potentiellement fixant ou défixant - de la connaissance apportée par le non-verbal dépend ici de la base de connaissance partagée par le groupe et non de la base d'un individu unique. Rappelons en effet qu'il n'existe pas de connaissance restrictive ou expansive dans l'absolu, le caractère restrictif ou expansif se définissant toujours en fonction d'une base de connaissance donnée : ce qui est restrictif pour quelqu'un, peut être expansif pour quelqu'un d'autre (Agogué et al., 2013). Ainsi, une connaissance nouvelle aura un potentiel expansif si elle se révèle inédite au regard de la base de connaissances que le groupe mobilisera à la découverte du thème de la session. Afin de déterminer quels médias non-verbaux seront susceptibles de fixer ou de défixer le groupe, il serait donc nécessaire de prévoir quelles pourraient être les bases de connaissances générées par l'ensemble des participants en début de session. La tâche pose cependant une double difficulté. D'une part, il faudrait pouvoir être capable d'anticiper la connaissance du groupe en début de session par rapport au sujet traité : l'identification de cette base de connaissance ne paraît pas chose aisée, d'autant plus qu'il s'agit d'identifier cette base pour un groupe et non pour un individu. D'autre part, il faudrait savoir distinguer le caractère restrictif ou expansif d'un média non-verbal, ce qui, encore fois, apparait assez ardu. Or, certaines méthodes de créativité ne tiennent pas compte de cette double difficulté : elles sont parfois standardisées et n'adaptent pas le média non-verbal utilisé au thème de la session de créativité ou à la connaissance des participants (c'est le cas par exemple de l'exercice de Michalko (2010) qui encourage une génération d'idées à partir de hiéroglyphes). De telles méthodes pourront mobiliser du non-verbal apportant de la connaissance qui pourra se révéler expansive pour un sujet ou pour un groupe de participants donnés mais restrictive pour un autre groupe ou bien un autre thème. On comprend ainsi la difficulté de la tâche d'un leader de session qui souhaiterait être capable de piloter finement l'impact du non-verbal sur la générativité. Ceci peut passer en particulier par

une capacité à identifier le caractère restrictif ou expansif des médias non-verbaux utilisés en cours de session, ce qui n'est pas toujours chose aisée lorsqu'on a affaire à une information visuelle ou encore une information haptique.

Outre des facteurs cognitifs, des facteurs organisationnels peuvent aussi expliquer pourquoi les structures de connaissances non-verbales ne favorisent pas toujours la génération d'idées. Des problèmes d'ordre organisationnel peuvent apparaître lorsqu'il s'agit de manipuler des informations produites sous forme de médias non-verbaux (montage lego, prototype) : retranscrire, raffiner ou évaluer ce type d'informations constitue un challenge pour le leader de session, bien souvent habitué à travailler avec du texte et des post-its. Interpréter la qualité d'une idée formulée sous la forme d'un dessin, ou encore la comparer à d'autres dessins, ne semble pas intuitif. De plus, l'usage du non-verbal peut réduire la productivité d'une session de créativité à cause de phénomènes organisationnels bien connus comme la perte d'intérêt, le manque de confiance en sa propre expertise ou encore l'anxiété sociale (Camacho & Paulus, 1995). Ces mêmes phénomènes sont bien sûr présents lors de sessions de créativité ne faisant intervenir que du verbal, mais ils peuvent ainsi être renforcés par la manipulation de médias non-verbaux. Lorsque des participants ne se sentent pas en confiance vis-à-vis d'activités comme le dessin ou encore le théâtre, leur capacité à produire des idées peut ainsi être inhibée. Certains ne se sentiront pas capables de produire un dessin, de jouer une scène ou encore d'esquisser un mouvement représentant leur idée, d'autres auront tout simplement peur du jugement des autres participants.

Dans un contexte purement verbal, certaines méthodes ont déjà été développées afin d'atténuer l'impact de ces phénomènes. Elles ont pour objectif de prévenir leur apparition et d'améliorer la génération, l'organisation, l'évaluation ainsi que la sélection des idées en cours de session. Osborn (1957) propose ainsi un ensemble de règles pour les séances

de brainstorming ayant pour but de réduire l'inhibition sociale et de favoriser le partage des idées : il suggère de prévenir les participants dès le début de la session qu'il faudra d'une part éviter toute critique négative et d'autre part encourager les idées folles. De la même façon, la méthode des six chapeaux de De Bono (1989) encourage les participants à voir le côté positif de chaque idée et à éviter de formuler des jugements négatifs. Ces méthodes sont déjà largement répandues dans les entreprises et couramment appliquées par les personnes en charge du management des sessions de générations d'idées purement verbales. Dans la suite de notre étude, on pourra notamment se demander quelle est la performance de ces méthodes lors de sessions faisant intervenir des structures de connaissances non-verbales, et quelles variantes pourraient éventuellement en être proposées afin de mieux prendre en compte la spécificité de ces structures.

Enfin, du point de vue organisationnel, un dernier aspect vient ajouter une complexité supplémentaire à l'analyse de l'impact des structures non-verbales en conception collective. Lors de sessions de créativité faisant intervenir du non-verbal, la grande variété des jeux d'acteurs possibles peut en effet la rendre délicate : la ou les personnes produisant le média non-verbal peuvent notamment être de natures différentes et ne présentent pas toujours la même expertise du non-verbal. Par exemple, les médias mobilisés peuvent être produits par un illustrateur ou encore un designer, ces derniers manipulant très bien l'art du dessin ou encore du storyboarding faisant d'eux ce que l'on peut appeler des experts du non-verbal. Mais le non verbal peut aussi être produit par les participants eux-mêmes, qui ne maîtrisent pas nécessairement l'art de produire le média en question, de le rendre génératif ou encore de l'exploiter pour générer des idées. Il est ainsi possible que le non verbal produit n'ait ni la même qualité ni le même effet génératif selon qu'il est produit ou non par un expert du non-verbal. Par ailleurs, les acteurs présents peuvent être aussi bien des salariés de l'entreprise dans laquelle se tient la session de créativité que des personnes extérieures à l'entreprise (designer freelance, étudiants, chercheurs), ce qui ajoute à nouveau une

variable supplémentaire. Enfin, le facilitateur qui anime la séance peut lui-aussi avoir un profil varié : il peut être ou non l'expert du non-verbal mobilisé pour la session ; il peut être le porteur de projet ou encore simplement facilitateur. Ainsi, la figure d'acteur du leader créatif, figure chargée de veiller à la bonne générativité du groupe, peut prendre des incarnations très diverses (facilitateur et/ou chef de projet et/ou expert du non-verbal) et être confrontée à des organisations de groupe tout aussi variées. Cette variété des jeux d'acteurs possibles complexifie encore davantage l'analyse de l'impact du non-verbal lors de sessions de créativité. Il sera donc nécessaire de la prendre en compte lors l'étude des effets génératifs des structures de connaissances non-verbales.

Conclusion de la partie I – S'appuyer sur l'étude du non-verbal afin de mettre en évidence et de modéliser le pouvoir génératif de la structure des connaissances en conception innovante

Introduire des connaissances nouvelles constitue un levier majeur de la conception. L'acquisition de connaissances est d'ailleurs ce qui différencie la conception de la décision. Cependant, nous avons vu qu'une attention toute particulière doit être portée à la nature de cette connaissance nouvelle. En effet, l'introduction de connaissances restrictives favorisera les effets de fixation, impactant négativement les capacités conceptives, en particulier la générativité.

Mais si le rôle des connaissances en conception innovante a été depuis longtemps étudié, le rôle des structures de connaissances reste quant à lui peu exploré. Si la structuration des connaissances est depuis longtemps exploitée par la conception réglée à des fins d'optimisation et de performance, la structure des connaissances est souvent considérée comme un paramètre libre en conception innovante. Différentes structures de connaissances peuvent être mobilisées par le concepteur au cours de son exploration. Mais si certaines structures de connaissances sont valorisées en conception réglée pour leur efficacité, serait-il possible d'identifier des structures de connaissances particulièrement favorables à la conception innovante ? En particulier, certaines structures présentent-elles des effets génératifs forts, améliorant ainsi la générativité de l'exploration dans l'inconnu et favorisant l'émergence d'objets nouveaux et originaux ?

D'où le problème de recherche abordé dans la thèse :

PROBLEME DE RECHERCHE

Comment comprendre le rôle génératif des structures de connaissances en conception innovante ?

Afin d'étudier le pouvoir génératif des structures de connaissances en conception innovante, nous nous intéresserons dans la thèse à un type de structures spécifique : les structures de connaissances portées par les médias non-verbaux. Nous avons vu en effet que les structures non-verbales, de par leur flexibilité et leur capacité à introduire des connaissances nouvelles et originales, sont susceptibles de nous permettre d'observer des phénomènes intéressants. Cependant, il sera nécessaire de garder à l'esprit que l'analyse de l'impact de ces structures sur la générativité peut poser de nombreuses difficultés : en effet, si les effets génératifs associés à ces structures peuvent être renforcés de par leur nature non-verbale, les effets de fixation peuvent également être accentués pour la même raison.

C'est donc grâce à l'étude du non-verbal que la thèse tentera de mettre en évidence et de modéliser le pouvoir génératif de la structure des connaissances en conception.

Il en découle les quatre **questions de recherche** suivantes :

QUESTIONS DE RECHERCHE

Q1 : Comment **mettre en évidence** l'importance de la structuration de la connaissance en conception innovante à travers l'étude des effets génératifs du non-verbal ?

Q2 : Comment **modéliser** les effets génératifs des représentations non-verbales en conception et en particulier leur effet sur la structuration des connaissances ?

Q3 : Quelle est la performance du non-verbal lorsqu'il s'agit de réorganiser les connaissances ? Comment **contrôler** l'usage du non-verbal pour favoriser la construction de structures de connaissances génératives ?

Q4 : À l'échelle institutionnelle, comment **outiller et organiser** la restructuration des connaissances afin de favoriser l'émergence de concepts innovants ?

Dans la partie suivante (**partie II**), nous détaillerons la démarche suivie. La thèse sera notamment structurée de façon à ce que les différentes parties adressent une à une chacune des questions de recherche. La **partie III** présentera ainsi une mise en évidence de l'importance de la structuration des connaissances pour la générativité à travers une étude réalisée au sein d'une agence d'architecture. La **partie IV** proposera ensuite un modèle permettant de rendre compte des effets génératifs propres à la structuration des connaissances. Les phénomènes observés en partie II seront alors interprétés à la lumière de cette nouvelle modélisation. La **partie V** s'intéressera quant à elle au contrôle de l'usage du non-verbal afin de piloter la structuration des connaissances en conception innovante. Enfin, la **partie VI** proposera des solutions visant à organiser la restructuration des

connaissances à l'échelle d'une équipe ou encore d'un réseau, et ce, afin de mieux promouvoir l'émergence de concepts en rupture dans le cadre d'une exploration dans l'inconnu.

« La façon dont je compose ma formule, le choix des matières, la forme inattendue vers laquelle je dérive, puis le reprends, sont liés, bien évidemment, au savoir, à une forme d'intelligence et de sensibilité, mais aussi à l'intuition qui est pour moi de la connaissance enfouie […]. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie II – Étudier la générativité des structures de connaissances en conception innovante : démarche et méthodologie de recherche 105

Chapitre III – Stratégie de recherche : l'étude de deux cas contrastés de structures de connaissances en conception.....107

1. Motivations du choix des structures à étudier : observer des effets génératifs inédits et valider une méthodologie de conception basée sur la générativité des structures de connaissances 107

   1.1. Des structures de connaissances non-verbales susceptibles de permettre l'observation de forts effets génératifs..... 109
   1.2. Des structures de connaissances établies et partagées permettant d'éprouver un processus génératif 110

2. La stratégie de recherche : du pouvoir génératif des structures de connaissances portées par le non-verbal à la réorganisation des structures de connaissances établies et partagées..... 111

   2.1. Principaux objectifs de l'étude de la générativité du non-verbal : identifier les structures de connaissances génératives ainsi que les moyens de contrôle associés en conception collective..... 112
   2.2. Piloter la générativité des structures de connaissances en s'affranchissant de la dimension non-verbale : le cas des structures de connaissances établies et partagées 114

Chapitre IV – Itinéraire de recherche : mobilisation de différentes approches et choix des terrains de recherche 117

1. La mise en évidence du rôle des structures de connaissances en conception : étude des effets génératifs du dessin d'architecte 117

   1.1. Étude d'un cas idéal d'usage du non-verbal pour la générativité : le dessin d'architecte 118
   1.2. Expliciter le raisonnement de conception porté par le non-verbal : application de la théorie C-K..... 119

2. Modélisation des effets génératifs des structures de connaissances en conception : recours à la théorie du Forcing de Cohen 126

   2.1. De la difficulté à modéliser les structures de connaissances..... 126

2.2. Recours à une théorie de la générativité des structures d'objets : le Forcing mathématique de Cohen 127
2.3. Proposer une méthode générative facile à déployer : une articulation nécessaire avec les méthodes classiques de génération de concepts..... 131

3. Contrôler les effets génératifs de la restructuration des connaissances : performance du non-verbal en session de conception collective..... 131

3.1. Identifier les conditions nécessaires à la performance du non-verbal en session de conception collective : comparaison de quatre cas d'étude..... 132
3.2. Les missions d'une figure d'acteur garante de la performance générative du non-verbal 133

4. Pilotage de la réorganisation des structures de connaissances figées : le cas d'une discipline – le Génie des Procédés – et d'un réseau de recherche – le réseau R_2A_2 134

4.1. Élaboration d'une méthode de conception basée sur la restructuration des connaissances : un cas de conception en Génie des Procédés 134
4.2. Identification des caractéristiques organisationnelles favorisant la structuration générative des connaissances : étude du réseau R_2A_2, un réseau de recherche à visée conceptive 135

Conclusion de la partie II – De la générativité du non-verbal à la générativité des structures de connaissances en conception.....137

Partie II – Étudier la générativité des structures de connaissances en conception innovante : démarche et méthodologie de recherche

Cette partie détaille la démarche de recherche construite afin d'adresser la problématique formulée précédemment : comment comprendre le rôle génératif des structures de connaissances en conception innovante ? Cette démarche de recherche comporte deux aspects : la stratégie de recherche d'une part, et l'itinéraire de recherche d'autre part. La stratégie de recherche correspond aux choix des structures de connaissances à étudier et aux objectifs associés à ces choix. L'itinéraire de recherche correspond quant à lui à la mise en application de cette stratégie : il renvoie essentiellement aux terrains de recherche ainsi qu'aux cadres analytiques retenus.

Afin d'explorer la problématique et de mieux comprendre le pouvoir génératif des structures de connaissances, la stratégie de recherche adoptée repose sur le choix de deux types spécifiques de structures de connaissances à étudier, chaque type de structures ayant été sélectionné pour servir des objectifs différents. Nous avons décidé d'étudier dans un premier temps les structures de connaissances portées par des médias non-verbaux. Un tel choix visait à identifier des phénomènes génératifs reposant spécifiquement sur la modification des rapports entre connaissances. Afin de pouvoir tester la généricité des phénomènes observés et également proposer des méthodes exploitant leur potentiel génératif, nous avons ensuite choisi de nous intéresser aux structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation : ces structures étaient en effet susceptibles de présenter une certaine inertie, et ainsi, de constituer un cas intéressant d'application des phénomènes observés sur les structures de connaissances non-verbales.

Plus particulièrement, nous avons retenu le cas des disciplines. Ce cas rendait facilement visible la structure des connaissances puisqu'elle correspondait au découpage des sciences en différents champs disciplinaires. Enfin, il présentait un exemple de structure bien stabilisée et partagée par une large communauté.

Concernant la mise en application de cette stratégie de recherche, nous détaillons dans cette partie le raisonnement suivi pour choisir le cadre analytique. Nous y expliquons en outre la logique selon laquelle ont été sélectionnés les différents terrains de recherche susceptibles de fournir un matériel empirique pertinent. Afin de choisir le cadre analytique, il était nécessaire que celui-ci puisse traiter tant des structures non-verbales que des structures établies et partagées. Nous avons ainsi mobilisé des théories ayant une application générique, et notamment la théorie C-K (théorie générique du raisonnement de conception innovante). Par ailleurs, nous justifions dans cette partie la sélection de nos terrains de recherche. Afin d'étudier les effets génératifs associés aux structures de connaissances non-verbales, nous avons mené des observations au sein de l'atelier d'ingénierie T/E/S/S, ainsi qu'au sein des groupes Renault et RATP. Par ailleurs, afin de tester les phénomènes observés et de proposer des méthodes exploitant leur pouvoir génératif, nous avons réalisé deux études de recherche-intervention au sein d'organisations présentant des structures de connaissances figées : l'une au LRGP, laboratoire de Génie des Procédés à Nancy, l'autre au sein du réseau R2A2 de l'INRA.

Chapitre III – Stratégie de recherche : l'étude de deux cas contrastés de structures de connaissances en conception

Ce chapitre vise à expliquer les choix réalisés en termes de stratégie de recherche. Nous justifierons notamment le choix des types de structures sélectionnés pour notre étude : les structures non-verbales d'une part, et les structures établies et partagées d'autre part (Section 1). Par ailleurs, nous présenterons la démarche de recherche définie afin de pouvoir faire naviguer notre recherche d'un type de structure à l'autre (Section 2). Au cours de la thèse, nous avons mené dans un premier temps une étude portant sur la générativité des structures non-verbales. Notre but était d'étudier les modifications subies par ces structures en cours de conception et de regarder si elles pouvaient mettre en évidence des phénomènes génératifs inhabituels, voire même de les provoquer. Il s'agissait ensuite de tenter de reproduire ces mêmes phénomènes et de vérifier qu'ils étaient applicables à d'autres types de structures. En particulier, nous avons choisi de tester leur mise en place dans le cas de structures habituellement peu agiles : les structures disciplinaires en science.

1. Motivations du choix des structures à étudier : observer des effets génératifs inédits et valider une méthodologie de conception basée sur la générativité des structures de connaissances

Afin d'étudier le potentiel génératif de la structuration des connaissances, il était nécessaire de repérer des structures qui pourraient se

révéler particulièrement favorables à la mise en évidence de phénomènes nouveaux. Par ailleurs, l'identification d'un phénomène intéressant ne garantissait pas que ce même phénomène puisse s'appliquer à différents types de structures. Ainsi, en cas d'observation d'un effet génératif nouveau au cours de l'étude, il était nécessaire d'en tester le caractère générique en cherchant à le reproduire pour différents types de structures de connaissances, et dans l'absolu, pour différents cas de conception.

Dans le but de mettre en évidence un effet génératif nouveau, nous nous sommes tournés vers l'étude des structures de connaissances non-verbales. Ces dernières correspondent à des structures portées par des médias non-verbaux comme des dessins, des images ou encore des prototypes. Nous nous sommes intéressés à ces structures car elles étaient susceptibles d'être particulièrement agiles (Goldschmidt, 1991), de subir des modifications importantes et de favoriser de forts effets génératifs (Ferguson, 1977, 1992). Par ailleurs, pour tester l'application des phénomènes génératifs observés à d'autres types de structures, nous nous sommes ensuite intéressés à des structures de nature opposée. Pour évaluer la généricité des phénomènes mis en évidence à l'aide des structures non-verbales, il nous fallait en effet considérer des structures de connaissances particulièrement peu agiles, qui évoluent habituellement peu en cours de conception (y compris lors d'explorations génératives). En particulier, la modification d'une structure de connaissances établie et partagée au sein d'une organisation demandait d'aller à l'encontre d'une certaine inertie et pouvait s'avérer être un bon exemple de structure peu agile. Nous avons ainsi décidé d'éprouver les phénomènes génératifs que nous allions observer sur des structures de connaissances associées la conception de programmes de recherche transdisciplinaires. En effet, en science, la structure des disciplines se révèle relativement robuste au cours du temps et des explorations de conception successives (Kostoff, 1999 ; Karniouchina, Victorino & Verma, 2006). Par ailleurs, puisque la conception d'un programme transdisciplinaire vise à

dépasser les frontières établies entre disciplines, l'application d'un phénomène de restructuration générative à un tel cas pourrait à la fois constituer une validation de la généricité du phénomène et donner des résultats intéressants en termes de conception.

Notre choix d'étudier ces deux types de structures – les structures non-verbales d'une part, et les structures établies et partagées d'autre part – est justifié plus amplement dans les deux sections suivantes et s'appuie sur des arguments relatifs à la revue de littérature présentée en Partie I.

1.1. Des structures de connaissances non-verbales susceptibles de permettre l'observation de forts effets génératifs

Dans la partie I, nous avons montré que les structures de connaissances non-verbales sont susceptibles de présenter des effets génératifs particulièrement intéressants : le non-verbal est en effet réputé pour favoriser la conception (Ferguson, 1977, 1992 ; Goldschmidt, 1991), même si la nature exacte des effets génératifs impliqués, ainsi que les conditions favorables à leur obtention, restent parfois imprécises. La littérature affirme en particulier que le non-verbal offre au concepteur un feedback instantané sur les idées générées (Schön & Wiggins, 1992 ; Goldschmidt, 2003). Leur caractère ambigu favorise également l'émergence d'informations nouvelles, aussi bien des connaissances que des concepts (Schön, 1983 ; Suwa et al., 2001).

Le choix d'étudier des structures de connaissances que le concepteur n'explicite pas à travers des mots a ainsi été motivé par la grande flexibilité supposée de ces structures : grâce à un feedback instantané et à un échange dynamique d'informations entre le média non-verbal et le concepteur, ce dernier est en effet davantage susceptible de pouvoir réorganiser plus facilement les connaissances. La grande flexibilité des structures non-

verbales pouvait donc nous permettre d'observer des effets génératifs inédits en ce qui concerne le rôle génératif des rapports entre connaissances. Une fois un nouveau phénomène identifié, il sera cependant nécessaire d'étudier ses conditions d'application et d'interopérabilité. Nous avons ainsi décidé d'étudier dans un second temps des cas de réorganisation de structures de connaissances beaucoup moins agiles : les structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation.

1.2. Des structures de connaissances établies et partagées permettant d'éprouver un processus génératif

Afin de tester les conditions d'interopérabilité d'un processus génératif reposant sur la structuration des connaissances, nous avons choisi de l'étudier dans un cas extrême : celui de structures de connaissances particulièrement difficiles à modifier. C'est le cas de structures de connaissances stabilisées et partagées au sein d'une organisation. Ces structures présentent en effet une certaine inertie rendant leur transformation délicate. C'est notamment le cas de la structuration des sciences en différents champs disciplinaires, ces champs étant bien stabilisés, de plus en plus spécialisés (Kostoff, 1999) et déterminants dans l'organisation des centres de recherche. Par ailleurs, étudier le phénomène de restructuration des connaissances en science n'avait pas seulement pour intérêt de tester un nouveau contexte d'application de notre modèle : cela nous donnait également l'occasion d'adresser la question de la recherche transdisciplinaire dont le but explicite est de créer des programmes de recherche à partir d'une redéfinition des frontières entre disciplines (Rosenfield, 1992 ; Bruce et al., 2004 ; Ramadier, 2004). Cependant, réussir à créer ce croisement entre disciplines pose de nombreux problèmes. Les différentes disciplines sont en effet de plus en plus approfondies et spécialisées : il est ainsi de plus en plus difficile de les faire dialoguer

(Kostoff, 1999). Par ailleurs, ces croisements entre disciplines tendent à provoquer des changements de paradigmes qui se révèlent mal acceptés dans la pratique (Karniouchina, Victorino & Verma, 2006), bien qu'ils favorisent la génération. Enfin, d'un point de vue opérationnel, l'organisation et l'interaction des acteurs chargés de concevoir ces programmes de recherche transdisciplinaires se révèlent particulièrement délicates : elles rencontrent notamment des problèmes de communication, d'incompréhension entre chercheurs, et de divergences en termes d'attentes (Dewulf, François, Pahl-Wostl & Taillieu, 2007). Les structures de connaissances basées sur les champs disciplinaires étaient donc susceptibles de générer des effets de fixation importants qu'il serait intéressant de tenter de dépasser. Mais plus encore, l'étude de ces structures permettait avant tout d'enrichir notre modélisation en y apportant des éléments complémentaires à ceux observés à travers l'étude des structures non-verbales.

2. La stratégie de recherche : du pouvoir génératif des structures de connaissances portées par le non-verbal à la réorganisation des structures de connaissances établies et partagées

La stratégie de recherche découle ainsi d'une volonté double : d'une part, la volonté d'identifier de nouveaux phénomènes génératifs basés sur la structuration des connaissances, et d'autre part, la volonté d'explorer finement les mécanismes pilotant ces phénomènes. Après avoir modéliser les éventuels effets génératifs observés, nous pourrons alors proposer un certain nombre de moyens d'actions (méthodes, contextes organisationnels, conditions de réussites) permettant de les favoriser et de les piloter en conception collective. Nous invitons le lecteur à suivre la description de la stratégie de recherche adoptée à l'aide de la figure présentée dans la section suivante.

2.1. Principaux objectifs de l'étude de la générativité du non-verbal : identifier les structures de connaissances génératives ainsi que les moyens de contrôle associés en conception collective

La première étape de notre stratégie de recherche consistait ainsi en une tentative d'identification de phénomènes génératifs inédits basés sur la structuration des connaissances. Une telle recherche ne pouvait se permettre d'être menée au hasard. Nous avons donc ciblé un type spécifique de structures de connaissances : les structures non-verbales, structures susceptibles de présenter des effets génératifs à la fois inédits et intéressants. Par ailleurs, il nous fallait étudier ces structures dans un contexte favorisant l'observation de tels effets. Nous avons donc choisi d'étudier dans un premier temps un cas idéal de conception reposant sur le non-verbal : celui d'un individu isolé, expert du non-verbal, produisant et utilisant quotidiennement des médias non-verbaux à des fins conceptives. Ce cas présentait notamment l'avantage d'éliminer un certain nombre de paramètres susceptibles d'influencer positivement ou négativement les effets génératifs associés au non-verbal, comme par exemple l'influence du collectif.

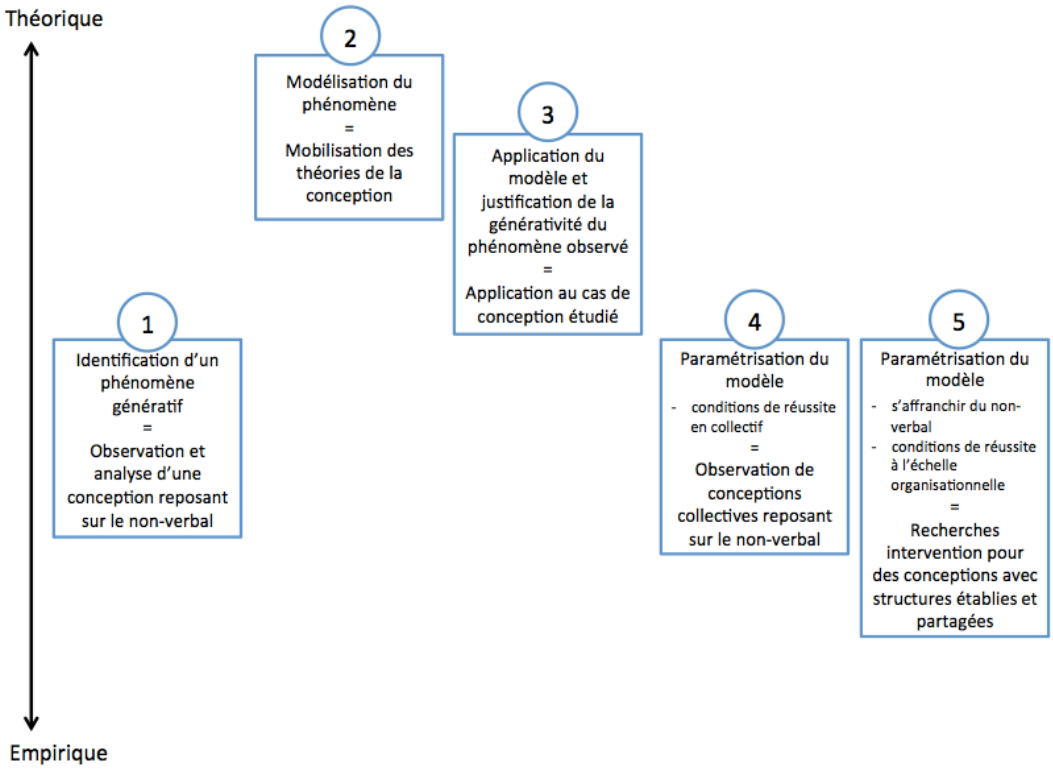


Figure 19. Les différentes étapes de la stratégie de recherche

Une fois un phénomène intéressant identifié à partir de ce cas idéal de conception, une première modélisation des effets génératifs associés pourra être proposée en se basant sur les modèles existant en théorie de la conception. Cette modélisation pourra ensuite être exploitée afin de justifier la générativité du cas idéal étudié. Dans un premier temps, ce modèle ne pourra rendre compte que des effets observés pour un usage en individuel, avec du dessin et en présence d'un expert du non-verbal. Afin d'enrichir cette modélisation, il sera nécessaire de l'étendre sur la base d'expérimentations faisant varier un certain nombre de paramètres : passage de l'individu au collectif, variation du type de média non-verbal utilisé, contextes organisationnels variés. L'enrichissement de la modélisation permettra ainsi de mieux comprendre comment contrôler, dans des contextes plus complexes, les effets génératifs basés sur la structuration de la connaissance.

La prochaine étape de ce raisonnement de paramétrisation consiste à essayer de proposer un processus génératif qui serait cette fois-ci indépendant de la dimension non-verbale : ce caractère non-verbal, utilisé pour l'identification d'effets génératifs intéressants, serait-il pour autant indispensable à la reproduction de tels effets à des fins conceptives ?

2.2. Piloter la générativité des structures de connaissances en s'affranchissant de la dimension non-verbale : le cas des structures de connaissances établies et partagées

Nous nous sommes ainsi attachés à étudier des situations de conception mettant en jeu d'autres types de structures. En particulier, nous avons choisi de nous concentrer sur les structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation. Ces structures étaient susceptibles, à l'inverse des structures non-verbales, d'être particulièrement inertes et fixantes. Dans un premier temps, nous avons mené une recherche-intervention sur un cas de conception individuel visant à réorganiser une structure de connaissances établie et partagée au sein un domaine scientifique. Nous avons ensuite ajouté la dimension collective en menant un cas de recherche-intervention auprès d'une organisation souhaitant reformer sa structure de connaissances dans un but conceptif.

Le but de ces deux cas de recherche-intervention était de vérifier un certain nombre d'hypothèses formulées suite aux études précédentes et concernant des situations s'affranchissant de l'usage du non-verbal. Ces deux recherches-interventions allaient également nous aider à satisfaire deux autres objectifs : d'une part, le design d'un processus de conception basé sur la structuration générative des connaissances ; d'autre part, l'identification des caractéristiques organisationnelles favorables à la construction de bases de connaissances génératives.

Le chapitre suivant présente ainsi au lecteur l'itinéraire de recherche correspondant au déploiement de cette stratégie. La mise en place de cette dernière correspond notamment au choix des cadres théoriques mobilisés ainsi que des terrains de recherche étudiés.

Chapitre IV – Itinéraire de recherche : mobilisation de différentes approches et choix des terrains de recherche

La concrétisation de la stratégie de recherche présentée au chapitre précédent repose en particulier sur le choix de terrains de recherche et de cadres d'analyse pertinents. Dans ce chapitre, nous détaillons l'itinéraire de recherche suivi. Nous présentons notamment nos différents terrains de recherche et montrons comment les terrains choisis présentaient un matériel empirique relatif aux deux structures de connaissances identifiées comme particulièrement intéressantes : les structures non-verbales et les structures établies et partagées à l'échelle organisationnelle. Par ailleurs, nous montrons comment chaque terrain a été mobilisé pour réaliser les différentes étapes de la stratégie de recherche : de l'observation de phénomènes génératifs nouveaux à l'identification des conditions organisationnelles favorables à la restructuration générative des connaissances. Nous présentons enfin les deux principaux cadres d'analyse mobilisés lors de notre étude : la théorie C-K et la théorie du Forcing de Cohen. Ces deux cadres théoriques étaient en effet susceptibles, tant de nous permettre de traiter de différents types de structures de connaissances, que d'en expliquer le pouvoir génératif.

1. La mise en évidence du rôle des structures de connaissances en conception : étude des effets génératifs du dessin d'architecte

La première étape de la stratégie de recherche consistait à mieux comprendre les effets génératifs associés aux structures de connaissances. Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier les structures non-verbales, structures particulièrement agiles que nous pensions susceptibles de favoriser l'observation de phénomènes génératifs intéressants. Nous avons eu la chance de pouvoir observer ces structures dans un cadre privilégié : l'atelier d'ingénierie T/E/S/S, atelier réunissant à la fois ingénieurs et architectes et encourageant la pratique du dessin à la main pour favoriser la création.

1.1. Étude d'un cas idéal d'usage du non-verbal pour la générativité : le dessin d'architecte

Le dessin est un exemple de média non-verbal utilisé par des professionnels au titre d'une pratique quotidienne, à des fins génératives. Nous avons ainsi supposé que l'étude du dessin serait susceptible de révéler des effets génératifs forts et de nature originale. Il nous fallait cependant disposer d'un matériel empirique de qualité et choisir des croquis au fort potentiel génératif. Nous avons ainsi souhaité analyser des dessins produits par des experts du non-verbal. Pour ce faire, nous avons eu la chance de travailler avec des architectes de l'agence T/E/S/S, et tout particulièrement avec le directeur de l'agence qui nous a donné un accès complet à ses carnets de croquis.

L'analyse des séquences de dessins pouvait cependant se révéler très complexe, et ce d'autant plus que les dessins présentaient un caractère abstrait et ambigu. Afin d'identifier les effets génératifs associés au dessin, nous avons donc mené des entretiens approfondis avec l'architecte. Ces entretiens avaient pour but d'expliciter le raisonnement de conception correspondant aux différentes séquences de dessins sélectionnées, et ainsi, d'en faire ressortir des phénomènes intéressants. Pour mieux étudier les

effets génératifs sous-jacents, il était cependant nécessaire de donner une modélisation de ce raisonnement de conception qui puisse permettre de distinguer différentes formes de générativité. Nous avons donc eu recours à une théorie du raisonnement de conception : la théorie C-K.

1.2. Expliciter le raisonnement de conception porté par le non-verbal : application de la théorie C-K

Afin de pouvoir rendre compte du raisonnement associé aux modifications des structures de connaissances étudiées, nous avons mobilisé la théorie C-K, théorie générique du raisonnement de conception innovante. Dans cette section, nous expliquons les fondamentaux de cette théorie qui nous servira de cadre analytique à de nombreuses reprises dans la suite du manuscrit.

La théorie C-K (Hatchuel and Weil, 2003, 2009) a été développée à partir d'expérimentations menées au sein de grands groupes industriels et ayant pour but de favoriser le pilotage des premières étapes du processus de conception (qui correspondent souvent à une exploration dans l'inconnu). La théorie C-K est une théorie du raisonnement : elle s'attache à décrire les opérations cognitives permettant d'aboutir à la création d'un objet nouveau. De la théorie C-K sont nées différentes méthodes, telles que C-K invent pour la conception de brevets (Felk, Le Masson, Weil, Cogez & Hatchuel, 2011) ou encore les ateliers KCP pour l'organisation de la conception en entreprise (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2009). La théorie distingue deux espaces : d'une part l'espace C, l'espace des concepts, et d'autre part l'espace K, l'espace des connaissances. Selon la théorie, c'est le dialogue entre les espaces C et K qui favorise la génération d'idées nouvelles et l'émergence d'objets nouveaux. Une telle modélisation des opérations cognitives à l'origine du renouvellement de l'identité des objets constituait ainsi un outil

de choix pour notre projet d'étude du rôle de la structure de connaissances en conception.

En théorie C-K, la connaissance (notée **K** pour « knowledge ») se réfère à des propositions possédant un **statut logique** : la proposition est soit vraie, soit fausse (ou bien l'objet qui lui est associé est soit vrai soit faux). À l'inverse, les concepts (notés **C**) désignent des propositions sans statut logique : il est impossible de dire si ces propositions sont vraies ou fausses. Un concept est donc un **indécidable**. Quelques exemples de concepts et de connaissances sont présentés dans l'encadré ci-après.

Exemples de connaissances (propositions dans K) :

- *« Une chaise bleue »* : il existe des chaises bleues.
- *« Il va pleuvoir demain »* : la proposition est soit vraie, soit fausse.
- *« Il y a 50% de chances qu'il pleuve demain »* : là encore, la proposition est soit vraie, soit fausse, c'est une connaissance. Les probabilités appartiennent à l'espace des connaissances.
- *« Passer sous une échelle porte malheur »* : de même, la proposition est soit vraie, soit fausse. Les croyances et les avis subjectifs constituent ainsi des connaissances au sens de la théorie C-K.

Exemples de concepts (propositions dans C) :

- « Une chaise sans pied » : on ne sait pas a priori si une telle chaise existe, la proposition est un indécidable dans le sens où elle n'est ni vraie, ni fausse. C'est un concept.
- « Un bateau qui vole »
- « Une junk food healthy »
- « Un café enfantin »

Figure 20. Exemples de concepts et de connaissances au sens de la théorie C-K

Afin de pouvoir donner le statut de concept ou de connaissance à une proposition, il est nécessaire que cette dernière soit **interprétable** dans la base de connaissances de celui qui la lit : par exemple, une proposition rédigée en chinois ne sera pas interprétable pour une personne qui ne lit pas le chinois : pour cette dernière, il ne sera pas possible de définir le statut C ou K de la proposition. On notera sur cet exemple que la dimension verbale est

particulièrement importante en théorie C-K : on doit pouvoir lire et comprendre les propositions considérées avant d'en donner un statut. Dans l'exemple du concept rédigé en chinois, on peut cependant se demander si un idéogramme qui ne serait pas interprétable verbalement possède tout de même un autre statut de par sa dimension non-verbale (le dessin). C'est une des questions que nous adresserons à travers nos travaux. Par ailleurs, ce statut de concept ou de connaissance dépend toujours de la base de connaissance donnée comme référentiel : une proposition peut très bien constituer un concept pour une personne, mais une connaissance pour une autre. La proposition « une chaise sans pied » est un concept pour celui qui considère qu'il ne connaît aucun exemple de chaise sans pied, c'est en revanche une connaissance pour celui qui songe à l'exemple du hamac ou du coussin de jardin. Cette notion de **K-relativité des concepts** joue un rôle très important en théorie C-K et interviendra à de nombreuses reprises dans les travaux présentés ici.

Cette distinction Concept/Connaissance permet de décrire la dynamique de génération d'objets nouveaux : d'après Hatchuel & Weil (2003, 2009) **concevoir signifie étendre les concepts avec de nouveaux attributs** jusqu'à ce qu'une définition satisfaisante émerge. Si l'on reprend l'exemple pédagogique du bateau volant utilisé en Partie I, on peut réunir dans l'espace K l'ensemble des connaissances relatives au vol, à la navigation ou encore à la zoologie mobilisées lors de l'exploration. Au sein de l'espace C, on peut placer toutes les voies d'exploration envisagées à partir de différentes formes de vol : le bateau volant sur le même principe que le deltaplane, que la montgolfière ou encore que le poisson volant (voir figure ci-après).

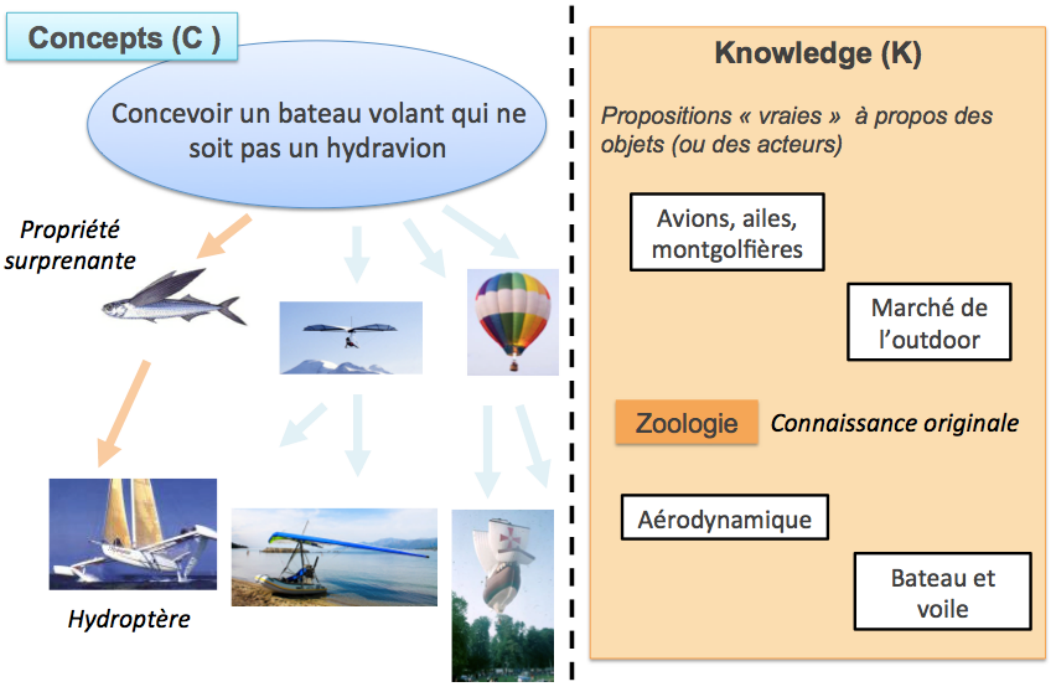


Figure 21. Un exemple d'exploration à partir du concept de bateau volant : c'est l'ajout d'une propriété surprenante - le vol du poisson volant – qui permet de renouveler l'identité de l'objet « bateau »

En théorie C-K, l'espace des connaissances et l'espace des concepts sont représentés de deux façons bien distinctes (voir figure ci-après). D'un côté, l'espace C est très organisé : les liens entre les concepts apparaissent. La structure de l'espace C est appelée dendritique : les concepts sont organisés en arborescence. D'autre part, l'espace des connaissances est composé de poches de connaissances isolées : les liens entre les différentes poches de connaissances ne sont pas représentés. On parle de structure archipélagique. Les bases de connaissances mobilisées lors de la conception sont bien sûr représentées, mais les liens existants entre ces différentes poches de connaissances ne sont pas modélisés. La structure de la connaissance est un paramètre libre de la théorie C-K. Cette absence de structure codifiée évite d'imposer certains schémas de conception : on mobilise les bases de connaissances que l'on souhaite, qu'il existe ou non un lien logique évident entre elles et qu'elles aient ou non un rapport clair avec le thème

d'exploration. On comprend donc que si l'on souhaite s'appuyer sur la théorie C-K pour traiter de la question des structures de connaissances, cette dernière ne sera pas suffisante pour représenter la structure de l'espace K : un modèle enrichi devra être proposé afin de tenir compte des liens entre connaissances.

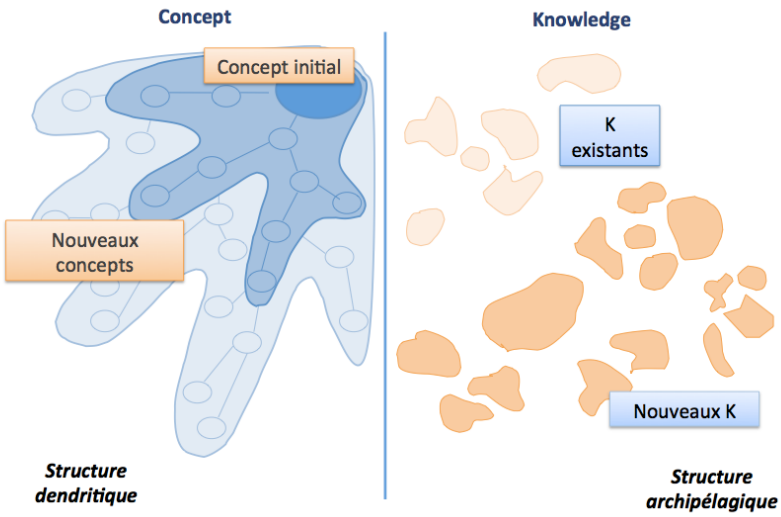


Figure 22. Deux structures bien distinctes pour les espaces C et K : des liens logiques entre les concepts pour C, l'absence de représentation de liens entre les différentes poches de connaissances pour K

Afin de décrire les opérations cognitives entrant en jeu en conception, la théorie C-K distingue quatre opérateurs (voir figure ci-après):

- **K->C** : cet opérateur ajoute ou enlève des propriétés aux concepts de C, en y intégrant des connaissances de K. Au moment de la création du concept initial (C0) à partir d'une base de connaissance K0, l'opération K0->C0 est appelée disjonction : elle transforme un état de la connaissance en concept initial ;
- **C->K** : Cet opérateur permet de mobiliser des connaissances nouvelles afin de mieux comprendre les concepts et de pouvoir les raffiner. Ce recours aux connaissances est essentiel puisqu'il s'agit de préciser le

sens d'une proposition ne possédant pas de statut logique. Lorsqu'une définition est atteinte pour le concept final, cette opération crée une conjonction : le concept prend alors sens dans l'espace des connaissances et les espaces C et K trouvent un point de rencontre ;

- **C->C** : cet opérateur permet de créer des concepts alternatifs en suivant la logique de la théorie des ensembles (partition et inclusion). Par exemple, le passage d'une chaise « avec pieds » à une chaise « sans pied » est une partition de C qui génère un concept alternatif « chaise sans pied » ;
- **K->K** : cet opérateur permet une expansion de l'espace des connaissances. Il correspond à des opérations d'acquisition de connaissances comme la déduction, la modélisation, l'optimisation ou encore l'évaluation.

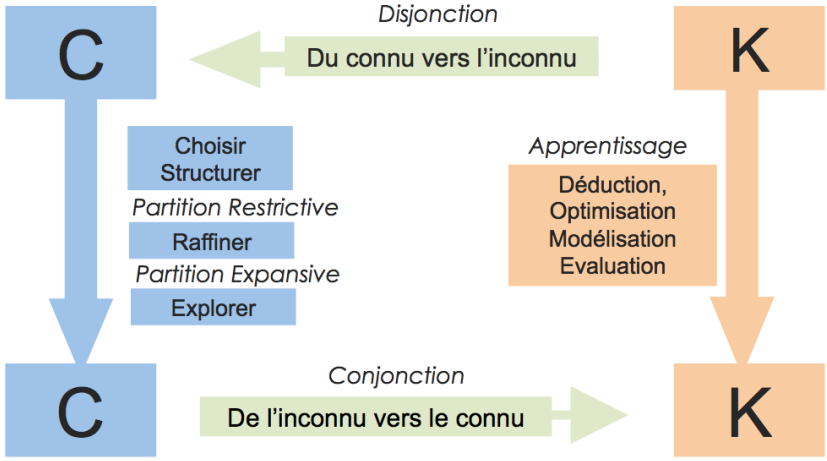


Figure 23. Les quatre opérateurs de conception

Les mouvements de C vers K permettent en particulier de trouver des connaissances nouvelles qui permettront de donner un sens au concept initial. Les allers et retours entre C et K favorisent la création de concepts originaux par partition de l'espace C et génération de concepts alternatifs.

Une partition de C, lorsqu'elle aboutit à un concept original, est appelée **partition expansive** (Hatchuel & Weil, 2009). L'innovation émerge ainsi d'une co-expansion des espaces C et K (voir figure ci-après).

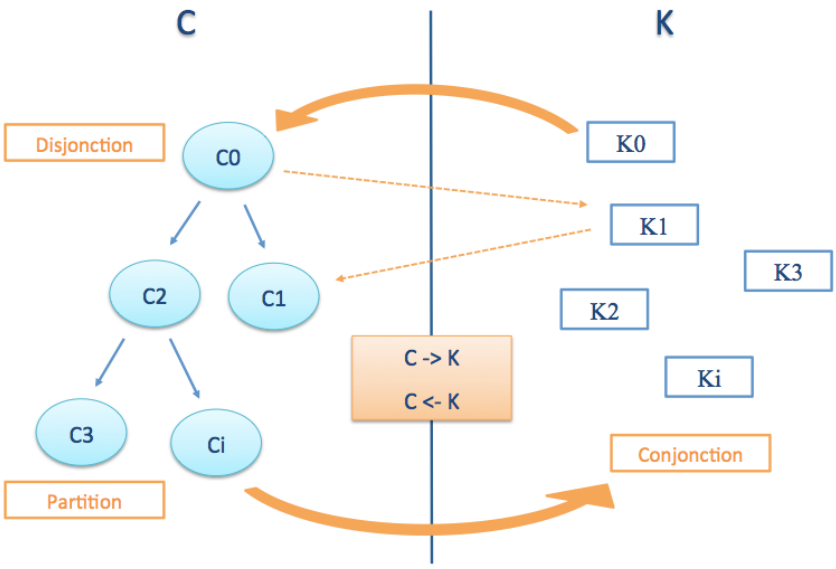


Figure 24. La dynamique de la conception : co-expansion des espaces C et K
La conception commence avec la formulation d'un C0 à l'aide des connaissances de départ K0. Afin de préciser ce C0, de la connaissance nouvelle doit être acquise : elle permettra de raffiner ce concept initial tout en précisant la définition de l'objet à concevoir. A la fin de la conception, le concept détaillé est validé dans l'espace K

L'ajout de propriétés surprenantes dans l'espace C permet de discuter des objets dans un vocabulaire différent et aide ainsi à renouveler l'identité des objets. Une exploration de conception peut néanmoins générer des concepts très originaux – ou **concepts expansifs** - aussi bien que des concepts peu originaux, appelés **concepts restrictifs** (Hatchuel & Weil, 2009). De tels concepts ne permettent pas d'étendre la définition de l'objet mais la restreignent : ils utilisent de la connaissance classique, peu originale et souvent déjà largement exploitée auparavant par le concepteur. En conception, nous verrons dans la section suivante que le recours à des

connaissances très originales, telles le poisson volant, pour la génération des concepts expansifs est une opération très difficile à réaliser.

La théorie C-K permet ainsi de modéliser un raisonnement de conception mais elle ne s'applique qu'à des propositions, c'est-à-dire, à des raisonnements verbaux. Afin de pouvoir analyser le raisonnement correspondant aux séquences de dessins sélectionnées chez T/E/S/S, il était nécessaire de pouvoir associer ces dessins à des propositions : au cours de différents entretiens, nous avons ainsi demandé à l'architecte d'expliciter son raisonnement au moment où il réalisait les différents croquis. Le détail de la méthodologie développée pour étudier les effets génératifs associés au dessin sera présenté en partie III.

2. Modélisation des effets génératifs des structures de connaissances : recours à la théorie du Forcing de Cohen

Si la théorie C-K permet de modéliser un raisonnement de conception, elle n'intègre cependant aucune indication sur la façon de modéliser la structure des connaissances : la structure de l'espace K est en effet considérée comme un paramètre libre de la conception. Or, une modélisation des rapports entre connaissances, ou encore des modification des rapports entre connaissances, est portant nécessaire à la compréhension des effets génératifs associés à la structure des connaissances.

2.1. De la difficulté à modéliser les structures de connaissances

Une telle modélisation n'est pas pour autant chose facile. En effet, nous avons montré en partie I qu'il existe différentes façons de représenter

les rapports entre connaissances. Pour comprendre les effets génératifs associés à la structures, il est néanmoins nécessaire de choisir la modélisation qui sera la plus susceptible de rendre compte de ces effets et de leur origine. Par ailleurs, il nous faut souligner que la modélisation de la structure de connaissances est, tout comme le caractère C ou K, fortement K-dépendant : en effet, la structure de la base de connaissances correspond à la façon dont le concepteur perçoit cette structure. Il peut prendre en compte des liens entre connaissances qu'un autre concepteur n'aurait pas réalisé, et inversement, négliger un rapport qui semblerait à quelqu'un d'autre évident voire essentiel.

L'un des enjeux de la thèse était ainsi de pouvoir proposer une modélisation des rapports entre connaissances qui puisse être facile à mettre en œuvre : il fallait trouver un cadre théorique permettant d'établir simplement les liens entre connaissances. Les bases de connaissances étant par ailleurs complexes, et les liens entre connaissances très nombreux, l'idéal était de trouver une méthode qui nous permette de modéliser uniquement les liens intéressants. Pour comprendre un effet génératif associé à une modification de la structure des connaissances, il n'était pas essentiel de pouvoir modéliser l'intégralité de la structure mais uniquement la partie de impliquée dans cet effet génératif. Nous nous sommes ainsi attachés à n'identifier que les liens importants en ayant recours à une théorie qui permettrait de comprendre l'origine de cette générativité : la théorie du Forcing de Cohen (1966, 2002).

2.2. Recours à une théorie de la générativité des structures d'objets : le Forcing mathématique de Cohen

La structure de connaissances étant considérée comme un paramètre libre de la conception, plusieurs types de structures génératives peuvent éventuellement être mobilisées par un concepteur au cours d'une

exploration. Si l'on souhaite étudier les effets génératifs associés à la structuration des connaissances, il est alors nécessaire de pouvoir identifier le type de structure mobilisé par le concepteur ainsi que le type d'opérations réalisées sur cette structure afin d'en tirer des effets génératifs. Pour ce faire, il nous fallait avoir recours à une théorie expliquant comment la structuration des connaissances pouvait favoriser la conception de nouveaux objets. Par ailleurs, nous savions qu'il pouvait être fastidieux d'avoir à modéliser l'intégralité de la structure de connaissances et des diverses modifications qu'elle subit en cours de conception. Il était donc nécessaire d'avoir recours à une théorie qui nous permettrait de ne réaliser qu'une modélisation partielle de la structure de connaissances, par exemple en rendant uniquement compte des modifications subies par la structure (et non des états successifs de l'intégralité de la structure). Par ailleurs, se limiter aux modifications impliquées dans un effet génératif était suffisant. Nous avons ainsi choisi de nous inspirer de la théorie du Forcing de Cohen (1966, 2002), théorie qui fournit un protocole de génération d'ensembles mathématiques nouveaux reposant sur une forme bien particulière de structure de connaissances. La suite de cette section présente les fondamentaux de cette théorie.

Il ne sera pas nécessairement important pour le lecteur de s'attacher à comprendre le détail du protocole de Forcing mais plutôt de bien en saisir les conditions de réussite. Sans aller trop loin dans les détails mathématiques, le protocole proposé par Cohen part d'un ensemble initial d'objets, noté « M », les objets étant définis par une liste de propriétés **p**, **q**, **r**, etc. (voir figure ci-après). Une telle liste de propriétés, lorsque les valeurs des propriétés sont définies, est appelée **filtre** : par exemple, une chaise peut être définie par sa différentes propriétés comme sa couleur (p=bleue) ou sa matière (q=bois) (voir figure ci-après). Un cas particulier de filtre est obtenu lorsque le filtre intersecte toutes les parties denses de M; les parties denses (**D**) étant des ensembles de propriétés qui raffinent toutes les propriétés existantes des

objets de M. Dans le cas de la chaise, il s'agit par exemple du poids, du prix et du coût de revient : même si leur valeur peut être nulle (e.g., « une chaise sans poids »), la description d'une chaise pourra toujours être raffinée par ses trois dimensions (on pourra toujours préciser le poids, le prix et le coût de la chaise, ce, quelque soit le niveau de définition des propriétés de l'objet). Un filtre qui intersecte toutes les parties denses est appelé **filtre générique** (voir figure ci-après). La théorie du Forcing de Cohen affirme qu'un filtre générique permet potentiellement de définir un ensemble d'objets mathématiques totalement nouveau.

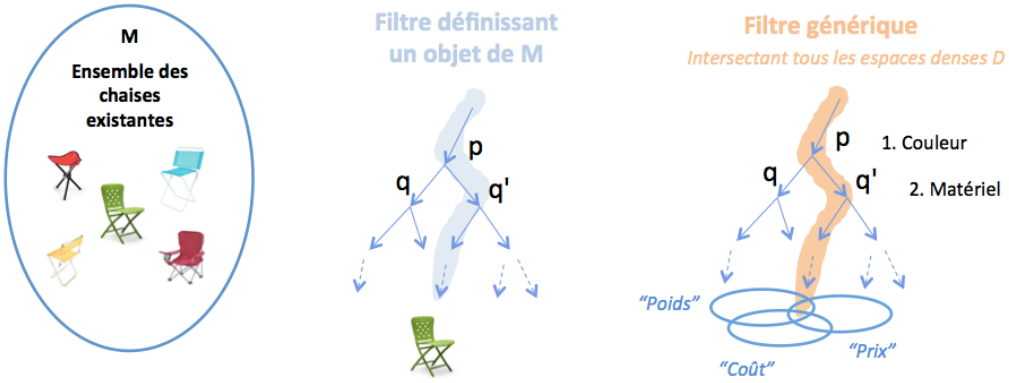


Figure 25. Processus de Forcing dans lequel une chaise est définie par ses propriétés (aussi appelées « contraintes » en théorie du Forcing). Au milieu : un filtre de propriétés p, q, ... qui définit une chaise. À droite : un filtre générique est un filtre qui intersecte tous les espaces denses, i.e, les ensembles de propriétés qui raffinent toutes les propriétés connues des chaises. Si la structure des propriétés vérifie la splitting condition, alors la nouvelle « chaise » définie par le filtre générique aura les propriétés d'une chaise mais sera différente de toutes les chaises connues.

En fait, le filtre générique sera complétement nouveau (i.e., en dehors de M) si et seulement si l'ensemble des propriétés p, q, r, etc. vérifie la **splitting condition**. Cette condition est vérifiée lorsqu'il n'existe aucune modularité ni aucun déterminisme dans l'espace des propriétés. Des exemples de structures de propriétés splitting et non splitting sont donnés dans la figure ci-après. Une **relation déterministe** est une relation où une propriété q raffine p sans alternatives possibles (Figure ci-après, à gauche). Une **relation**

modulaire est une relation où une propriété r peut raffiner soit q soit q' (Figure ci-après, milieu). Une structure présentant au moins une relation déterministe ou une relation modulaire sera non-splitting. Au contraire, une structure ne présentant ni déterminisme ni modularité sera appelée **structure splitting** (Figure ci-après, à droite).

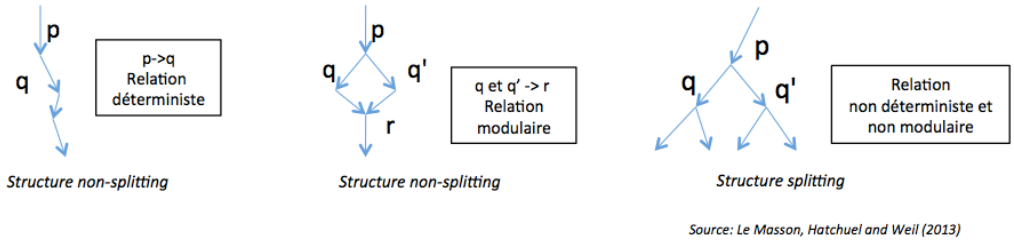


Figure 26. Exemples de bases non-splitting (à gauche et au milieu) et de base splitting (à droite). Une base de connaissance est non-splitting lorsque l'ensemble des propriétés des objets présentent au moins une relation déterministe ou bien au moins une relation modulaire. Une base de connaissances sera ainsi splitting si et seulement si toute propriété est raffinée au moins par deux propriétés (p est raffinée par q et q') et si ces propriétés sont incompatibles (i.e., aucune propriété r ne raffine à la fois q et q')

La théorie du Forcing de Cohen pourra ainsi nous permettre d'expliquer la générativité de certaines modifications subies par les structures étudiées en cours d'exploration : si un processus de conception repose sur la construction d'une base de connaissances splitting, c'est-à-dire sur l'élimination des liens modulaires et déterministes entre connaissances, un parallèle avec le Forcing permet d'en prédire un fort pouvoir génératif. Une fois les phénomènes génératifs rattachés à la structure des connaissances identifiés et leur mécanismes expliqués, on pourra ensuite s'attacher à en proposer des applications pratiques, et notamment, chercher à élaborer une méthode de conception basée sur la structuration de la connaissance.

2.3. Proposer une méthode générative facile à déployer : une articulation nécessaire avec les méthodes classiques de génération de concepts

L'un des enjeux de la thèse sera en effet de proposer une méthode générative basée sur la structuration des connaissances et qui puisse être compatible avec les explorations conceptuelles usuelles. En effet, la méthode classique de génération de concepts n'intègre pas de protocole particulier concernant la structure de connaissances : la génération de concepts repose sur la formulation d'un concept à partir d'une connaissance surprenante. La structure de connaissance associées constitue un paramètre libre de la conception (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). Afin de pouvoir mobiliser facilement la structuration des connaissances en conception, il sera ainsi nécessaire, dans la suite de la thèse, de penser son articulation avec les méthodes existantes, comme par exemple la méthode C-K ou encore le processus KCP (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2009).

3. Contrôler les effets génératifs de la restructuration des connaissances : performance du non-verbal en session de conception collective

Le cas des architectes représente une situation idéale de conception dans le non-verbal : l'architecte conçoit seul, il maîtrise parfaitement la pratique de son média et sait comment l'utiliser pour aboutir à des effets génératifs. Si l'étude du dessin d'architecte permet d'identifier des phénomènes génératifs intéressants, il sera cependant nécessaire de savoir si ces effets génératifs se retrouvent dans des contextes moins favorables : par exemple, en collectif ou bien lorsque le concepteur qui manipule le non-verbal n'est pas familier de ce type de média.

3.1. Identifier les conditions nécessaires à la performance du non-verbal en session de conception collective : comparaison de quatre cas d'étude

Les médias non-verbaux comme le dessin, les images ou encore le prototypage sont souvent mobilisés en session de génération d'idées afin de favoriser la créativité du groupe (Kelley & Littman, 2001 ; Kristensen, 2004). En collectif, les modes d'usage du non-verbal sont alors multiples : les parties prenantes peuvent être de natures variées (experts du non-verbal, chef de projet, facilitateur de session, simple participant) et s'organiser de façons diverses. Ainsi n'est-il pas évident que les effets génératifs identifiés pour notre situation idéale qui réunit l'architecte et son dessin, puissent être retrouvés dans tous les cas de conception collective utilisant le non-verbal.

Afin d'enrichir la modélisation des effets génératifs identifiés, il était donc intéressant de déterminer les conditions d'usage nécessaires à leur obtention. Pour ce faire, nous avons comparé quatre cas de conceptions collectives reposant sur l'usage du non-verbal. Pour ces quatre cas, la mobilisation du non-verbale avait précisément pour objectif de renforcer la générativité du groupe. Nous avons ainsi étudié quatre sessions de générations d'idées : une session conduite chez T/E/S/S à l'aide du dessin, une phase C d'un KCP réalisée à la RATP et faisant intervenir un illustrateur pour renforcer la créativité du groupe, une séance de brainsketching réalisée chez Renault, et enfin, une session de génération d'idées, également menée chez Renault, et utilisant des images pour donner de nouvelles idées aux participants. Ces quatre cas se distinguent sur plusieurs aspects, notamment : la nature du média non-verbal, l'expertise de celui qui conçoit les médias non-verbaux, l'expertise de ceux chargés de l'utiliser pour générer de nouveaux concepts et la façon dont les acteurs interagissent entre eux. Une étude des différentes sessions a été conduite afin de déterminer, pour chaque cas, l'impact du non-verbal sur la structure des connaissances, ainsi

que les conditions les plus favorables à la performance générative du non-verbal.

3.2. Les missions d'une figure d'acteur garante de la performance générative du non-verbal

L'identification des conditions favorables à la performance du non-verbal conduit nécessairement à s'interroger sur la figure d'acteur capable de mettre en place et de maintenir ces conditions. Cela revient à s'interroger sur les acteurs susceptibles de promouvoir une forme de générativité associée à la structure des connaissances en conception collective.

Au cours de notre itinéraire de recherche, nous nous sommes ainsi attachés à identifier les missions d'une figure d'acteur soucieuse - voire responsable - de l'impact du non-verbal sur la structure de connaissances ainsi que sur le résultat de la conception. Pour construire cette figure d'acteur et en définir les missions ainsi que les leviers d'action, nous nous sommes notamment appuyés sur un certain nombre d'acteurs existants : chef de projet, expert du non-verbal, expert en créativité ou encore facilitateur de session.

Jusqu'alors, l'itinéraire de recherche aura consisté à étudier et modéliser la générativité des structures de connaissances sous l'angle des structures non-verbales. Afin d'enrichir notre modélisation, nous nous sommes intéressés à un type de structures de connaissances susceptible d'être moins agile et plus inerte : les structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation. Réussir à introduire des effets génératifs au sein de ces structures relativement figées pourrait en effet se révéler particulièrement intéressant pour la conception. C'est notamment le cas de la conception des programmes de recherche, conception qui dépend fortement de la structuration des sciences en disciplines. Dépasser les

frontières existant entre disciplines pourrait permettre d'introduire de nouvelles ruptures et ainsi se révéler particulièrement génératif : c'est la motivation principale de la recherche transdisciplinaire.

4. Pilotage de la réorganisation des structures de connaissances figées : le cas d'une discipline – le Génie des Procédés – et d'un réseau de recherche – le réseau R2A2

L'enjeu de l'étude de ces structures de connaissances figées résidait autant dans la possibilité d'enrichir notre modélisation que dans l'opportunité de tester des processus de restructuration générative et d'identifier les conditions favorables à leur réussite.

4.1. Élaboration d'une méthode de conception basée sur la restructuration des connaissances : un cas de conception en Génie des Procédés

À partir des phénomènes observés pour les structures non-verbales, nous étions en mesure de proposer un nouveau processus de conception que nous avons ensuite testé sur une structure de connaissance potentiellement difficile à revisiter : celle du domaine du Génie des Procédés. Dans le cadre d'une recherche-intervention, nous avons travaillé avec le LRGP de Nancy sur un projet de conception visant à modifier les grands paradigmes du Génie des Procédés afin de permettre l'ouverture de nouvelles voies d'innovation. Ce terrain permettait en effet de tester une méthode de conception qui se voulait compatible avec les techniques usuelles de génération de concepts, tout en intégrant des effets génératifs associés à la structure des connaissances. En Génie des Procédés, de grands paradigmes établis depuis

plusieurs décennies se révèlent particulièrement structurant pour la conception des projets de recherche et des objets associés à la discipline (réacteurs chimiques et nucléaires ou encore stations d'épuration). Nous avons donc travaillé avec un chercheur du LRGP afin de tester la performance d'un processus visant à modifier ces paradigmes tout en s'affranchissant de la dimension non-verbale. Ce travail ayant néanmoins été mené avec un nombre restreint de personnes, il sera également nécessaire de tester la possibilité de revisiter une telle structure à plus grande échelle. En particulier, on s'attachera à identifier le type de structure organisationnelle favorable à une telle revisite des représentations partagées au sein de l'organisation.

4.2. Identification des caractéristiques organisationnelles favorisant la structuration générative des connaissances : étude du réseau R2A2, un réseau de recherche à visée conceptive

Afin de comprendre ce que devient la réorganisation des structures de connaissances partagées en cas d'implication d'un grand nombre d'acteurs, nous avons mené une recherche-intervention au sein d'un réseau de recherche : le réseau R2A2 travaillant sur la thématique de l'antibiorésistance animale. Le but de ce travail était d'identifier les facteurs favorisant restructuration générative des connaissances à l'échelle d'une organisation. La restructuration des connaissances était précisément l'ambition du réseau R2A2 : le réseau réunit différents centres de recherches, des industriels et des praticiens (vétérinaires, éleveurs ou encore ingénieurs agronomes) dans le but de concevoir des programmes de recherche innovants et transdisciplinaires. Une telle conception transdisciplinaire constituait néanmoins un challenge car les frontières entre disciplines apparaissent en général peu perméables (Kostoff, 1999) et le dialogue entre chercheurs de

différentes disciplines difficile à instaurer (Dewulf, François, Pahl-Wostl, Taillieu, 2007). Le réseau R2A2 se posait ainsi la question du mode d'organisation à mettre en place dans le but de faire dialoguer entre elles les différentes disciplines, pour ainsi concevoir des programmes de recherche particulièrement originaux. De notre côté, ce projet de recherche nous donnait l'occasion d'identifier les conditions favorisant la restructuration générative des connaissances à l'échelle organisationnelle.

Conclusion de la partie II – De la générativité du non-verbal à la générativité des structures de connaissances en conception

Afin d'étudier la générativité des structures de connaissances en conception innovante, nous nous sommes ainsi attachés à identifier les effets génératifs intervenant lors de cas de conception portés par le non-verbal. Cette recherche fut basée sur une observation réalisée au sein de l'agence T/E/S/S, observation qui nous conduisit à développer des cadres analytiques susceptibles de saisir l'apport du non-verbal pour la conception (voir figure ci-après). Une modélisation des phénomènes génératifs ainsi identifiés fut ensuite proposée à partir des théories de la conception, et en particulier de la théorie C-K et de la théorie du Forcing de Cohen. Cette première modélisation appliquée aux cas de conception observés chez T/E/S/S permis ensuite de mieux comprendre la générativité des dessins d'architectes.

Dans le but d'enrichir notre modélisation, nous avons choisi d'observer des cas de conception faisant à nouveau intervenir le non-verbal, mais menés cette fois en collectif. Nous avons ainsi réalisé une étude comparative des différents cas afin d'identifier les conditions favorables à une restructuration générative des connaissances reposant sur le non-verbal. Deux cas de conception observés chez Renault et un cas suivi à la RATP ont ainsi été comparés à un travail de conception effectué en groupe au sein de l'agence T/E/S/S.

Enfin, afin d'étudier la possibilité de reproduire les effets génératifs identifiés indépendamment de l'aspect non-verbal, nous nous sommes intéressés à des structures de connaissances moins agiles, susceptibles d'être

relativement inertes et donc difficiles à réorganiser : les structures de connaissances établies et partagées à l'échelle organisationnelle, et plus particulièrement, la structuration des sciences en disciplines. Dans cette optique, nous avons menés deux recherches-intervention. La première, réalisée au sein du LRGP de Nancy, avait pour but de proposer un processus de restructuration des connaissances et de tester sa capacité à modifier un certain nombre de grand paradigmes du Génie des Procédés. Le deuxième cas de recherche-intervention visait quant à lui à comprendre les conditions organisationnelles favorables à la restructuration générative des connaissances. Pour ce faire, nous sommes intervenus au sein du réseau R2A2 réunissant différents organismes de recherche ainsi que des praticiens du domaine de l'agronomie : le but du réseau était de favoriser la génération de programmes de recherche transdisciplinaires sur le thème des antibiotiques sans résistance. Il s'agissait donc de chercher à rediscuter les frontières existant entre les différentes disciplines afin de proposer de nouvelles voies de rupture.

Le schéma ci-après résume notre itinéraire de recherche et présente la correspondance entre chaque étape et les différentes parties du manuscrit.

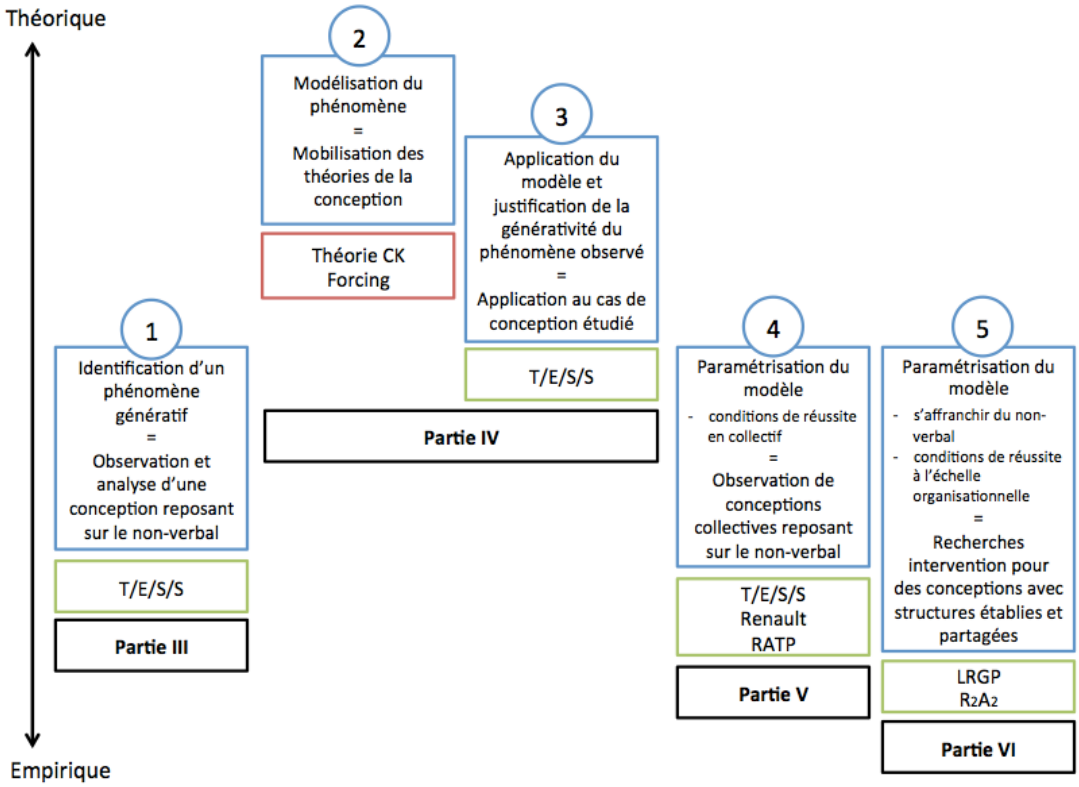


Figure 27. Résumé de l'itinéraire de recherche

« Quand j'écris une formule de parfum, non seulement j'ai une vision globale de ce que je désire atteindre, mais encore j'ai en mémoire les matières et la contribution probable de chacune d'entre-elles dans la composition. Empruntant le raisonnement de Pascal : « Je ne peux comprendre le tout si je ne connais pas les parties et je ne peux pas comprendre les parties si je ne connais pas le tout. » Cette conception m'invite à procéder par une pensée « en navette. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie III – Mise en évidence de l'impact d'une pré-structuration des connaissances en conception innovante 145

Chapitre V – Analyse d'un travail de conception réalisé à travers un média non-verbal particulier : le dessin d'architecte.....147

1. Sélection du matériau empirique : collaboration avec l'atelier d'ingénierie T/E/S/S 147

   1.1. T/E/S/S : une culture de l'innovation ayant conservé le dessin à la main 148
   1.2. Sélection de trois séquences de dessins : critères de sélection..... 149

2. Mise au point d'une méthodologie d'étude de la conception par le dessin : analyse de l'expansion en concepts et en connaissances 151

   2.1. La stratégie de conception comme co-expansion des concepts et des connaissances : la théorie C-K..... 151
   2.2. Analyse de la stratégie de conception associée aux dessins avec C-K 154

Chapitre VI – Une stratégie de structuration des connaissances pour la conception innovante 159

1. Un travail de conception majoritairement basé sur les connaissances : une conception orientée K 159

   1.1. Occurrence des opérateurs de conception sur les trois séquences de dessins 160
   1.2. Des croquis dépassant la simple représentation de concepts..... 161
   1.3. Une présence importante des connaissances dans le raisonnement de conception 164

2. Une base de connaissance construite de façon stratégique : un travail minutieux de composition de la base K..... 166

   2.1. Première intuition sur la générativité des dessins 166
   2.2. Une sélection minutieuse des connaissances par l'architecte 167

Conclusion de la partie III – Une anomalie qui appelle à de nouveaux modèles couplant structures de connaissance et générativité 171

Partie III – Mise en évidence de l'impact d'une pré-structuration des connaissances en conception innovante

Dans le but de mieux comprendre le rôle des structures de connaissances en conception innovante, nous avons choisi de nous intéresser dans un premier temps à un cas particulier de raisonnements de conception : ceux pour lesquels la structure des connaissances utilisée n'apparaît pas. A l'opposé d'un travail de conception classique où le concepteur explore les solutions possibles en ayant en tête un certain nombre de règles (des lois de la physique, des moyens d'actions, une structure d'entreprise ou les différentes étapes d'un procédé industriel), un travail de conception basé sur des médias non-verbaux semble cacher la structure de connaissances qu'il mobilise. En effet, lorsque l'architecte conçoit un bâtiment à travers le dessin, les connaissances qu'il mobilise, la façon dont elles s'insèrent dans une structure de connaissance préexistante ou encore l'évolution de cette structure des connaissances au fil de l'exploration restent inaccessibles à l'observateur extérieur. Par ailleurs, l'architecte lui-même éprouve souvent énormément de difficultés lorsqu'il s'agit de les expliciter (Ferguson 1977, Goldschmidt 1991). Cependant, si les structures de connaissances mobilisées n'apparaissent pas de façon évidente lors d'un travail de conception réalisé à travers du non-verbal, on peut très bien imaginer qu'il est alors d'autant plus facile de les transgresser ou de les modifier. Ainsi, la conception dans le non-verbal constitue un premier terrain d'étude pour tenter de mieux appréhender le rôle des structures de connaissances en conception. On s'attend en effet à y observer des phénomènes intéressants quant à la

structure des connaissances, son évolution et son interaction avec la génération de concepts.

La première difficulté à laquelle l'on sera confronté lors de l'étude de la conception dans le non-verbal sera de trouver une méthode permettant d'analyser le raisonnement de conception : dans ce cas, le raisonnement n'est pas verbalisé et les seuls témoignages ou traces qui lui sont associés sont des formes non-verbales, difficilement compréhensibles par un observateur extérieur. Dans cette partie, nous présentons l'étude de raisonnements de conception réalisés uniquement au travers du dessin. Cette étude a été menée au sein de l'atelier d'ingénierie T/E/S/S et est basée sur des séquences de dessins d'architectes. Cette troisième partie présente tout d'abord la méthode d'analyse développée pour être capable d'étudier une conception dans le non-verbal (Chapitre V) ainsi que les premiers résultats obtenus sur l'analyse de trois séquences de dessins sélectionnés chez T/E/S/S (Chapitre VI).

Chapitre V – Analyse d'un travail de conception réalisé à travers un média non-verbal particulier : le dessin d'architecte

Dans le but d'étudier les raisonnements de conception réalisés à travers le non-verbal, une collaboration lancée avec l'atelier d'ingénierie et d'architecture T/E/S/S a permis de réaliser l'étude de trois séquences de dessins correspondant à trois raisonnements de conception distincts. Afin d'étudier le rôle des structures de connaissances dans le raisonnement de conception, il nous a tout d'abord fallu construire une méthode permettant de mettre en évidence le raisonnement de conception suivi par le concepteur à partir des séquences de dessins sélectionnées. Il était ensuite important de se demander quelle était la place de la connaissance dans ce raisonnement de conception et si l'expansion des connaissances permettait d'observer des effets génératifs intéressants, voir inattendus.

Ce chapitre V présente tout d'abord le processus de sélection du matériau empirique (section 1) avant d'expliquer la méthodologie mise au point pour rendre possible l'analyse un raisonnement de conception non-verbal.

1. Sélection du matériau empirique : collaboration avec l'atelier d'ingénierie T/E/S/S

Afin d'avoir accès à un matériel empirique de qualité, une collaboration a été menée avec l'atelier d'ingénierie T/E/S/S. Cette collaboration a permis d'étudier de façon très précise trois séquences de dessins réalisées par un architecte expérimenté et directeur de l'agence

T/E/S/S. La sélection de ces séquences de dessins a été réalisée selon un certain nombre de critères afin d'espérer pouvoir observer des phénomènes intéressants quant à la conception via le non-verbal.

1.1. T/E/S/S : une culture de l'innovation ayant conservé le dessin à la main

T/E/S/S est une entreprise mêlant à la fois architectes et ingénieurs. L'agence est impliquée dans la réalisation d'un grand nombre de structures architecturales, de la simple villa au musée monumental. Cet atelier d'ingénierie est reconnu pour ses solutions innovantes, notamment en ce qui concerne la réalisation de façades ou d'enveloppes de bâtiments. T/E/S/S peut être impliqué dans la réalisation de l'intégralité d'un bâtiment ou d'une partie seulement (ce fut par exemple le cas pour la rénovation des vitrines des Galeries Lafayette de Metz et la création de sa marquise). L'un des projets les plus remarquables de T/E/S/S est sans doute son implication dans la construction de la Fondation Louis Vuitton à Paris, bâtiment monumental constitué d'immenses voiles de verres qui constituent un défi technique à elles seules.

Avec à sa tête Tom Gray, architecte reconnu, l'agence a su conserver une méthode d'innovation centrée autour du croquis et du dessin à la main, à une époque où la simulation 3D prend de plus en plus de place dans la conception architecturale. La collaboration avec T/E/S/S est née d'une volonté de l'agence de comprendre la puissance générative du dessin à la main - c'est-à-dire sa capacité à générer des idées surprenantes - et en particulier de saisir de façon plus précise en quoi consistait leur processus d'innovation. D'un autre côté, T/E/S/S offrait un accès à du matériel empirique de bonne qualité : un dessin d'architecte expérimenté apparaissait en effet plus susceptible de présenter des effets génératifs surprenants par rapport à un dessin réalisé par une personne moins familière de l'usage du

dessin dans un but conceptif (tels un étudiant en art ou en architecture ou encore des dessinateurs non expérimentés). Au cours de l'étude, nous avons pu avoir un accès complet aux carnets de dessin de Tom Gray. Nous avons mené différentes interviews avec ce dernier afin de tenter d'expliciter le processus de conception associé à certains de ces dessins.

1.2. Sélection de trois séquences de dessins : critères de sélection

Pour notre étude, il nous fallait sélectionner des séquences de dessins offrant une forte probabilité d'observer des phénomènes surprenants en terme de conception. Il s'agissait donc tout d'abord de trouver des séquences présentant la génération d'une ou plusieurs idées originales, ces séquences étant plus susceptibles de faire apparaître certains effets génératifs du dessin. Afin de pouvoir sélectionner ces séquences parmi les nombreuses séries présentes dans les différents carnets, nous avons également cherché à retenir des dessins de type différents : en effet il a été vu en partie I que même si la génération d'idées originales est souvent associée à des dessins de type « thinking » pour lesquels le concepteur est seul face à son dessin, elle peut aussi bien se produire avec des dessins de type « talking » ou « prescriptive » où plusieurs parties prenantes sont impliquées. Afin d'avoir un échantillon varié, nous avons retenu deux séquences de dessins de type « thinking » où le patron de l'agence réfléchissait seul sur un projet, et une séquence de dessin de type « talking » où Tom Gray discutait d'un projet avec d'autres personnes. La première séquence (séquence 1) présente la recherche d'une solution innovante pour le système de brise-soleil d'un musée : le musée Palestine (Un brise-soleil est un système apposé à une fenêtre ou une façade afin de réduire la luminosité à l'intérieur d'un bâtiment). La deuxième séquence (séquence 2) présente une exploration réalisée par le directeur de l'agence afin de trouver une forme originale de

bibliothèque pour l'agence elle-même. La dernière séquence (séquence 3) consiste en la conception d'une nouvelle façade pour un commissariat de police à Paris. Les trois séquences sont présentées en Annexe 1. Ces séquences correspondent toutes trois aux premiers stades du processus de conception, un temps qui s'achève avec l'émergence du concept original qui sera finalement retenu pour le projet. Les trois séquences sont également de longueur variée : la première séquence représente une page de carnet (format A5), la séquence 2, six pages et la troisième séquence, 20 pages. Les trois séquences ont été réalisées par Tom Gray dans des contextes différents. La troisième séquence en particulier a été réalisée durant une réunion impliquant deux architectes de T/E/S/S (dont Tom Gray) et deux architectes appartenant à une autre agence. La numérotation des séquences est cohérente avec l'ordre chronologique de réalisation.

Afin de comprendre le processus de conception associé à ces séries de dessins, nous avons réalisé des interviews approfondies avec leur concepteur. Le but de ces interviews était de comprendre le processus de conception que l'architecte mobilisait au moment de réaliser les différentes séquences, ainsi que la nature de l'interaction ayant eu lieu entre le concepteur et son média non-verbal. Il fut ainsi demandé à l'architecte d'expliquer quel avait été son raisonnement de conception lorsqu'il dessinait. Les interviews menées ont représenté environ six demi-journées de travail, l'étude complète s'étalant sur une année entière, de septembre 2013 à septembre 2014. Afin d'éviter les écarts entre le récit de l'architecte et la réalité - écarts susceptibles de survenir du fait de la nature rétrospective de l'étude - nous avons volontairement sélectionné des séquences de dessins relativement récentes. Cependant, le fait que les interviews aient été menées après la production des dessins peut avoir introduit de petites déviations entre le processus de conception réel et le processus de conception présenté par l'architecte. Il est en effet possible que l'architecte ait oublié certains éléments étant intervenus dans la conception de ses dessins.

2. Mise au point d'une méthodologie d'étude de la conception par le dessin : analyse de l'expansion en concepts et en connaissances

2.1. La stratégie de conception comme co-expansion des concepts et des connaissances : la théorie C-K

Être capable de rendre compte de l'émergence de concepts et de connaissances lors d'une conception non-verbale est essentiel à la compréhension des effets génératifs des dessins d'architecte. De façon plus générale, les différentes contributions du dessin au processus de conception posent la question de la création d'un cadre analytique pertinent permettant d'analyser des processus génératifs variés. Pour traiter ce problème, la théorie C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009) a été mobilisée. Ce choix a été réalisé car C-K permettait en particulier de rendre compte des effets génératifs tenant de la variété des idées générées et de la générativité basée sur la structure des connaissances (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2016).

Dans la théorie C-K, la générativité est en effet modélisée comme des expansions de l'espace des connaissances (K) et de l'expansion des concepts (C). Une connaissance désigne une proposition possédant un statut logique : la proposition est soit vraie, soit fausse, l'objet qui lui est associé existe ou n'existe pas. A l'inverse, un concept est une proposition ne possédant pas de statut logique : il est impossible de dire si elle est vraie ou fausse. Par exemple, la proposition « puzzle » est une connaissance couramment partagée tandis que la proposition « un bâtiment puzzle » est un concept : a priori, on ne sait pas si un tel bâtiment existe ou n'existe pas. En théorie C-K, l'espace des concepts C et l'espace des connaissances K sont représentés de la façon présentée sur la figure ci-après. Les concepts sont nécessairement organisés selon une arborescence reflétant les liens logiques existant entre

les concepts (ces liens sont appelés partitions et inclusions). A l'inverse, les connaissances peuvent être représentées de la façon souhaitée : la connaissance est en effet considérée comme un paramètre libre en théorie C-K (Hatchuel, Weil & Le Masson, 2013), ce qui permet à la théorie d'être utilisée pour des types de structures de connaissances variés.

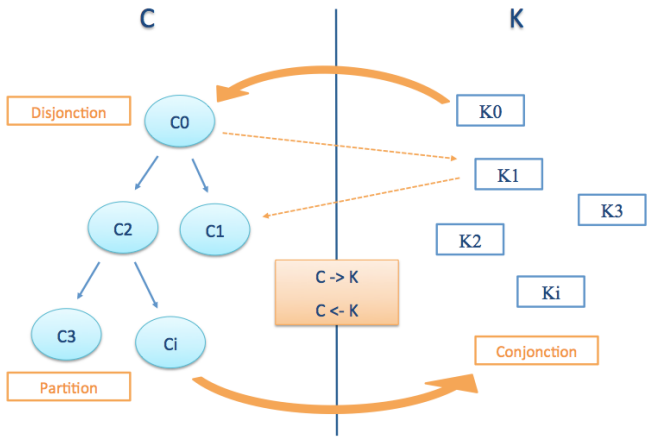


Figure 28. Théorie C-K: représentation des espaces C et K

Par ailleurs, la théorie distingue quatre opérateurs permettant de modéliser les mouvements au sein des espaces C et K : K->C, C->C, K->K et C->K. En conception innovante, l'exploration de l'espace des concepts et l'exploration de l'espace des connaissances travaillent constamment de concert. Par exemple, partant du concept de « bâtiment puzzle », on mobilisera à la fois de la connaissance acquise et de la connaissance inattendue pour essayer de donner un sens à ce concept. Le concept initial (aussi appelé **C0**) peut ensuite être spécifié afin d'aboutir à plusieurs sous-concepts (voir figure ci-dessus). Le concepteur peut choisir d'explorer des concepts très variés ou alors de ne se focaliser que sur une voie particulière, correspondant à un sous-concept donné. Dans les deux cas, des connaissances supplémentaires seront requises afin de pouvoir continuer à explorer le concept initial jusqu'à ce qu'une ou plusieurs solutions originales

émergent. Une exploration sera générative à partir du moment où elle mène à une expansion en connaissance (notée ΔK si elle est importante ou ∂K si elle est incrémentale) ou une expansion en concept (notée ∂C ou ΔC). En d'autres termes, la génération correspond à l'émergence d'un concept ou d'une connaissance inattendus.

Modéliser cette alternance entre l'exploration des connaissances et l'exploration des concepts permet en outre de distinguer différents types de stratégies de conception (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2004). Certaines stratégies peuvent en effet être considérées comme « orientées Concept » : pour celles-ci, la plupart de la connaissance introduite est utilisée directement pour générer de nouveaux concepts (figure ci-après, à gauche). Il existe aussi des stratégies « orientées Connaissance », pour lesquelles la plupart des nouvelles connaissances acquises n'affectent pas directement l'espace C. Au contraire, la nouvelle connaissance entraine une réorganisation de l'espace K (aussi appelée **K-reordering**), impactant en premier lieu l'espace K (et non l'espace C) (figure ci-après, à droite). Cette réorganisation de K fait apparaître de nouvelles règles régissant l'espace des connaissances : grâce à cette nouvelle organisation de la base K, de nouvelles voies d'innovation peuvent ainsi être ouvertes (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2016). Par ailleurs, il a déjà été vu que la générativité est plus grande si la structure des connaissances satisfait la splitting condition (Partie I). Il est ainsi possible d'analyser la façon dont les expansions en K changent la structure de l'espace des connaissances et favorisent la générativité (Lenfle, Le Masson & Weil, 2016). À l'aide un cadre analytique basé sur la théorie C-K, il sera donc possible de suivre la création de concepts et de connaissances, et, dans le cas de cette dernière, d'examiner la façon dont la nouvelle connaissance modifie la structure de l'espace K.

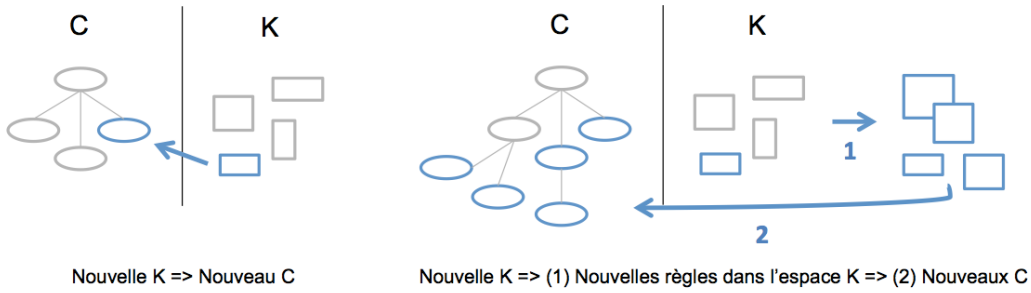


Figure 29. Deux façons de générer des concepts : utilisation directe des nouvelles connaissances (à gauche) et K-reordering (à droite)

2.2. Analyse de la stratégie de conception associée aux dessins avec C-K

Afin de mieux comprendre les effets génératifs associés à la pratique du dessin, il nous fallait être capable d'étudier un phénomène particulier : l'interaction entre un architecte et ses dessins (voir figure ci-après). Nous avions accès aux dessins (D), ainsi qu'aux explications apportées par l'architecte (A) lors des interviews. Un cadre théorique précis devait être choisi afin de pouvoir (1) analyser ces données, (2) mieux comprendre la stratégie de conception suivi par l'architecte et (3) évaluer la place tenue par les dessins au sein de cette stratégie. Dans ce contexte, la théorie C-K a été mobilisée afin de modéliser l'exploration des concepts et l'exploration des connaissances associées aux différentes séquences de dessins.

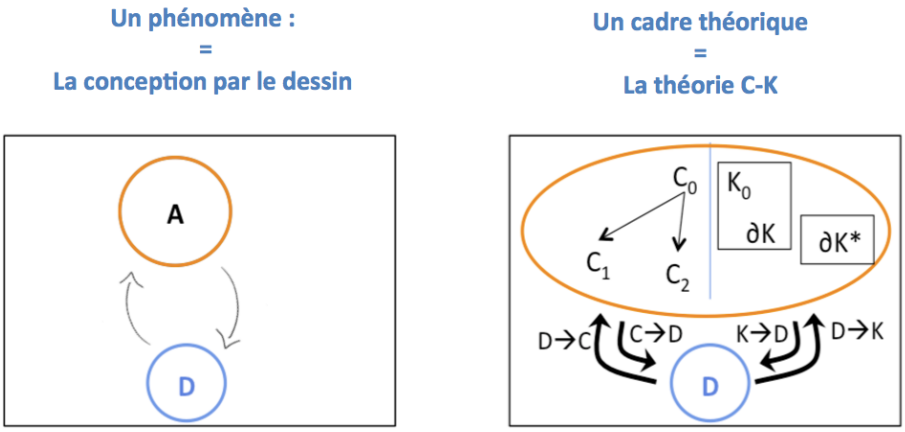


Figure 30. La théorie C-K comme cadre analytique pour étudier un phénomène particulier : les interactions entre un architecte (A) et son dessin (D). À gauche : interaction entre A et D. À droite : modélisation C-K, les interaction entre A et D représentées par les opérateurs C→D, K→D, D→ C et D→K.

Pendant son exploration, l'architecte pouvait mobiliser deux types de connaissances : des connaissances directement liées au sujet traité et des connaissances apparaissant totalement décorrélées du concept exploré. Il a ainsi été choisi de distinguer les bases de connaissances reliées à l'exploration en cours (par exemple, des éléments architecturaux, les attentes esthétiques de l'architecte, des critères d'évaluation comme la stabilité de la structure ou le coût) et les bases de connaissances apparaissant décorrélées du sujet. Par exemple, la base de connaissance « puzzle » de notre exemple précédent ne semble pas directement liée à une exploration concernant une construction architecturale. Il sera ainsi noté **K*** une connaissance apparaissant distante du concept initial (noté **C0**) tandis que **K** fera référence (1) aux bases de connaissances appartenant à la base de connaissance initiale (nommée **K0**) ou (2) à des bases de connaissances liées au sujet exploré.

Utilisant la théorie C-K comme cadre analytique, quatre types d'interactions entre l'architecte et ses dessins peuvent être distingués :

- **K(*)->D** : Cet opérateur correspond à une situation où l'architecte mobilise dans son dessin une connaissance qu'il avait déjà en tête, pour, par exemple, visualiser ou encore tester cette connaissance. Cette connaissance peut être plus ou moins liée à au concept original C0.
- **C->D** : Cet opérateur permet de transformer un concept imaginé par le designer en un dessin. Puisque les concepts ne possèdent pas de statut logique, cet opérateur permettrait d'aider à clarifier les concepts par une visualisation via un média non-verbal.
- **D->K(*)** : Cet opérateur correspond à une situation où le dessin amène une connaissance nouvelle au concepteur, connaissance que ce dernier n'avait pas mobilisée précédemment au moment de réfléchir au concept initial. Cette connaissance peut être plus ou moins liée au concept original C0.
- **D->C** : Avec cet opérateur, le dessin génère directement un concept, i.e., une proposition sans statut logique (Par exemple, l'architecte peut voir un "bâtiment puzzle" dans son dessin).

Pour analyser les trois séquences de dessins, il a été demandé à l'architecte de les commenter en expliquant quel avait été son raisonnement de conception au moment de leur réalisation. L'architecte interrogé, Tom Gray, n'avait aucune connaissance en théorie de la conception et il ne lui a pas été demandé de modéliser son raisonnement à l'aide de la théorie C-K : il a simplement fourni des propositions concernant ce qu'il était en train de penser au moment de dessiner. Les différentes interviews ont été analysées après chaque session de travail avec l'architecte. Des entretiens supplémentaires ont été menés chaque fois que l'analyse a révélé des trous dans le raisonnement de conception reconstitué à partir des propositions de l'architecte. Pour les besoins de l'analyse, chaque dessin fut associé aux propositions de l'architecte lui correspondant et ce sont ces propositions qui se sont vues attribuer le statut de concept ou de connaissance. Il est à noter que les statuts C ou K sont liés au référentiel de l'architecte : un concept est

en effet toujours considéré comme tel étant donné une base de connaissance spécifique. Dans notre étude, une proposition formulée par l'architecte peut constituer un concept pour lui mais une connaissance pour quelqu'un d'autre, et inversement. Par là même, la modélisation du raisonnement de conception est relative au référentiel de connaissances de l'architecte. Un exemple d'analyse de séquence de dessins est présenté ci-après (voir figure et tableau ci-après).

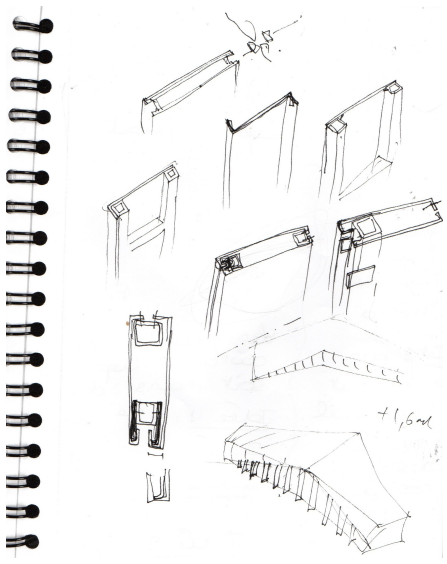


Figure 31. Séquence 1 portant sur la création d'un système de brise-soleil innovant

Dessins	Propositions	Statut K ou C	Opérateurs
	"Ceci est le projet initial."	K : projet initial	K->D
	"Il est trop coûteux."	K : évaluation	D->K
	"Comment faire un système moins coûteux?"	C : un système innovant moins coûteux (C0)	K->C (disjonction)
	"Ce système fonctionne."	K : expérience	K->D and D-
	"Il ne plaira pas pour des raisons esthétiques"	K : attentes esthétiques	D->K
	"Comment trouver un entre-deux?"	C : un système innovant moins coûteux « entre-deux »	D->C

	"La structure en H est stable."	K : expérience du concepteur	K->D
	"La fixation plaque-structure peut se faire de l'intérieur, de cette façon."	K : expérience du concepteur	K->D
	"Le rendu final serait le suivant."	K : esthétique finale	K->D
	"Il se passe quelque chose d'important sur le côté."	K* : focale sur le côté	D->K*
	"Comment fixer les plaques à la structure par le côté?"	C : « un système original de fixation de plaques par le côté »	K*->C
	"La fixation par vissage n'est pas esthétique."	K : vissage, attentes esthétiques du concepteur	K->K
	"La fixation structure-plaque peut se faire via des clips."	C=K* : un système de clip	C->D and D->K* (conjonction)
Les deux dessins restant sur la page de carnet ont été ajoutés bien après le processus de conception			

Tableau 1. Séquence 1: Propositions de l'architecte, statut K ou C, et opérateurs correspondants

Pour chaque séquence de dessins, la succession des opérateurs correspondants a été établie afin de reconstituer la stratégie de conception (voir tableau ci-dessus). Tandis que les quatre opérateurs classiques de la conception (K->C, C->C, K->K et C->K) décrivent ce qu'il se passe dans l'esprit de l'architecte uniquement, les quatre opérateurs introduits pour les besoins de l'étude (K(*)->D, C->D, D->K(*), D->C) décrivent l'interaction entre les pensées de l'architecte et son dessin. Le nombre d'opérateurs K->D, C->D, D->K et D->C a été comptabilisé afin d'aider à visualiser leur occurrence et de mieux comprendre la nature des effets génératifs du dessin. Notre analyse des résultats a cherché à se focaliser non pas sur les différences entre les trois séquences étudiées mais sur les similarités. Nous avons recherché des schémas communs aux trois séquences qui pourraient permettre de mieux comprendre la façon dont le dessin contribue au processus de conception. Les résultats de notre analyse sont présentés dans le chapitre suivant. Ces derniers ont été montrés et expliqués à l'architecte afin de valider qu'ils étaient bien cohérents avec sa pensée et son raisonnement de conception.

Chapitre VI – Une stratégie de structuration des connaissances pour la conception innovante

La méthode présentée dans le Chapitre III permet de reconstituer le raisonnement de conception associé à des traces non-verbales. Dans le cas de l'architecte, une analyse fine de la succession des opérateurs de conception associée à ces dessins permettra non seulement de reconstituer son raisonnement de conception, mais également de mieux comprendre la place de la connaissance dans ce processus. Si la profession d'architecte a souvent été considérée comme capable de composer avec des connaissances appartenant à des domaines variés, il est à souhaiter que l'analyse des dessins permette de mettre en évidence les mécanismes de conception favorisant cette capacité de l'architecte.

Ce chapitre présente les résultats associés à l'étude des trois séquences de dessins sélectionnées chez T/E/S/S. Il met en évidence la place surprenante prise par la connaissance dans le raisonnement de conception de l'architecte (section 1) et présente une première hypothèse quant à la capacité générative du dessin (section 2). En particulier, nous chercherons à mettre en évidence les mécanismes permettant d'expliquer la capacité d'expansion dont fait preuve l'architecte au travers de son exploration.

1. Un travail de conception majoritairement basé sur les connaissances : une conception orientée K

Afin de déterminer le rôle tenu par la connaissance dans le raisonnement de conception de l'architecte, l'occurrence des différents types

d'opérateurs a été établie pour chaque séquence de dessin. La comparaison des différentes occurrences ainsi obtenues nous a notamment permis de dresser des premières conclusions sur le rôle du dessin et la façon dont il soutient le raisonnement de conception.

1.1. Occurrence des opérateurs de conception sur les trois séquences de dessins

Le tableau ci-dessous présente la succession des opérateurs de conception correspondant à chacune des trois séquences de dessins. Dans la colonne correspondante, le double slash // correspond à un changement de dessin. Le tableau présente également, pour chaque séquence, l'occurrence de chaque opérateur en relation avec l'espace D (K->D, C->D, D->K, D->C).

Séquence	Succession des opérateurs	Occurrence	
1	K->D; D->K; K->C // K->D et D->K; D->K; D->C // K->D // K->D // K->D; D->K*; K*->C // K->K; C->D et D->K*	K->D	5
		C->D	1
		D->K	5 (2 D->K*)
		D->C	1
2	K->D; K->D; K->C // K->K; K->D; D->K; D->K*; K*->C // K*->D; D->K*; K*->K; K*->C //K->D // K*->D // K->D // K->D // K->D; D->K*// K->D; D->K // K->D; D->K*; K*->C // K*->D //K->D // K->D // K->D // K->D; D->K; K->C // K*->D; D->K; K->C // K->D; D->K*; K*->C // K*->D; D->K; D->K; K->C// K*->D; D->K* et K*->D; D->K	K->D	21
		C->D	0
		D->K	13 (6 D->K*)
		D->C	0
3	K->C; K->C; K->D; D->K; K->C et D->C; D->K // K->D et D->K; D->K; D->K // K->D et D->K; K->D et D->K; K->C; K->D; K->C // D->K, puis K-D et K->C; D->K // C->K* et K*->D // K->D; K->D et D->C; D->C; K*->D et K*->C; K->K; K->K; K->C et C->D; D->K*; K->D; D->C; D->K*; D->K; K->C // C->D // C->D et D->K; D->K*; K->C // K->D; K->D // K->D // K->D; K->C // K->D; C->D // C->D et D->K; // K->D // K->D // K->D; K->K; D->K*; K*->C // C->D; K*->C et C->D // C->D; D->K* et K*->D // K->D; D->K; D->K; D->K et K->K	K->D	22
		C->D	8
		D->K	19 (5 D->K*)
		D->C	4

Tableau 2. Succession et occurrence des opérateurs de conception

1.2. Des croquis dépassant la simple représentation de concepts

Le dessin est souvent considéré comme un moyen pour le concepteur de visualiser une idée ou une information qu'il avait en tête. Dans un vocabulaire conceptif, cela revient à dire que le dessin incarne des concepts existants ou des connaissances acquises. Selon cette hypothèse, une majorité d'opérateurs de conception de type C->D et K->D devraient être observés. Cela correspondrait à une situation où les dessins auraient un pouvoir génératif relativement faible, puisqu'il n'apporterait que peu d'information (C ou K) à l'architecte. Cependant, pour les trois séquences de dessin, il a été observé, non seulement des opérateurs de type C->D et K->D, mais également un nombre conséquent d'opérations D->C et D->K. La figure suivante montre la distribution des différents opérateurs. On peut voir que les dessins font référence à la fois à des concepts et à des connaissances. Cela est cohérent avec la littérature affirmant que la contribution des dessins au processus de conception ne se limite pas la représentation des idées existantes (Schön, 1983; Suwa et al., 2001; Van der Lugt, 2002, 2005).

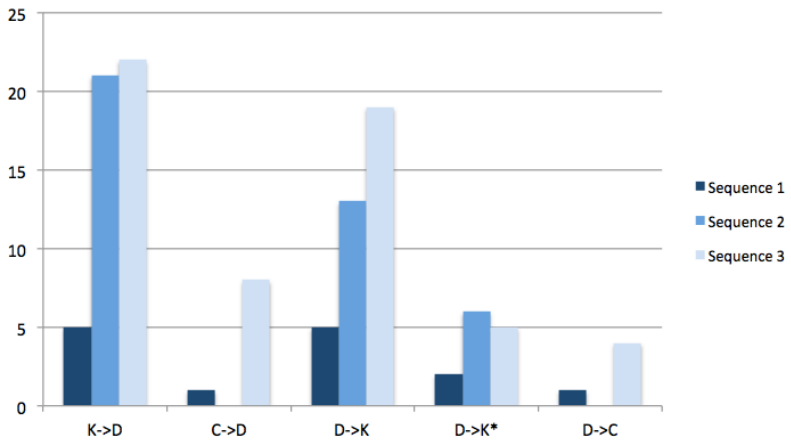


Figure 32. Occurrence des opérateurs de conception

L'architecte insère un grand nombre d'informations dans ces dessins : et il ne s'agit pas uniquement de concepts, il incorpore également de nombreux éléments de connaissances. D'une part, les opérations K->D correspondent à l'utilisation de connaissance pour produire un dessin : par exemple, dans la séquence 1, l'architecte teste une structure en forme de H, structure qu'il lui est familière, afin de voir si elle pourrait convenir au problème (voir Tableau 1, Chapitre III). D'autre part, les opérations C->D se réfèrent à une intention de visualiser et raffiner les concepts. Par exemple, dans la séquence 1, l'architecte génère le concept d'un système de clip (K*) permettant de fixer des panneaux entre eux (K*->C), puis le teste à travers un dessin (C->D) : le dessin satisfaisant l'architecte, le test est concluant et aboutit à une conjonction de type D->K* (voir Tableau 1, Chapitre III).

Cependant, l'architecte reçoit également un grand nombre de connaissances et de concepts via des opérations de type D->K et D->C. Même s'ils sont suscités par les dessins ces concepts (C) et ces connaissances (K) ne sont pas nécessairement nouveaux et originaux aux yeux du concepteur. Ils peuvent en effet être des connaissances et des concepts que l'architecte avait déjà en tête dès les premières réflexions sur le concept initial. Ainsi, de nombreuses opérations D->K correspondent à une évaluation réalisée par le concepteur examinant son dessin. De cette façon, de nombreux éléments K suggérés par le dessin appartenaient déjà à la base de connaissances mobilisée initialement par l'architecte, base notée **K0** (elle inclue notamment des connaissances sur la réglementation, les attentes esthétiques et personnelles de l'architecte). Néanmoins, de nombreuses opérations de type D->K(*) font référence à de la connaissance nouvelle pour lesquelles l'architecte lit dans ses dessins une connaissance qu'il n'avait pas mobilisée au regard du sujet initial (ces éléments de K se situent en dehors de **K0**). Cette nouvelle connaissance comporte aussi bien des éléments K liés au concept de départ que des éléments K* distants du sujet initial. Par exemple, dans la séquence 3, cherchant une forme de façade innovante pour la façade

d'un commissariat, l'architecte voit dans son dessin des cellules végétales (K*) (voir figure ci-après).

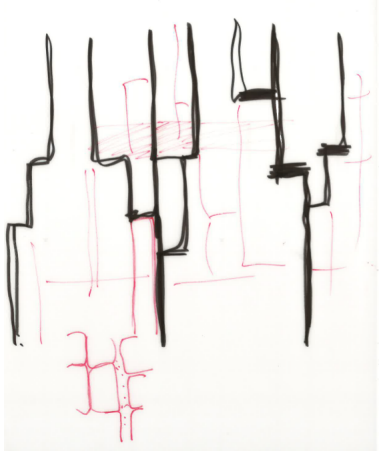


Figure 33. Ensemble de brise-soleils dessiné pour la façade d'un commissariat à Paris (vue de face, séquence 3). Les lignes noires représentent la structure principale du système de brise-soleils. Les traits plus légers (en rouge) sont des lignes rajoutées par l'architecte pour produire ce qu'il appelle des "cellules végétales"

Par ailleurs, certaines de ces opérations de type D->K(*) conduisent à la génération d'un concept via une succession D->K->C (D->K, puis K->C). Une illustration de ce type de succession se trouve également dans le dessin de la figure présentée ci-dessus. L'architecte y lit en effet une connaissance (via une opération D->K) : une « rupture de charge » (K) est identifiée dans le dernier ensemble de lignes (représentant des poteaux), ce qui est en principe à éviter pour la stabilité du bâtiment. Il choisit cependant d'exploiter cette connaissance à travers un concept (K->C) et d'explorer l'idée d'une « façade avec rupture de charge » (C) dans les dessins suivants. Mais les successions D->K->C ne sont pas les seules génératrices de concepts : un grand nombre de concepts sont également directement lus par le concepteur dans les dessins via des opérations de type D->C. Par exemple, examinant les lignes rouges de la figure ci-dessus, l'architecte réalise que l'on pourrait créer un second système de brise-soleil pour la façade(C), qui pourrait être moins visible que le premier système sur lequel il travaillait jusqu'à présent (les

lignes représentées en noir sur la figure) : ce second système pourrait ainsi former des sortes de « cellules végétales » (C) combinées au premier système. Cependant, l'architecte n'était alors pas capable d'imaginer ce que ces deux systèmes pourraient être en pratique (cette idée restait de l'ordre du concept).

1.3. Une présence importante des connaissances dans le raisonnement de conception

Ainsi, le non-verbal permet au concepteur de lire de nouvelles informations originales, qu'il pourra ensuite exploiter dans son raisonnement de conception. Puisque les premiers stades de la conception architecturale sont souvent associés à des croquis imprécis et des idées floues, on pourrait s'attendre à ce que les dessins de nos séquences se réfèrent davantage à des concepts qu'à des connaissances. Cependant, le grand nombre d'opérations K->D et D->K (voir Tableau 2, section 1.1, et Figure 32, section 1.2) montre de façon surprenante que l'architecte manipule davantage des connaissances que des concepts. De plus, un nombre important d'éléments de K se révèlent être des connaissances K* apparaissant distantes du sujet initial (voir Figure 32, section 1.2). Dans la séquence de la bibliothèque, c'est par exemple le cas de la connaissance portant sur les motifs chinois et les câbles : ces deux éléments K* n'apparaissent pas directement corrélés à un concept de bibliothèque. De la même façon, la référence aux cellules végétales introduite dans la séquence 3 semble éloignée du contexte des façades de bâtiments. Le nombre de ces opérations D->K* est significatif en comparaison du nombre total d'opérations D->K (voir Tableau 2, section 1.1, et Figure 32, section 1.2). Ainsi le non-verbal possède-t-il la capacité d'aider le concepteur à mobiliser de la connaissance qu'il n'aurait pas mobilisée de façon spontanée. En d'autres termes, les dessins permettent de mobiliser des connaissances qui

ne semblent pas directement liées au C0 de départ et qui apparaissent même parfois décorrélées de toute l'exploration menée jusqu'à présent.

Puisqu'il travaille majoritairement dans l'espace des connaissances, l'architecte semble suivre une stratégie orientée K. En effet, dans les trois séquences, les concepts générés par l'architecte ne résultent pas d'un raffinement du concept initial : il n'y a que très peu d'opérations C->C et il est souvent difficile d'établir un lien logique entre les différents concepts générés par l'architecte (ce lien logique étant pourtant le vecteur de l'exploration en C). Ainsi les dessins ne sont-ils pas le résultat d'une exploration de l'espace des concepts mais plutôt le produit d'un travail en K. Par exemple, dans la séquence de la bibliothèque, l'architecte parvient finalement à la solution entourée dans le dessin n°7 de la figure ci-après.

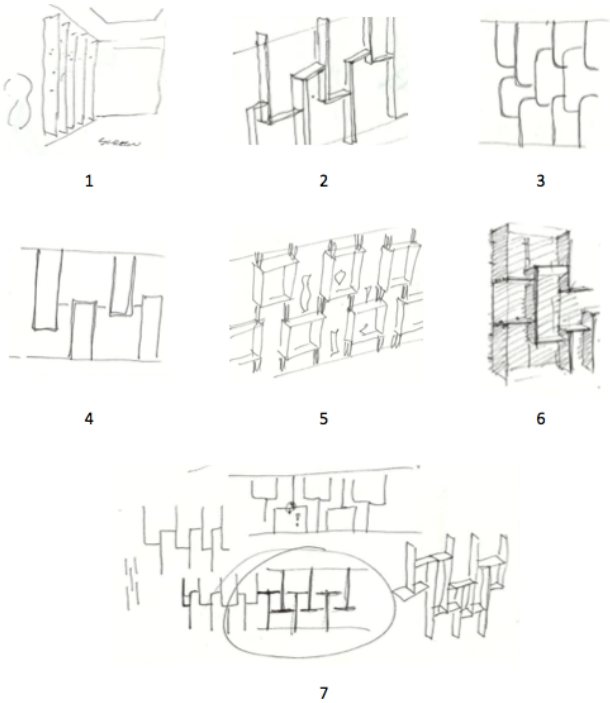


Figure 34. Extraits de la séquence 2 portant sur la bibliothèque (présentés dans l'ordre de réalisation). La solution finale est présentée en bas dans le dessin 7 et consiste en une bibliothèque composée de motifs en forme de « T » connectés entre eux par deux points de jonction. Aucun des dessins précédents ne présentent le motif en « T » ou encore l'idée de créer deux points de jonction entre les motifs.

Cette solution est une bibliothèque qui consiste en plusieurs motifs de la forme d'un « T » connectés entre eux par deux points de jonctions. Ni les motifs en « T », ni l'idée d'une connexion des motifs par deux points de jonction ne se retrouvent dans les dessins précédents. Cette solution semble venir de nulle part. Si le concept final ne résulte pas d'une exploration de l'espace C et d'une expansion classique par partition, la générativité de cette exploration doit tenir du travail effectué en K. La façon dont l'architecte explore l'espace des connaissances devait ainsi être analysée de façon plus approfondie.

2. Une base de connaissance construite de façon stratégique : un travail minutieux de composition de la base K

Afin de comprendre les effets génératifs impliqués dans l'exploration menée par l'architecte, il est nécessaire d'analyser les opérations de conception impliquant l'espace K. Une analyse fine de la façon dont l'architecte manipule les connaissances, et choisit (ou non) de les utiliser pour générer les concepts doit permettre de mieux comprendre la source de la générativité observée dans le cas de ces dessins.

2.1. Première intuition sur la générativité des dessins

Si les effets génératifs obtenus reposent sur l'espace K, la théorie prédit qu'ils peuvent découler de deux stratégies de conception distinctes. D'une part, une nouvelle connaissance peut être utilisée pour générer directement un nouveau concept via une opération K->C (c'est ce qui se produit dans la séquence 3 lorsque l'architecte voit une rupture de charge (K) dans son dessine et en génère le concept d'une « façade avec rupture de

charge » (C)). D'autre part, une nouvelle connaissance peut mener à une **réorganisation de l'espace K** : elle n'affecte pas en premier lieu l'espace C mais l'espace K lui-même. Grâce à une restructuration de l'espace des connaissances, de nouvelles règles apparaissent en K et permettront d'ouvrir de nouvelles voies d'innovation en C. Dans la pratique, une fois l'espace des connaissances réorganisé, le concepteur n'a pas besoin de générer plusieurs concepts alternatifs dans l'espace C : il lui suffit de générer un seul concept original, au sein d'une nouvelle voie ouverte par cette restructuration générative de K. Par exemple, une façon générative de réorganiser l'espace K consiste en la construction d'une **base de connaissances splitting** via l'élimination des relations modulaires et déterministes existant au sein de K (voir Chapitre I, section 2.2, et Chapitre IV, section 2.2).

Etant donné que la succession des opérateurs du Tableau 2 ne montre qu'un petit nombre d'opérateurs K->C (2 parmi 15 opérateurs pour la séquence 1, 6 parmi 44 pour la séquence 2, et 12 parmi 61 pour la séquence 3), il peut être supposé que la générativité vient plutôt du second processus : la réorganisation de l'espace des connaissances. La confirmation de cette hypothèse requière une analyse précise de la façon dont l'architecte utilise la connaissance qu'il manipule afin d'atteindre des effets génératifs, et si possible, l'identification de la construction d'une structure de connaissance splitting.

2.2. Une sélection minutieuse des connaissances par l'architecte

Dans notre étude, on constate en effet que l'architecte organise sa base de connaissance de façon stratégique : chaque élément de K est soigneusement sélectionné, testé et, si nécessaire, éliminé de la base K. Par exemple, dans la séquence 2, l'architecte désire trouver une forme de

bibliothèque permettant à la fois d'y intégrer des carreaux de verre et de refléter l'identité de l'agence. La figure ci-après présente des dessins de cette séquence ainsi que l'effet des connaissances qu'ils apportent sur l'espace K. Afin de faciliter la compréhension, K0 a été distinguée au sein de l'espace K et certaines bases de connaissances ont été simplifiées. La représentation de l'espace des connaissances ne vise pas à être exhaustive : seules les bases de connaissance impliquées dans le raisonnement décrit ci-après ont été représentées.

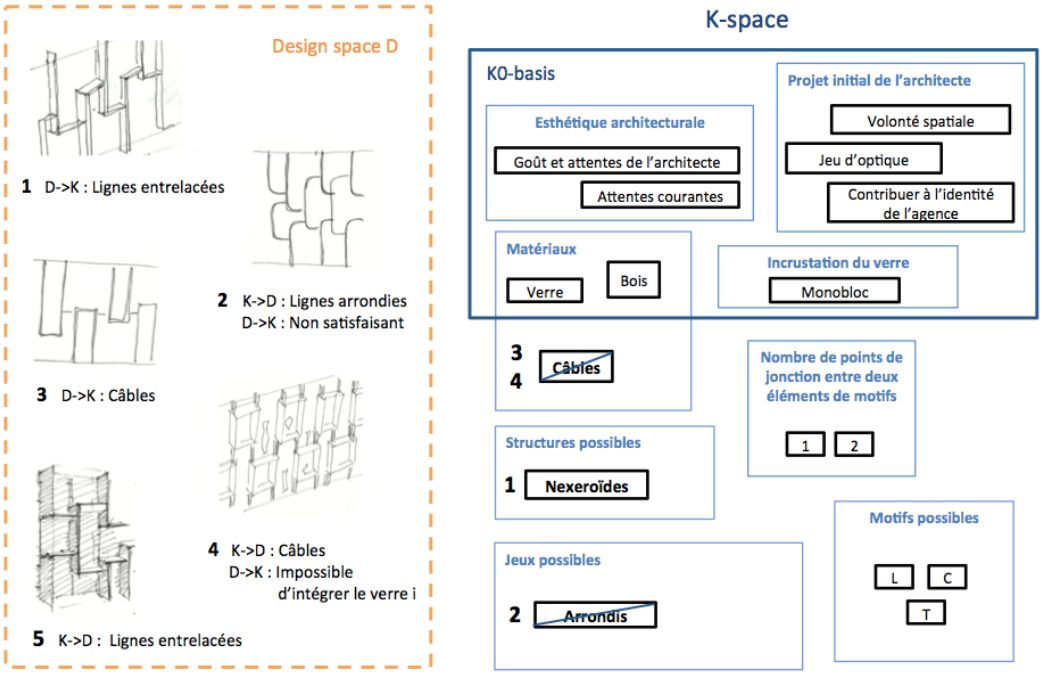


Figure 35. Effets du dessin sur l'organisation de l'espace K. À gauche : Dessins de la séquence de la bibliothèque. À droite : Effets de ces dessins sur l'espace K de l'architecte.

Dans la séquence de dessins présentée ci-dessus, l'architecte identifie à plusieurs reprises des connaissances originales et choisit de les tester. Par exemple, dans le premier dessin, le concepteur voit un motif lui évoquant un motif chinois qui se révèle être stable car il fait intervenir des lignes entrecroisées. L'architecte choisit alors de travailler avec ce motif que l'on

retrouve tout au long de la séquence (dessins 2 et 5) et conserve ainsi cette connaissance dans sa base K. Dans le deuxième dessin, il teste des alternatives de motifs entrelacés en introduisant des angles arrondis. Cependant, l'esthétique du résultat ne lui plait pas et il réalise que ce dernier rend impossible techniquement l'intégration des carreaux de verre. Il supprime ainsi la connaissance portant sur les angles arrondis de sa base K. L'architecte produit ensuite d'autres dessins, et observant le dessin 3, y voit une forme linéaire qui lui évoque des câbles métalliques. Il considère alors l'utilisation de câbles : une fois encore, il teste cette nouvelle connaissance que l'on retrouve dans le dessin 4. Cependant, examinant ce dessin, le concepteur réalise que les câbles empêchent d'intégrer du verre sur la totalité de la surface de la bibliothèque. Il abandonne alors cet élément de connaissance et le supprime de sa base K.

Conclusion de la partie III – Une anomalie qui appelle à de nouveaux modèles couplant structures de connaissance et générativité

La connaissance mobilisée par le concepteur est ainsi soigneusement organisée au cours de l'exploration. Une telle organisation sera appelée **pré-structuration de la connaissance ou encore « knowledge preordering » (K-preordering)**. Cette pré-structuration permet de transformer un ou plusieurs paradigmes appartenant à la base de connaissance initiale du concepteur, ouvrant ainsi la voie vers de nouveaux espaces de création. L'effet génératif des dessins étudiés serait donc soutenu par l'impact de nouveaux éléments sur la structure même de l'espace des connaissances et non sur la structure des concepts. On s'éloignerait alors d'une dynamique classique de conception où l'aspect génératif provient en général de la structuration de l'espace des concepts. Il reste cependant à déterminer dans quelle mesure cette nouvelle connaissance apportée par les dessins affecte la structure des connaissances de façon générative.

Pour se faire, il est avant tout nécessaire d'être capable de modéliser ce phénomène de restructuration des connaissances ainsi que son impact sur l'espace des concepts. Un tel modèle devra aussi pouvoir rendre compte de la puissance générative des différentes formes de restructuration possibles. À travers la proposition d'un modèle, il sera plus aisé de comprendre la puissance générative du travail mené par l'architecte sur sa base de connaissances.

« Si, à l'expérience, certains matériaux sont singuliers de nature, parfois difficiles dans leurs utilisations, il n'y a pas de mauvaises ou de bonnes odeurs […]. Une matière sans beauté, sans qualité apparente […] peut participer à la beauté d'un parfum. Et, bien que réduite, la collection des matériaux est suffisante pour développer et entretenir un esprit de curiosité, en recherche permanente d'utilisations possibles, du nouveau dans le vieux et de l'imprévu dans l'habituel. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie IV – Élaboration d'un modèle permettant de rendre compte des effets génératifs de la restructuration des connaissances en conception..177

Chapitre VII – Modélisation de la structuration des connaissances pour la conception.....179

1. Première approche théorique du modèle : adaptation au modèle canonique de la conception 179

   1.1. Le modèle canonique de la conception..... 180
   1.2. Proposition d'une extension du modèle prenant en compte la structure de K 182

2. Apports théoriques pour la conception : des schémas divergents entre conception réglée et conception innovante..... 183

   2.1. La structuration des connaissances en conception réglée : viser des structures déterministes et modulaires..... 183
   2.2. La structuration des connaissances en conception innovante : une restructuration parfois subie, parfois provoquée 184
   2.3. Vers des modèles d'action : du rapport entre K-preordering et K-reordering 187

3. Connaissance splitting vs. Base de connaissance splitting : introduction à la notion de compatibilité des connaissances 190

   3.1. Des connaissances compatibles ou incompatibles au sein de l'espace K..... 190
   3.2. Du sens du mot « splitting » : splitté ou splittant ? 193

4. Synthèse du modèle proposé..... 194

Chapitre VIII – Application du modèle au cas du dessin d'architecte : K-preordering génératif et bases de connaissances splitting 197

1. Impact des nouvelles connaissances apportées par le dessin..... 197

   1.1. Une stratégie de construction de l'espace K via une double dynamique : suppression et maintien de connaissances..... 198
   1.2. La suppression de connaissances entrainant du déterminisme et/ou de la modularité..... 200

2. Construction d'une base de connaissances splitting favorisant la générativité 201

2.1. Introduire des connaissances favorisant une structure splitting 202
2.2. Des origines de la générativité du dessin d'architecte..... 204

Conclusion de la partie IV – Conséquences théoriques et managériales de la construction d'un modèle permettant de rendre compte du K-preordering.....207

Partie IV – Élaboration d'un modèle permettant de rendre compte des effets génératifs de la restructuration des connaissances en conception

La Partie III ayant révélé une anomalie par rapport au processus de conception classique centré sur la génération de concepts, nous nous proposons dans cette partie de modéliser ce phénomène. La remise en ordre des connaissances - ou K-reordering - qui s'opère en conséquence de la génération de concepts a déjà été formalisée par la littérature. En revanche, la restructuration des connaissances à visée générative est un phénomène qui a été très peu décrit. Nous avons vu une occurrence de cette restructuration générative avec l'enseignement d'Itten et Klee au Bauhaus et nous avons constaté qu'il était possible d'en proposer une modélisation formelle dans un cas particulier : la génération de nouveaux objets mathématiques avec le Forcing de Cohen (Partie I).

Dans cette partie, nous proposons un modèle décrivant les opérations de restructuration générative des connaissances (Chapitre VII). Nous proposons en particulier une extension du modèle canonique de la conception qui permet de prendre en compte la structure de l'espace K. Un nouveau vocabulaire sera également proposé afin de désigner les connaissances favorisant ce travail de restructuration de K. Cette modélisation permettra de formuler quelques hypothèses relatives à la mise en place de modèles d'actions. Ces hypothèses seront testées au cours d'expériences empiriques présentées dans les parties suivantes. À l'aide de

cette modélisation, nous proposerons par ailleurs une analyse de l'anomalie révélée grâce à l'étude de l'usage du non-verbal par l'architecte (Chapitre VIII). Nous verrons que la générativité de la stratégie employée par l'architecte trouve une origine possible dans la théorie du Forcing de Cohen. Une telle analyse permettra en outre de donner un certain nombre d'éléments de réponse quant au pouvoir génératif des langages non-verbaux.

Chapitre VII – Modélisation de la structuration des connaissances pour la conception

Afin de mieux comprendre les effets génératifs observés chez l'architecte, il apparaît nécessaire de pouvoir formuler un modèle expliquant ce phénomène et permettant de mieux en saisir les mécanismes. Une telle modélisation devra notamment permettre d'intégrer l'opération de structuration des connaissances à l'ensemble des opérations de conception possibles et d'en expliquer la générativité. Pour formuler ce modèle, nous nous appuierons sur les modèles existants en conception innovante, et en particulier sur le modèle canonique de la conception (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014). Nous verrons ensuite comment notre modèle permet de mieux décrire la nature des opérations de restructuration des connaissances, tant en conception réglée qu'en conception innovante. Dans les parties suivantes, nous affinerons notre modélisation pour comprendre comment la restructuration générative des connaissances s'opère dans des contextes variés, autre que celui de l'architecte. Si le K-preordering a été observé dans un contexte de conception individuelle et non-verbale, nous verrons comment il se produit et se pilote dans des contextes de conception collective, avec ou sans non-verbal, à l'échelle de l'équipe ou encore à l'échelle de l'organisation.

1. Première approche théorique du modèle : adaptation au modèle canonique de la conception

Nous avons vu que le modèle canonique de la conception permet de distinguer les opérations de décisions des opérations de conception. Par

ailleurs, ce modèle permet de définir de façon formelle la conception d'un nouvel objet x. Il prend notamment en compte la définition des propriétés de l'objet et l'acquisition de nouvelles connaissances. Afin de pouvoir décrire la restructuration générative des connaissances à l'aide d'un modèle, une première approche consiste à étendre le modèle canonique de la conception en y intégrant la structure des connaissances.

1.1. Le modèle canonique de la conception

Le modèle canonique de la conception (Le Masson, Weil & Hatchuel, 2014) considère qu'un espace de conception est composé de quatre dimensions : X, K, D, P (Objets, Connaissance, Décisions, Propriétés). On parle aussi de quatre ensembles ou encore de quatre espaces. Une version simplifiée de ce modèle a déjà été présentée au chapitre I de la partie I : nous invitons le lecteur à la (re)lire avant de découvrir la définition détaillée ci-dessous. De façon formelle, on définit les quatre espaces X, K, D, P de la façon suivante :

- **X** : espace des objets, soit une collection d'ensembles {x}, incluant les relations R (règles, liens,…) entre ces objets ;
- **K(X)** : espace des connaissances i.e. ensemble des propositions **connues ou vraies** de (X, R). De façon plus précise, une connaissance est une proposition possédant un statut logique (on peut dire si elle est vraie ou fausse, si l'objet qu'elle désigne existe ou n'existe pas) ;
- **D(X)** : espace des décisions sur X. Une « décision » est une connaissance paramétrable. Il s'agit d'une proposition de K(X) à paramètres libres, qu'il est possible de rendre soit vraie soit fausse en fonction de certains paramètres ;

- **P(X)** : espace des propriétés portant sur les objets de X. Les propriétés de l'objet permettent de définir les fonctions, les principes techniques ou encore le design détaillé de l'objet (couleur, matériaux, etc.).

Concevoir un objet consiste ainsi à prendre un certain nombre de décisions à propos de cet objet de façon à trouver un élément x de X possédant les propriétés désirables P1, P2,…,Pn(x). Dans le langage formel, la conception d'un objet x revient à donner une réponse à la question :

> « Trouver {d1, d2,…,dk}, non vide, fini, ∈ D(X) tel que :
> {d1, d2,..dk} => (∃ x ∈ X tel que P1(x)…Pn(x) vraies dans K(X)) »

Les {Pi} = P(X) désirables forment un « concept de x », i.e. une intension qui guide la conception. Les {Di} sont une **« définition constructive »** de x : prendre des décisions sur la façon de concevoir x consiste à étendre la définition de x et à « forcer » (au sens du Forcing) son existence dans K(X).

Le modèle canonique de la conception permet en outre de distinguer une situation de conception d'une situation de prise de décision : il y a conception lorsque les décisions à prendre font appel à de la connaissance nouvelle : ce qui équivaut en langage formel à une situation où D ⊄ K(X) (voir figure ci-après). Ainsi, l'acquisition de connaissances nouvelles est au cœur même de ce qui fait conception. On comprend aisément que ce caractère de nouveauté soit d'autant plus important que l'on travaille en situation de conception innovante où il s'agit de créer de nouvelles identités d'objets. La question de savoir comment identifier les connaissances nouvelles qui seront pertinentes pour cet exercice de pilotage dans l'inconnu est évidemment cruciale.

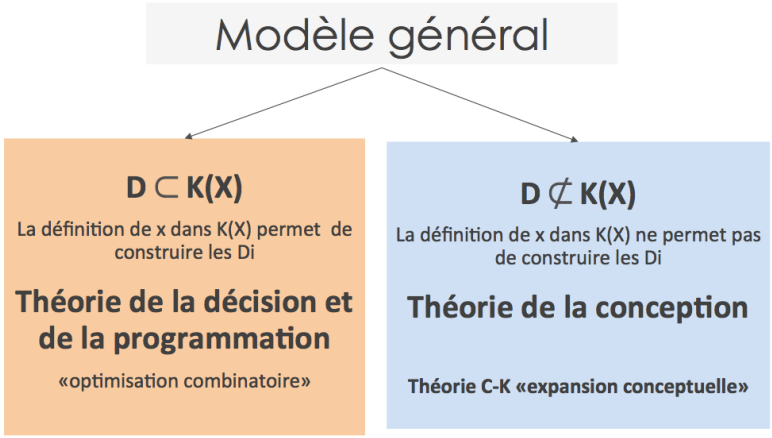


Figure 36. Le modèle général de la conception : il y a conception lorsque la prise de décision liée à la réalisation de l'objet nécessite d'acquérir de la connaissance nouvelle, soit, $D \not\subset K(X)$

1.2. Proposition d'une extension du modèle prenant en compte la structure de K

Avec la théorie C-K, nous avons vu que la structure de la connaissance K(X) est un paramètre libre de la conception. Afin de tenir compte de l'évolution de la structure des connaissances lors de la conception d'un nouvel objet, on se propose dans un premier temps d'étendre le modèle canonique de la conception en associant à K(X), sa structure notée **R(K)** (voir figure ci-après). R(K) désigne ainsi l'ensemble des relations (ou liens) existants entre les connaissances de K.

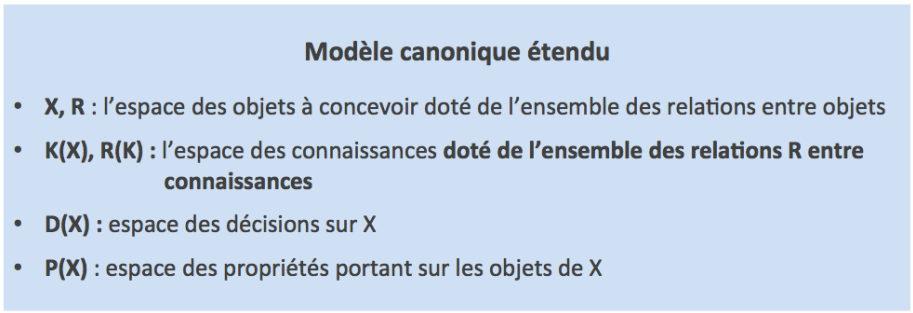


Figure 37. Modèle canonique étendu, prenant en compte la structure de l'espace des connaissances

En cours de conception, une **restructuration des connaissances** se traduit ainsi par une variation non nulle de l'ensemble R(K). Cela signifie que la structure de la base de connaissance initiale K0 a été modifiée, soit :

$$\Delta R(K0) \neq 0$$

Dans la suite, on se propose de regarder les apports théoriques de cette extension du modèle canonique : que permet-elle de formaliser sur la restructuration des connaissances en conception réglée (CR) et en conception innovante (CI) ? Quelles sont les différences majeures entre les opérations de restructuration menées en CR et en CI ? Par ailleurs, il sera utile de tenter de formaliser les moyens favorisant la restructuration des connaissances - et en particulier le K-preordering - afin d'en tirer des hypothèses sur les modèles d'action à mettre en place.

2. Apports théoriques pour la conception : des schémas divergents entre conception réglée et conception innovante

2.1. La structuration des connaissances en conception réglée : viser des structures déterministes et modulaires

En conception réglée, nous avons vu dans la partie I que des systèmes de règles permettent d'optimiser le processus de développement en favorisant les connaissances déterministes et modulaires. Dans la théorie axiomatique de Suh (1990, 2001), la structuration rigoureuse des connaissances permet d'évaluer la performance d'un produit grâce à l'identification des rapports entre fonctions (FR) et paramètres de conception (DP). Le processus de conception le plus performant sera obtenu

pour un objet dont les FR et DP sont parfaitement découplés (matrice FR/DP diagonale). Appliquer la théorie axiomatique de Suh - en cherchant à diagonaliser la matrice FR/DP d'un produit - revient donc à **restructurer** les connaissances en modifiant un certain nombre de liens entre FR et DP. De façon générale, les principes de conception réglée encouragent à réaliser une restructuration de la base de connaissances initiale K0, soit :

$$\Delta R(K0) \neq 0 \quad \text{provoqué}$$

Par ailleurs, la conception réglée privilégiant les rapports modulaires et déterministes entre connaissances, l'objectif à atteindre à l'issue de la restructuration consiste en l'obtention d'une structure finale $R(K_f)$ non splitting, parfaitement déterministe et modulaire :

$$R(K_f) = \text{déterministe et modulaire (donc non-splitting)}$$

Si la restructuration des connaissances visant des structures parfaitement modulaires et déterministes est l'objectif assumé de la conception réglée, les modes de restructuration des connaissances en conception innovante, ainsi que leur(s) objectif(s) sont bien moins évidents.

2.2. La structuration des connaissances en conception innovante : une restructuration parfois subie, parfois provoquée

Nous avons vu deux situations de réorganisation des connaissances en conception innovante : la première correspond à l'opération de K-reordering nécessaire à l'intégration d'un nouvel objet dans l'espace des connaissances. Il s'agit de réaliser une remise en ordre de l'espace K afin de créer une nouvelle définition qui puisse comprendre à la fois les anciens objets et le nouvel objet créé (voir figure ci-dessous).

Figure 38. K-reordering induit par la conception de la Chairless de Vitra : une nécessaire réorganisation de l'espace des connaissances

Cette opération de K-reordering équivaut à $\Delta R(K0) \neq 0$. Cette restructuration de K est une opération nécessaire. Elle n'est pas recherchée par le concepteur, elle est induite : c'est une conséquence de la conception. Par ailleurs, puisque que ce delta $\Delta R(K0) \neq 0$ est réalisé au moment de l'émergence du nouvel objet, i.e. d'une conjonction Cn = Kn (le concept final Cn émerge et il prend une existence dans l'espace K, d'où Cn = Kn), on peut préciser l'instant de la réorganisation dans la notation, à savoir :

$$\Delta_{Cn}\, R(K0) \neq 0 \Leftrightarrow \Delta_{Kn}\, R(K0) \neq 0 \quad \textbf{induite}$$

Suite à une opération de K-reordering, la structure de K change mais elle peut-être de tout type : l'objectif de la restructuration est que l'objet de la conception devienne compatible avec l'espace K. La structure finale n'est donc ni nécessairement modulaire et déterministe, ni nécessairement splitting. Ainsi :

$$R(Kf) = \begin{cases} \textbf{non nécessairement splitting} \\ \textbf{non nécessairement modulaire et déterministe} \end{cases}$$

Dans le cas de l'architecte en revanche, nous avons vu dans la partie III que la structuration des connaissances est provoquée par le concepteur et non subie. L'architecte construit en effet sa base de connaissance dans un but génératif : afin d'ouvrir de nouvelles voies conceptuelles, il structure ses connaissances avec soin. La restructuration des connaissances constitue ici un **travail de conception dédié** : il ne s'agit pas d'une conséquence de la conception comme c'est le cas du K-reordering mais d'un pré-arrangement des connaissances dans un but génératif. Dans la suite, nous appellerons une telle opération « **K-preordering »**. Par ailleurs, on sait d'après la théorie du forcing qu'une telle restructuration des connaissances pour la conception garantie la générativité si et seulement si elle élimine toutes les relations modulaires et déterministes au sein de la base K. Cela revient à structurer une base de connaissances splitting :

$$\Delta R(K0) \neq 0 \text{ provoqué}$$

$$R(Kf) = \text{splitting}$$

Afin de mieux comprendre les effets génératifs du non-verbal dans le cas de l'architecte, il restera dans la suite à savoir si le processus de construction de l'espace K mené par l'architecte consiste effectivement à éliminer les relations modulaires et déterministes entre connaissances : ce sera l'objet du Chapitre VIII. Afin de résumer les résultats présentés jusqu'ici, la figure ci-après récapitule les modalités de la restructuration de la base K en conception réglée et en conception innovante.

	CR	CI	
Type de restructuration	Découplage des connaissances	K-reordering	K-preordering
ΔR(K0)	$\Delta R(K0) \neq 0$	$\Delta_{Cn} R(K0) \neq 0$	$\Delta R(K0) \neq 0$
Dynamique de la restructuration	Provoquée	Induite (ou subie)	Provoquée
Nature de R(Kf)	R(Kf) = déterministe et modulaire (et donc non-splitting)	R(Kf) = soit splitting soit non-splitting	R(Kf) = non déterministe et non modulaire (donc splitting)

Figure 39. Formalisation de la restructuration des connaissances en CR et en CI

Nous avons vu que les opérations de K-reordering et de K-preordering consistent toutes deux en une restructuration de l'espace des connaissances : la première étant une conséquence de la génération de concepts, la deuxième visant à favoriser l'émergence de concepts en rupture. Dans les deux cas, elles peuvent aboutir à un changement des règles régissant la base K initialement mobilisée pour la conception. On peut ainsi se demander comment s'articulent dans la pratique ces deux types de restructurations de la connaissance. Cette question sera traitée dans la section suivante et permettra d'introduire quelques pistes sur les modèles d'action pouvant être mis en place pour réaliser ce K-preordering en pratique.

2.3. Vers des modèles d'action : du rapport entre K-preordering et K-reordering

L'opération de K-preordering demande un effort de conception dédié. Cet effort de structuration de la base K permet de favoriser la génération des concepts. Concernant le K-preordering, la situation idéale correspondrait à une exploration dédiant la plus grande partie des efforts de conception à la

structuration de K (voir la dernière ligne du schéma ci-dessous) : les nouveaux concepts découleront naturellement de cette restructuration, sans effort particulier dédié à la structuration de l'arbre C. Par ailleurs, le K-preordering ayant déjà rediscuté une grande partie des règles de l'espace K, on peut intuiter que le K-reordering induit par les nouveaux concepts sera moins important que dans une exploration classique (voire la première ligne du schéma ci-dessous).

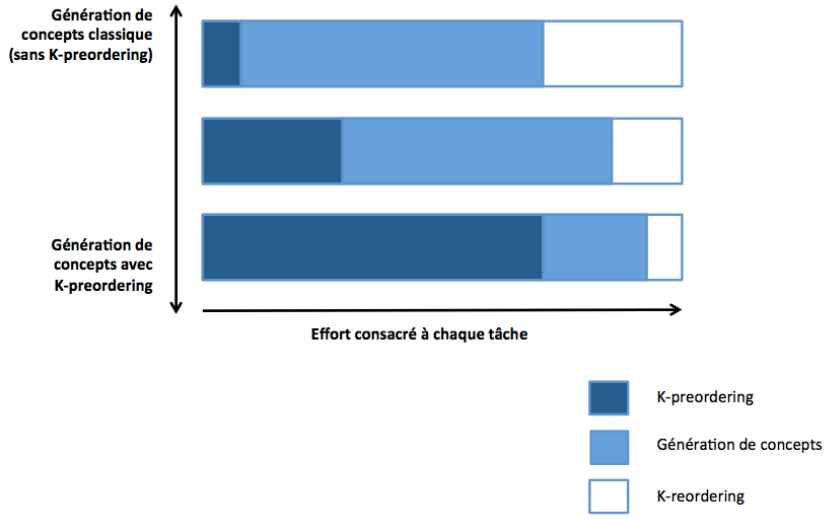


Figure 40. Efforts consacrés aux opérations de K-preordering, de génération de concepts et de K-reordering pour une situation de conception classique basée sur la structuration de C (barre du dessus) et pour une conception centrée sur la structuration de K (barre du dessous). Dans ce dernier cas, on intuite que l'effort à consacrer à la génération de concepts en rupture et à la remise en ordre des connaissances sera moins important que pour une exploration classique.

Dans la pratique, on s'attend à ce que le concepteur alterne des phases de K-preordering et de génération de concepts (voir figure ci-après). L'opération de K-reordering intervient à la fin de la phase de génération de concepts, ce afin d'aboutir à une définition rendant compatible les anciens objets et le nouvel objet créé. Dans la pratique, le concepteur pourra prendre ou non le temps de réaliser cette réflexion sur la compatibilité des définitions

d'objets. Même si elles peuvent se suivre, les opérations de K-preordering et de K-reordering restent deux opérations bien distinctes : le K-reordering est l'effort réalisé par le concepteur pour remettre de l'ordre dans sa base K suite à l'émergence de concepts qui l'auraient rediscutée. Le K-preordering en revanche est un effort dédié portant sur l'espace K : il a pour but d'identifier les relations modulaires et déterministes et de les rediscuter, indépendamment de l'espace C.

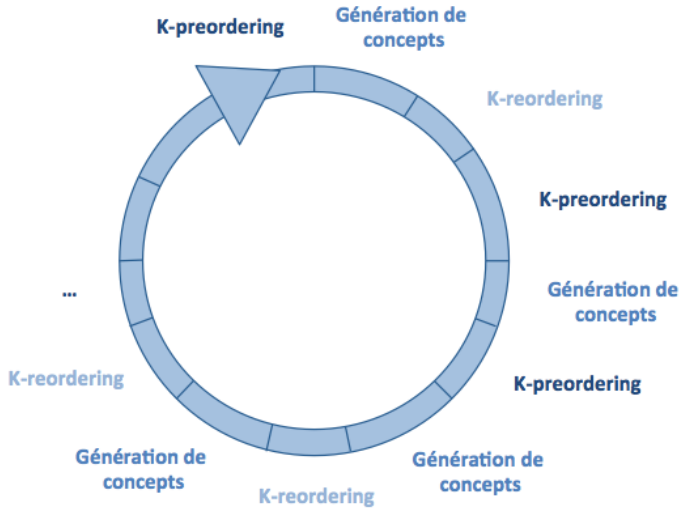


Figure 41. Cycle de conception intégrant le K-preordering, la génération de concepts et le K-reordering *(Dans la pratique, on s'attend à ce que les trois opérations puissent être mobilisées pour la conception, les phases de K-preordering et de K-reordering n'étant pas toujours réalisées systématiquement respectivement avant et après la génération de concepts.)*

Cette distinction faite, encore faut-il trouver des outils qui vont permettre de piloter le K-preordering. Nous avons vu que le non-verbal est souvent présenté comme un outil privilégié pour l'introduction d'informations - et notamment de connaissances - qui vont venir changer la vision du concepteur. Ce changement de point de vue peut correspondre à la remise en cause d'une règle, à un changement des liens entre connaissances, en d'autres termes, à une restructuration des connaissances. Certains éléments de connaissances auraient ainsi un pouvoir restructurant sur l'espace K. Dans la

section suivante, nous proposons de théoriser ce statut restructurant des connaissances au travers d'une introduction à la notion de compatibilité des connaissances.

3. Connaissance splitting vs. Base de connaissance splitting : introduction à la notion de compatibilité des connaissances

Dans la partie I, nous avons déjà eu recours à un vocabulaire précis pour parler du statut des propositions - et en particulier des connaissances – en conception. Une proposition doit tout d'abord être **interprétable** afin de pouvoir se voir attribuer le statut de concept ou de connaissance. Une connaissance est donc toujours interprétable puisqu'elle a pu obtenir un tel statut. Par ailleurs, on sait qu'une connaissance est nécessaire **décidable** : elle possède un statut logique, contrairement à un concept qui est une proposition indécidable. Ces statuts d' « interprétable » et de « décidable » sont par ailleurs toujours définis étant donnée une base de connaissance particulière : la base de connaissance K0 du concepteur. Afin de tenir compte de l'effet d'une nouvelle connaissance sur la structure de cette base K0, nous proposons ici d'introduire la notion de compatibilité des connaissances.

3.1. Des connaissances compatibles et incompatibles au sein de l'espace K

Pour donner un premier éclairage de cette notion - la définition formelle sera donnée par la suite -, nous considérons qu'une connaissance est **compatible** avec la base K si elle a un sens pour le concepteur au regard du thème exploré et de la base K mobilisée : elle paraît pertinente au regard de l'exploration et le concepteur comprend comment l'utiliser à bon escient (par

exemple pour générer un concept, ou encore le valider au sein de l'espace K). À l'inverse, une connaissance **incompatible** apparaît comme « hors sujet » aux yeux du concepteur : il doit faire un effort pour comprendre comment l'utiliser. De la même façon que le statut d'indécidable ou le statut d'interprétable, le statut compatible/incompatible est K-relatif : il dépend de la base de connaissance mobilisée par le concepteur.

Pour mieux illustrer cette notion, on peut prendre l'exemple d'un travail de conception portant sur la recharge du véhicule électrique (VE). Un tel exercice mobilise automatiquement des bases de connaissances sur le véhicule (VE ou non), sur la recharge (borne, parking, mode d'accès à la borne,…) et sur la production d'électricité (solaire, éolien,…) (nous renvoyons le lecteur à la structure de la base K dans la figure ci-après). Une connaissance portant sur des modes de recharges en rupture - comme par exemple un dancefloor piézoélectrique-, bien qu'originale, pourra être facilement mobilisée par le concepteur afin de générer des concepts (tels « une recharge de VE via un dancefloor piézoélectrique »). Une telle connaissance est compatible avec la structure de la base K mobilisée pour traiter le sujet initial (C0). À l'inverse, une connaissance portant sur les pianos mis à disposition du public dans les gares ne sera pas facilement mobilisée par le concepteur pour générer un concept de recharge de VE : dans un premier temps, le concept « une recharge de VE comme un piano en gare » ne parlera pas au concepteur. Nous verrons pourtant dans la partie V qu'une telle connaissance permet de restructurer la base K0 portant sur la recharge VE. Si la connaissance « piano en gare » ne découle pas d'une extension des principales bases de connaissances de K0 (véhicule, recharge ou production d'électricité) et constitue une connaissance incompatible, nous verrons que la rendre compatible est cependant possible : cela nécessitera un effort de conception dédié mais permettra d'ouvrir de nouvelles voies de conception.

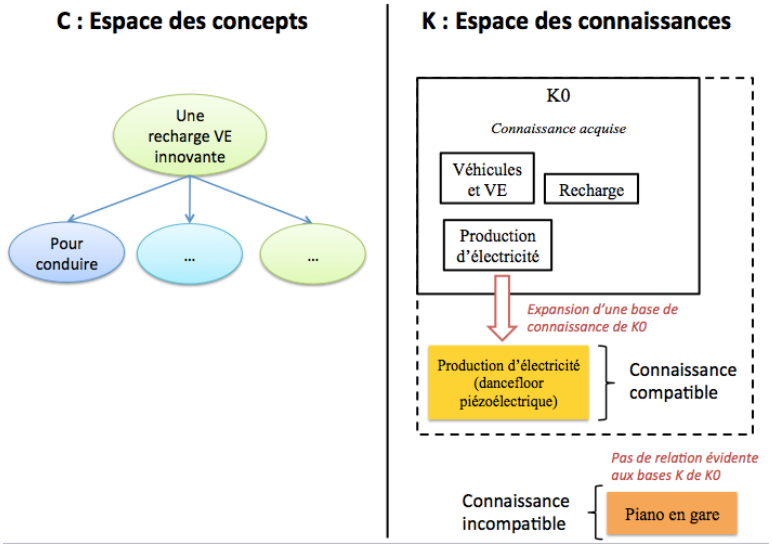


Figure 42. Illustration de la notion de compatibilité des connaissances : le cas de la recharge du véhicule électrique

De façon générale, si une connaissance est compatible avec l'espace K, elle ne changera pas la structure de ce dernier. En revanche, une connaissance incompatible avec la structure de K incitera nécessairement le concepteur à réorganiser sa base de connaissances de façon à la rendre compatible avec cette nouvelle connaissance : il peut y parvenir ou non mais il s'agit d'une condition nécessaire pour l'utilisation d'une connaissance incompatible en conception. Sans réorganisation de l'espace K, la connaissance incompatible le restera : elle ne pourra pas être mise en rapport avec le thème abordé et ne pourra donc pas être utilisée par le concepteur pour la génération de concepts. À l'inverse, une connaissance incompatible qui parvient à être intégrée par le concepteur à sa base K permet d'en changer la structure, ce changement de structure pouvant à son tour d'aboutir à de nouveaux concepts : on parlera de connaissance incompatible **restructurante**. Cette réorganisation de la base K suite à l'introduction d'une connaissance incompatible constitue en revanche un véritable effort et nécessite un travail de conception dédié. Toute connaissance est par définition interprétable et décidable, en revanche le

statut compatible/incompatible se définit au regard de la structure des connaissances mobilisées pour la conception : elle est **R(K)-relative**. À l'inverse, un concept, de par la structure de l'espace C, est nécessairement compatible avec C : si le concepteur génère un concept qui ne s'intègre pas dans la structure de l'arbre des concepts, il commence en fait un nouveau travail de conception en explorant un C0 différent.

Les connaissances incompatibles incitent ainsi à la restructuration de l'espace K. On peut imaginer que l'introduction volontaire de telles connaissances au sein de K soit un outil de choix pour la génération. Elle le sera d'autant plus que la réorganisation ainsi provoquée permettra d'aboutir à des structures splitting particulièrement génératives.

3.2. Du sens du mot « splitting » : splitté ou splittant ?

Si certaines connaissances incompatibles ont la capacité de restructurer la base K pour en faire une base splitting, ces connaissances se verront attribuer un statut particulier. En effet, une structure splitting est une structure de connaissance « splittée », sans modularité, ni déterminisme (voir figure ci-dessous). Une connaissance sera appelée « **splitting** » (au sens de « splittante ») si elle contribue à rendre la base K splitting, par exemple, en cassant une relation modulaire ou une relation déterministe de K.

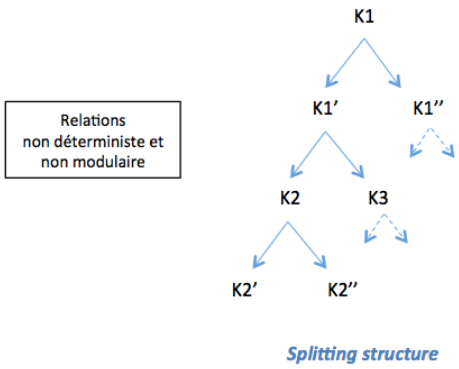


Figure 43. Structure de connaissances splitting i.e. « splittée »

L'arbre ci-après résume l'emploi des termes « interprétable », « décidable », « compatible », « restructurant » et « splitting » dans le cas des concepts et des connaissances :

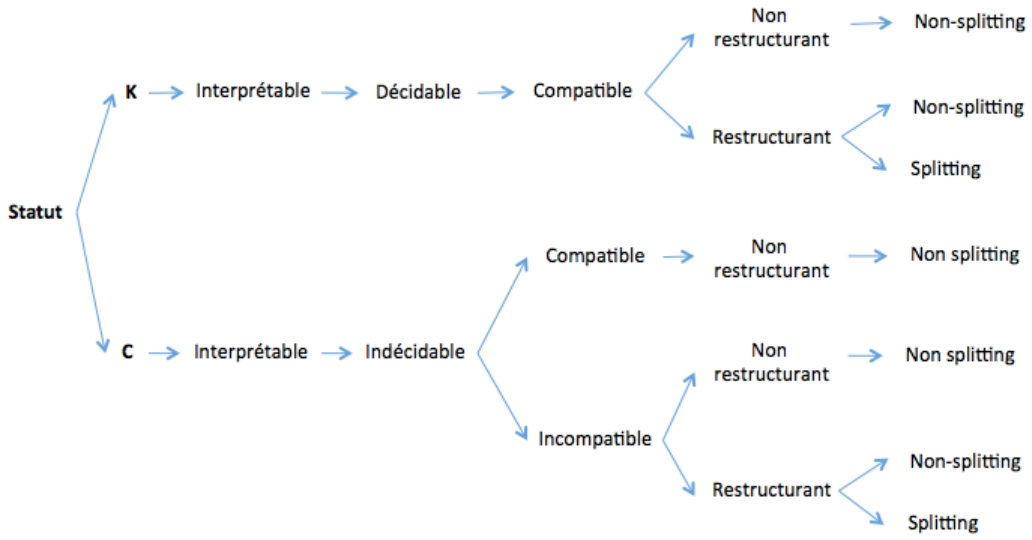


Figure 44. Résumé des notions introduites pour qualifier la nature des connaissances : interprétable, décidable, compatible, restructurant, splitting
(Le lecteur pourra aussi tenter de repérer les relations déterministes ou modulaires au sein de cet arbre)

4. Synthèse du modèle proposé

La modélisation proposée dans ce chapitre permet ainsi de distinguer trois modes de restructuration des connaissances en conception. Le premier concerne la conception réglée : il s'agit du découplage des connaissances (par exemple, le découplage FR/DP prôné en théorie axiomatique). Les deux autres modes concernent la conception innovante : il s'agit du K-reordeirng et du K-preordering. Le découplage des connaissances en conception réglée vise à introduire un maximum de déterminisme et de modularité dans la structure des connaissances afin d'optimiser la performance du processus de

développement produit. En conception innovante, le K-reordering est une conséquence de la génération de concepts innovants : il vise à rendre compatible le nouvel objet et les anciens objets en les regroupant sous une défintion commune. La base de connaissance obtenue après restructuration n'a pas de forme prévisible ou privilégiée : elle peut être spliting comme non splitting. Afin de réorganiser l'espace K, on favorisera, lors d'un K-reordering, des connaissances compatibles avec la structure de K : il ne s'agit pas de challenger à nouveau la structure de K mais de la stabiliser en la rendant compatible avec le nouveau concept. Enfin, l'opération de K-preordering n'est pas une conséquence de la génération de concepts mais bien une opération elle-même à visée générative. Elle sera d'autant plus efficace que la nouvelle structure de K est favorable à l'émergence de nouveaux objets : c'est le cas de la structure splitting. Les connaissances à privilégier lors du K-preordering seront des connaissances incompatibles et « splittantes » favorisant cette restructuration générative de K. Le tableau ci-dessous résume les objectifs, les critères de performances et le type de connaissances à privilégier pour chacun des trois modes.

	CR	**CI**	
Type de restructuration	Découplage des connaissances	K-reordering	K-preordering
Objectif	Performance du processus de développement	Compatibilité	Générativité
Critère de performance	Base K déterministe et modulaire	Base K sans structure privilégiée (non nécessairement splitting, non nécessairement déterministe et modulaire)	Base K splitting (non déterministe, non modulaire)
Connaissances (K) à privilégier	K compatibles	K compatibles	K incompatibles (celles qui rendent la base K splitting étant appelées **connaissances splitting**)

Figure 45. La structuration des connaissances en conception réglée (CR) et en conception innovante (CI)

Chapitre VIII – Application du modèle au cas du dessin d'architecte : K-preordering génératif et bases de connaissances splitting

Le modèle proposé précédemment permet à la fois de mieux analyser les opérations de restructuration des connaissances menées lors de la conception et de mieux prévoir l'effet génératif associé à cette réorganisation. Notamment, la construction d'une base de connaissance à caractère splitting, c'est-à-dire, évitant tout lien modulaire ou déterministe au sein de la structure, offre des propriétés génératives pour la conception innovante.

Dans ce chapitre, nous appliquerons ce modèle au cas de l'architecte pour expliquer la générativité de ses dessins. Afin de mieux comprendre les effets génératifs observés pour le dessin d'architecte, on peut être tenté de vérifier si la stratégie du concepteur consiste effectivement en une construction d'une structure de connaissances au fort pouvoir génératif. Plus particulièrement, on tentera d'établir si l'architecte s'attache ou non à éliminer les liens modulaires ou déterministes au sein de la base de connaissance mobilisée lors de l'exploration.

1. Impact des nouvelles connaissances apportées par le dessin

Au chapitre IV de la partie III, nous avons vu que l'architecte organise sa base de connaissances avec beaucoup de soin : il y introduit de nouvelles connaissances apportées par le dessin, les testent et si elles ne lui conviennent pas, les écartent. Mais si l'architecte apporte un soin minutieux

au choix des connaissances, il reste encore à comprendre la source de la générativité d'une telle stratégie de sélection.

1.1. Une stratégie de construction de l'espace K via une double dynamique : suppression et maintien de connaissances

Pour la deuxième séquence de dessins portant sur la conception d'une bibliothèque, nous avons vu pas à pas quelles avaient été les connaissances ajoutées à la base K de l'architecte, puis comment elles avaient été soit conservées, soit rejetées (voir figure ci-dessous).

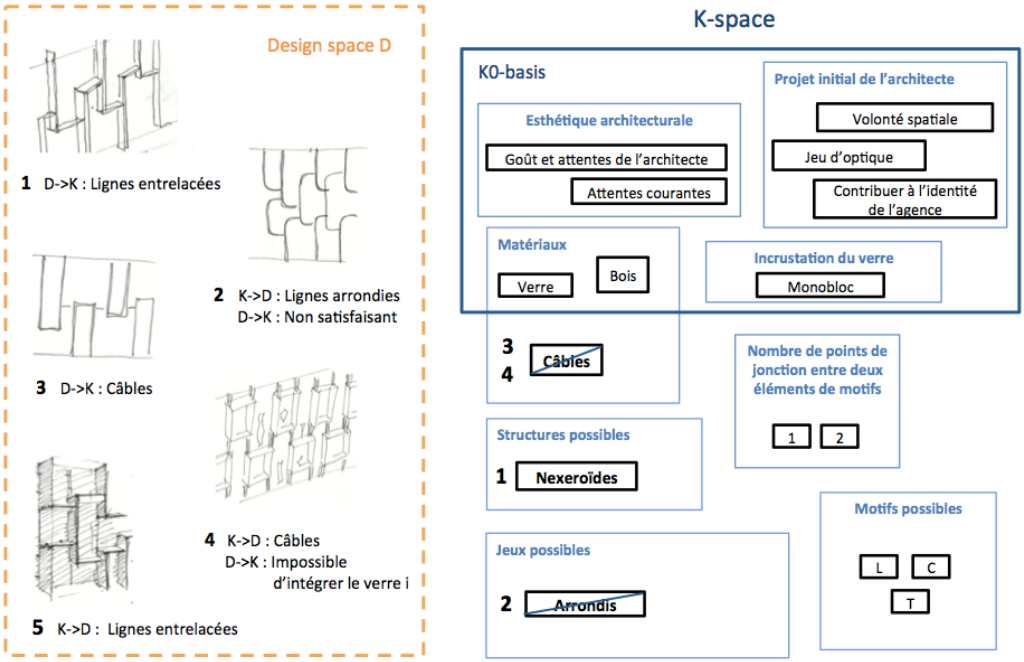


Figure 46. Effets du dessin sur l'organisation de l'espace K. À gauche : Dessins de la séquence de la bibliothèque. À droite : Effets de ces dessins sur l'espace K de l'architecte.

À l'origine de cette séquence, l'architecte désirait trouver une forme de bibliothèque innovante : la forme à concevoir devait permettre à la fois d'intégrer des carreaux de verre et de donner un reflet de l'identité de

T/E/S/S. L'architecte identifie à plusieurs reprises des connaissances originales dans ses dessins : un motif entrelacé qui lui rappelle des motifs chinois (1) ou encore des câbles métalliques (2). Il testera chacune de ces nouvelles connaissances en réalisant d'autres dessins. Par ailleurs, l'architecte introduit de lui-même des connaissances, comme lorsqu'il teste une variante de motif en y introduisant des angles arrondis (3).

Afin de tenter d'expliquer la générativité de cette stratégie, il est essentiel de regarder si le devenir de ces nouvelles connaissances est basé sur une certaine logique. On remarque une double dynamique dans les choix de l'architecte : d'une part, certaines connaissances vont être jugées intéressantes pour l'exploration et maintenues dans la base K tout au long de la séquence : c'est le cas du motif entrelacé, que l'architecte garde présent à l'esprit tout au long de la séquence. Ce motif est en effet jugé particulièrement intéressant par l'architecte qui compte bien l'exploiter dans sa solution finale. Même si après son apparition, ce motif est absent dans un certain nombre de dessins, il revient de façon récurrente tout au long de la séquence et fait bien parti de la solution retenue à la fin d'exploration. A l'inverse, certaines connaissances vont être jugées intéressantes par l'architecte au moment de leur découverte mais assez vite volontairement écartées par ce dernier (et non pas simplement oubliées). C'est le cas de la connaissance portant sur les câbles et les angles arrondis.

On remarque ainsi une double dynamique dans la stratégie de conception de l'architecte : d'une part, le maintien volontaire de certaines connaissances dans K, d'autre part, la suppression définitive et consciente de certains éléments. Cependant, les critères qui motivent ce maintien ou cette suppression de certains éléments de connaissances restent encore à étudier. Cela nécessite une analyse plus approfondie de l'effet génératif de chacune de ces deux dynamiques, et en particulier, de leur impact sur la structure de l'espace des connaissances.

1.2. La suppression de connaissances entrainant du déterminisme et/ou de la modularité

Dans la séquence 2, les câbles sont un exemple de connaissance originale K* que l'architecte décide de supprimer définitivement de son exploration, et ce, dès qu'il réalise que cet élément ne remplit pas l'un de ses objectifs : l'intégration du verre. En effet, la présence de câbles dans la structure de la bibliothèque ne permet d'inclure du verre qu'au niveau des espaces délimités par quatre pièces de bois. Cette inclusion est en revanche impossible pour les espaces compris entre des câbles et des pièces de bois, car il est impossible de fixer le verre aux câbles. L'élément « câbles » introduit donc du déterminisme dans la base K puisqu'il empêche l'utilisation d'un autre élément de K : les carreaux de verre (voir figure ci-après, à gauche). De la même façon, les angles arrondis empêchent eux aussi l'introduction du verre (celle-ci est rendue difficile techniquement lorsque les contours du verre ne sont pas rectilignes). Par ailleurs, l'architecte confie lors des entretiens que le résultat esthétique obtenu avec des angles arrondis ne le satisfaisait pas car la bibliothèque présentait une allure trop « design » : les angles arrondis peuvent être ajoutés quelle que soit la forme choisie mais ils gomment tout le reste, au risque que l'on ne remarque pas le travail réalisé pour aboutir à une forme de bibliothèque originale. L'élément « angles arrondis » possède ainsi un double impact sur la base K : il introduit du déterminisme sur le verre, et il constitue un élément modulaire pouvant être compatible avec différentes formes retenues pour la bibliothèque (voir figure ci-après, à droite).

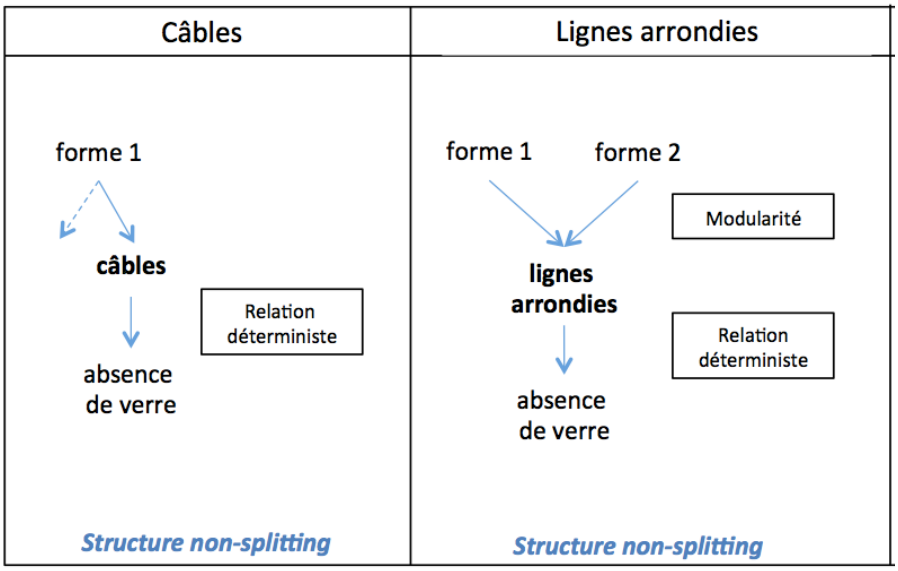


Figure 47. Suppression des relations modulaires et déterministes dans la base K : le cas des câbles (à gauche) et des angles arrondis (à droite)

L'architecte évince ainsi les connaissances introduisant soit du déterminisme, soit de la modularité dans l'espace K : en conséquence, son processus de conception semble se rapprocher de la constitution d'une base de connaissance « splitting » telle que décrite dans le chapitre précédent.

2. Construction d'une base de connaissances splitting favorisant la générativité

La suppression de connaissances introduisant modularité et/ou déterminisme dans la base K est une première stratégie pour atteindre des effets génératifs via la construction d'une base de connaissance splitting. Mais pour atteindre une telle structure, une autre stratégie est également possible : cette stratégie consiste à introduire des éléments venant casser certains liens déterministes ou modulaires classiquement mobilisés dans K.

2.1. Introduire des connaissances favorisant une structure splitting

Dans la séquence de la bibliothèque, l'architecte garde constamment présent à l'esprit l'idée d'utiliser un motif entrelacé. Si l'on s'intéresse aux raisons de ce choix en rapport avec la constitution d'une base K splitting, on remarque que cet élément de connaissance K* permet de créer une interdépendance (i.e. une non-modularité) sans pour autant impliquer de déterminisme. En effet, un motif entrelacé crée une forte interdépendance entre les critères de stabilité, d'intégration du verre et de respect de l'identité de l'agence : l'architecte réalise en effet qu'un motif entrelacé stable n'exclue pas l'intégration du verre et le respect de cette identité (ce type de motif peut en effet faire écho à d'autres projets menés par l'agence) : il y a absence de déterminisme puisque tous les critères de l'architecte sont potentiellement atteignables avec un tel motif. En revanche, tous les motifs entrelacés ne permettront pas d'intégrer le verre ou de refléter l'identité de T/E/S/S (non-modularité). L'élément de connaissance « motif entrelacé » favorise ainsi l'introduction de liens non-déterministes et non-modulaires entre les éléments de la base K (voir figure ci-dessous, à droite).

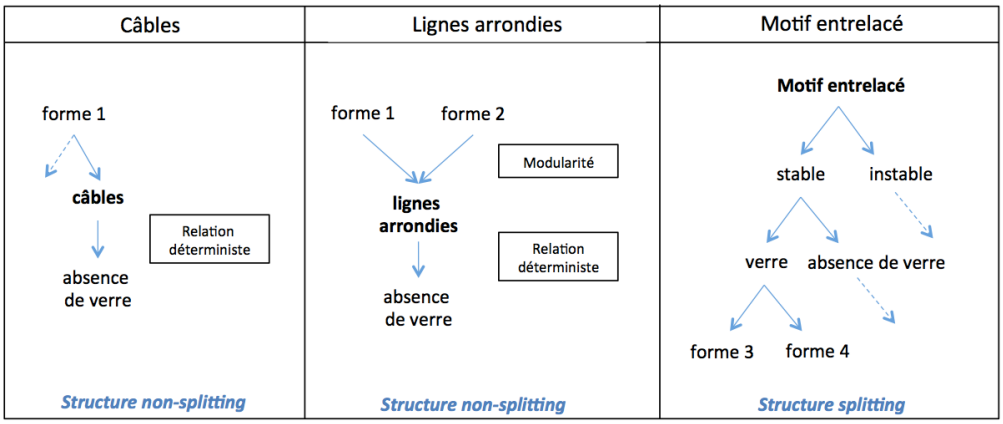


Figure 48. Suppression des relations modulaires et déterministes dans la base K : une stratégie de maintien dans la base K d'éléments favorisant les structures splitting (à droite) venant s'ajouter à la stratégie de suppression d'éléments favorisant le déterminisme et/ou la modularité (à gauche et au milieu)

De la même façon, la séquence 3 portant sur la conception d'une façade pour un commissariat présente également l'introduction d'une nouvelle connaissance favorisant le caractère splitting de la structure des connaissances (se reporter à la figure ci-après). Au début de la séquence, l'architecte considère en effet son système de brise-soleils selon un système de lignes ou encore, d'après ses propres termes, un système d'« arbres ». Pour dessiner les brise-soleils de la façade, il traçait une succession de lignes verticales et horizontales (les lignes noires sur la figure ci-après). À partir d'un moment, l'architecte croit voire dans son dessin des cellules végétales (K*) : il commence à organiser sa façade selon une combinaison de « cellules » représentées par des rectangles (les lignes rouges sur la figure ci-après). À partir de là, la logique de conception de l'architecte change : plutôt que de dessiner des lignes représentant le système de brise-soleils, l'architecte dessine des rectangles qui délimitent l'espace où ne se trouvent pas les brise-soleils. Ici, la nouvelle connaissance K* révélée par le dessin conduit donc à un changement des règles dans la base K de l'architecte. Les règles de construction du système changent : il modifie l'algèbre avec laquelle il composait jusqu'à présent et les rectangles remplacent les lignes. Là encore, le concept final retenu par l'architecte provient de la réorganisation des connaissances par l'apparition de nouvelles règles dans la base K.

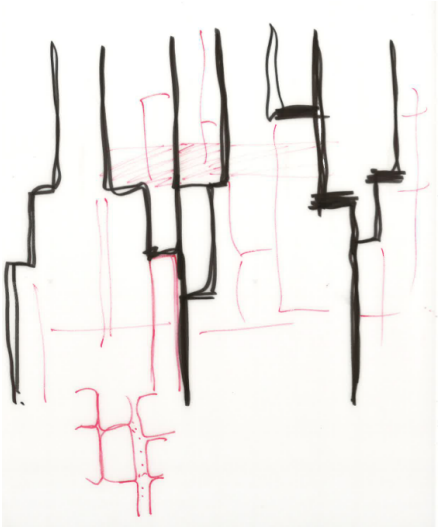


Figure 49. Ensemble de brise-soleils dessiné pour la façade d'un commissariat à Paris (vue de face, séquence 3). Les lignes noires représentent la structure principale du système de brise-soleils. Les traits plus légers (en rouge) sont des lignes rajoutées par l'architecte pour produire ce qu'il appelle des "cellules végétales"

2.2. Des origines de la générativité du dessin d'architecte

Le processus de conception de l'architecte repose ainsi sur la construction d'une base de connaissances splitting, qui n'est pas sans évoquer un protocole de Forcing. Un tel processus contribue fortement à la générativité du raisonnement de conception de l'architecte. Dans notre étude, la construction de cette base splitting repose sur deux stratégies : une stratégie de suppression des liens déterministes ou modulaires au sein de la base K et une stratégie de maintien de connaissances créant de l'interdépendance au sein de K (i.e. une non-modularité), sans pour autant introduire de déterminisme. Une sélection minutieuse des connaissances selon ces deux stratégies permet ainsi d'introduire de nouvelles règles dans l'espace K, et de favoriser la création d'un objet totalement nouveau.

Avec le motif entrelacé de la séquence de la bibliothèque, l'architecte modifie sa façon de voir l'objet « bibliothèque ». La bibliothèque la plus

commune consiste en une intersection de lignes verticales et de lignes horizontales (voir figure ci-après). Cependant, une telle forme est à la fois modulaire et déterministe aux yeux de l'architecte : peu importe le nombre de compartiments que présente cette bibliothèque : elle sera toujours stable et permettra toujours d'incorporer des carreaux de verre (relation modulaire). En revanche, une telle bibliothèque ne permettra pas de refléter l'identité de l'agence T/E/S/S (relation déterministe). L'introduction du motif entrelacé change les règles régissant les relations entre la stabilité, le respect de l'identité de l'agence et l'intégration du verre. Toutes les connaissances classiques sur les bibliothèques et la façon de les construire doivent être réévaluées au regard de ce nouveau rapport.

.

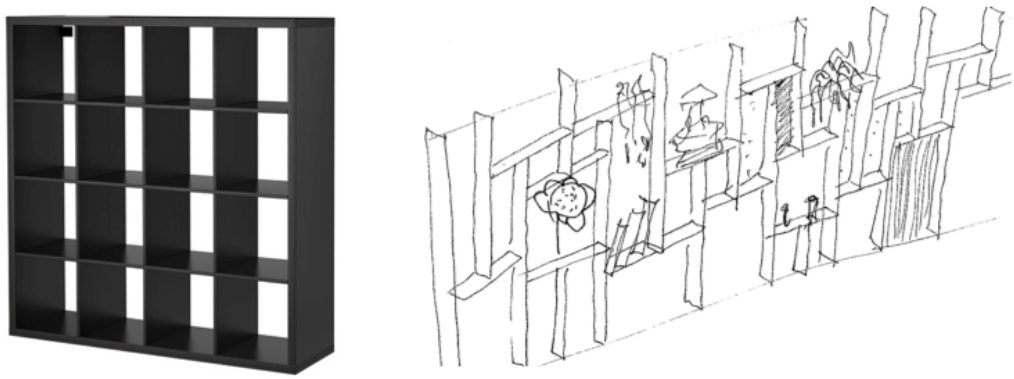


Figure 50. L'algèbre d'une bibliothèque classique : des lignes verticales et horizontales (à gauche) ; et l'algèbre de la bibliothèque de l'architecte : des motifs entrelacés en forme de T (à droite)

La réorganisation de l'espace des connaissances qui s'en suit alors favorise l'ouverture de nouvelles voies et la génération de nouveaux concepts : l'émergence de tels concepts n'aurait pas pu être permise si les règles régissant précédemment la base K avaient été conservées. Le processus de **Knowledge preordering** permet ainsi la génération de nombreux concepts originaux et présente une alternative à l'usage fait

traditionnellement de la connaissance pour la génération de concepts (via une opération ∂K->∂C). De plus, l'organisation d'une base de connaissance splitting contribue à expliquer le pouvoir génératif du dessin : ce dernier aide l'architecte à mobiliser des connaissances apparaissant parfois comme distantes du sujet initial mais qui aident à créer de l'interdépendance dans la base K (sans pour autant impliquer de déterminisme). Ces nouvelles connaissances, ainsi que la suppression des relations déterministes et modulaires au sein de la base K, permettent de mettre en place un nouveau système de règles dans l'espace des connaissances. C'est ce nouveau système qui permettra ensuite l'ouverture de nouvelles voies d'innovation.

Conclusion de la partie IV – Conséquences théoriques et managériales de la construction d'un modèle permettant de rendre compte du K-preordering

Le modèle proposé dans cette partie permet ainsi de mieux analyser les changements s'opérant sur la structure des connaissances au cours de la conception, et ce dans le but d'anticiper les effets génératifs associés à ces changements. Nous avons vu que la conception réglée s'appuie fortement sur ces opérations de restructuration, une conception performante étant alors obtenue pour des structures parfaitement modulaires et déterministes. Il n'en va pas de même en conception innovante. D'ordinaire, le concepteur se préoccupe alors peu de la structure des connaissances. En fin de conception intervient éventuellement une opération de K-reordering chargée de rendre compatibles l'objet conçu et la base de connaissances se référant à la même famille d'objets. Or, nous avons vu qu'une restructuration de la connaissance au cours de l'exploration de conception pourrait, elle aussi, avoir un intérêt génératif propre. En effet, la construction d'une base de connaissances splitting, éliminant les liens modulaires ou déterministes entre connaissances présenterait un pouvoir génératif bien spécifique et permettrait d'ouvrir de nouvelles voies de conception jusqu'alors inatteignables dans le cadre de l'ancienne structure.

Afin de mieux piloter la restructuration des connaissances, le type des connaissances nouvelles mobilisées par le concepteur a alors son importance. La nature compatible ou incompatible de la connaissance peut conditionner la nécessité de modifier la structure même de la base : si la nouvelle connaissance introduite est compatible, la structure ne sera pas impactée. À l'inverse, la mobilisation et l'usage d'une connaissance

incompatible provoquera une réorganisation de la structure des connaissances.

En appliquant ce modèle au cas du dessin d'architecte, nous avons vu que la générativité de l'exploration provient de l'opération de K-preordering réalisée par le concepteur : il construit en effet sa base de connaissance de façon minutieuse, éliminant avec soin les relations modulaires ou déterministes existant au sein de cette base. La flexibilité du média non-verbal pourrait par ailleurs favoriser cette opération de restructuration. Nous avons vu en effet qu'un même dessin est capable d'intégrer à la fois plusieurs connaissances et plusieurs concepts, et également d'amener le concepteur à mobiliser des connaissances originales pouvant l'amener à modifier la structure des connaissances.

Dans la suite de la thèse, nous nous intéresserons aux applications pratiques de ce phénomène de K-preordering. Dans un premier temps, nous nous demanderons s'il est possible de suivre et de contrôler ce phénomène en session de conception collective. À cette occasion, nous nous demanderons si les médias non-verbaux constituent un bon moyen pour favoriser cette opération de restructuration générative et s'il est aisé de les mobiliser en session de conception collective. Nous serons ainsi amenés à nous interroger sur les figures d'acteurs capables de piloter cet usage du non-verbal pour le K-preordering. Dans un second temps, nous nous demanderons s'il est possible d'outiller et d'organiser ce phénomène génératif en s'affranchissant de la dimension non-verbale. Nous proposerons alors un processus de conception permettant d'intégrer le K-preordering et pouvant être mobilisable par un concepteur isolé comme par un groupe. Enfin, en considérant de plus grandes échelles, nous nous interrogerons sur les conditions favorables à la restructuration générative de connaissances établies et partagées au sein d'un réseau regroupant différentes institutions.

« La création est en partie liée aux associations d'idées. Quand je froisse des feuilles de géranium entre mes doigts, je sens certes le géranium, mais aussi la truffe noire, truffe qui m'évoque le goût de l'huile d'olive ; celle-ci me rappelle l'odeur de castoréum, laquelle a des odeurs fumées du bouleau, etc. L'association du bouleau et du géranium est un accord digne d'intérêt. Les associations les plus espacées sont, souvent, les plus intéressantes. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie V – Contrôler la restructuration des connaissances en conception collective : performance du non-verbal pour le K-preordering.....215

Chapitre IX – Impacts cognitifs du non-verbal en situation de conception collective 217

1. Une première étude de l'usage du non-verbal en collectif : le cas des images 219

1.1. Des images pour concevoir : présentation de l'étude de cas 219
1.2. Analyser l'impact des images sur la génération d'idées en conception collective 221

2. Une restructuration générative des connaissances pas toujours évidente pour le groupe 229

2.1. De la nature des concepts générés par les images 229
2.2. Obtention de différents effets génératifs selon la nature des images 231
2.3. Impact des images sur les espaces C et K : provoquer le K-preordering à l'aide du non-verbal 233

Chapitre X – Le pilotage de la performance du non-verbal : conditions nécessaires de réussite et rôle du leader créatif.....239

1. Étudier l'impact de la dynamique collective sur la générativité du non-verbal : une comparaison de quatre cas de conception 240

1.1. Présentation des cas étudiés : différents types de médias non-verbaux et différents contextes organisationnels 240
1.2. Analyser l'impact du non-verbal en conception collective : contribution au processus créatif et influence des parties prenantes 243

2. Proposition de moyens de contrôle relatifs à la performance du non-verbal : analyse de la capacité à restructurer la base K 247

2.1. Des contextes d'usage du non-verbal variés 248
2.2. Une performance du non-verbal contrastée selon le contexte cognitif et organisationnel 250
2.3. L'intervention nécessaire d'une figure d'acteur particulière : un leader créatif pour contrôler la mise en place des conditions nécessaires à la performance du non-verbal 256

Conclusion de la partie V – Apports managériaux pour la conception innovante en collectif.....261

Partie V – Contrôler la restructuration des connaissances en conception collective : performance du non-verbal pour le K-preordering

Dans cette partie, nous nous intéressons à la restructuration des connaissances en situation de conception collective. Les travaux précédents ont montré que le K-preordering offrait un pouvoir génératif fort et favorisait l'ouverture de voies nouvelles. Par ailleurs, un concepteur isolé expérimenté, tel l'architecte, maîtrise parfaitement ce phénomène et sait très bien le provoquer à l'aide du non-verbal. Mais le K-preordering est-il aussi facile à mettre en place lorsque les conditions de conception changent ? En particulier, la conception étant souvent organisée de façon collective, on peut se demander s'il est possible de provoquer ce phénomène en sessions de créativité conduites en groupes. Afin d'investiguer les conditions d'application du K-preordering, nous nous intéresserons dans un premier temps au suivi et au contrôle de ce phénomène. Puisque ce dernier a été observé au cours d'une exploration supportée par l'usage du non-verbal, nous nous intéresserons tout d'abord aux méthodes de pilotage du K-preordering reposant sur des médias non-verbaux. Il sera alors intéressant d'évaluer la performance de l'usage du non-verbal au cours des sessions de créativité : les médias non-verbaux constituent-ils un bon moyen pour favoriser cette opération de restructuration générative des connaissances ? Est-il aisé de les mobiliser en session de conception collective ? Quelles figures d'acteurs pourraient être capables de piloter cet usage collectif du non-verbal pour le K-preordering ?

En effet, les images, le dessin ou encore l'impression 3D sont de plus en plus souvent utilisées en entreprise afin de favoriser la génération d'idées en session de créativité (Lewis & Moultrie, 2005 ; Haner, 2005). Les participants sont parfois chargés de générer eux-mêmes ces médias non-verbaux, comme c'est le cas par exemple avec la méthode Lego Serious Play (Roos & Victor, 1999). Mais le non-verbal peut être parfois créé par un acteur extérieur au groupe : il peut s'agir d'un illustrateur ou encore d'un designer freelance. Le non-verbal étant un média particulier et souvent difficilement compréhensible ou exploitable par un observateur extérieur (Ferguson, 1977 ; Goldschmidt, 1991), il sera tout d'abord nécessaire de s'interroger sur le type d'impact qu'il peut avoir sur les participants, et plus spécifiquement, sur sa capacité à les assister dans la restructuration de leur base de connaissances (Chapitre IX). Par ailleurs, on s'attachera à comprendre comment la dimension collective peut impacter ce potentiel restructurant – positivement comme négativement - et quels moyens d'action un leader créatif pourrait envisager de mettre en place afin d'optimiser ce potentiel (Chapitre X).

Chapitre IX – Impacts cognitifs du non-verbal en situation de conception collective

Dans ce chapitre, nous tentons d'analyser la performance du non-verbal lorsqu'il s'agit de favoriser la restructuration de la connaissance en session collective. Nous avons vu dans la partie précédente que l'introduction d'une connaissance incompatible avec la structure existante aura tendance à provoquer la réorganisation des liens entre connaissances. À l'inverse, l'introduction d'une connaissance nouvelle mais compatible avec la structure n'impactera que peu les liens existants : l'intégration de cette connaissance ne nécessitera pas de repenser les relations usuelles entre connaissances. En ce qui concerne l'évaluation de la capacité du non-verbal à provoquer ce phénomène de K-preordering et l'identifier de conditions favorables à son bon usage en session collective, nous pouvons donc dès à présent formuler les hypothèses suivantes :

(1) Un média non-verbal introduisant une connaissance compatible permet de générer facilement des concepts restrictifs, mais peu de concepts expansifs

(2) Un média non-verbal introduisant une connaissance incompatible permet de générer des concepts expansifs mais avec une faible fluidité

(3) Le ratio (Concepts expansifs produits suite à l'introduction d'une connaissance incompatible / Concepts restrictifs produits suite à l'introduction d'une connaissance compatible) devrait donc être très faible

Pour tenter de vérifier ces hypothèses, nous avons réalisé une étude de cas à partir d'une expérimentation menée au sein du groupe automobile Renault. Cette expérimentation visait à tester une approche de créativité proposée par un designer et basée sur le non-verbal. Pendant une session de génération d'idées sur le thème de la communauté de recharge pour les véhicules électriques (VE), ce designer s'est basé sur des images afin de favoriser la créativité du groupe. Cet ensemble d'images avait été spécialement conçu dans le but d'inspirer de nouvelles idées aux participants sur le thème de la communauté de recharge. Les images utilisées lors de la session sont présentées en Annexe 3.

Ce cas présente deux différences majeures par rapport au cas de l'architecte travaillant de façon isolée. Il s'agit tout d'abord d'un cas de conception collective : le non-verbal est utilisé dans le but d'inspirer des idées à un grand nombre de personnes, et non à une seule. Par ailleurs, les médias non-verbaux ne sont pas produits par la personne en charge de trouver de nouvelles idées : le designer conçoit les images et les participants sont chargés de les exploiter afin de générer des concepts. Ces écarts par rapport à la situation de l'architecte qui utilise seul le non-verbal pour favoriser sa propre générativité, peuvent éventuellement avoir un impact sur la performance du non-verbal et faire apparaître différents types d'effets génératifs en session de créativité. La section 1 présente ainsi la méthodologie mise en place afin d'étudier l'impact des images sur la génération de concepts, tandis que la section 2 présente les résultats de notre étude.

1. Une première étude de l'usage du non-verbal en collectif : le cas des images

1.1. Des images pour concevoir : présentation de l'étude de cas

Dans le but de tester de nouvelles approches de conception, une équipe du groupe Renault, industriel automobile français, a confié à un designer freelance la charge d'animer un atelier de créativité portant sur le thème de la communauté de recharge. Le chef d'équipe, Anne Bion-Robin (Chef de projet Innovation), travaillait sur les services liés au véhicule électrique et souhaitait organiser une réflexion sur de nouveaux modes de recharge s'appuyant sur les communautés (le mot « communauté » étant pris au sens large). En effet, la fréquence de recharge du véhicule électrique (noté VE dans la suite) conditionne son autonomie. Avec une charge complète, cette dernière reste relativement faible (300 km en conditions réelles pour le dernier modèle de Zoé). Par ailleurs, de nombreux usagers rechargent leur VE uniquement chez eux, pendant la nuit. Une recharge plus fréquente, via des bornes publiques (gérées par la municipalité) ou encore des bornes appartenant à d'autres usagers (particuliers, entreprises) permettrait d'optimiser l'autonomie d'un conducteur de VE. Il pourrait donc être intéressant d'élargir le réseau actuel de bornes de recharge publiques en y intégrant le plus grand nombre possible de bornes de recharges privées. Mais cela n'est pas sans poser certains problèmes (accès, entretien des bornes, tarification de la recharge, assurance). Dans le but d'améliorer l'accès à la recharge, l'équipe que nous avons suivie s'est intéressée au concept de la communauté de recharge. Afin d'explorer ce concept, un premier travail a été mené par le chef d'équipe sous la forme d'une arborescence C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). Cette arborescence a ensuite été partagée avec un petit groupe d'employés Renault (composé entre autres du designer et des animateurs du Creative People Lab de Renault). Afin de poursuivre cette

première exploration, l'équipe a souhaité organiser une session de génération d'idées destinée à réunir une cinquantaine de personnes provenant de différents départements du groupe. L'équipe s'est réunie plusieurs fois afin de préparer cette session.

Afin d'expérimenter la performance des médias non-verbaux en session de génération d'idées, un designer freelance fut chargé par le chef d'équipe Renault d'animer différentes séances de préparation ainsi que de la session finale. Le designer devait ainsi endosser le rôle de facilitateur. Pour inspirer des idées nouvelles et originales à l'équipe, ce dernier a principalement privilégié la discussion et le brainstorming à partir d'images. Pendant l'une des sessions de préparation, un ensemble de cartes présentant des images sélectionnées par ses soins fut présenté aux participants. Le jeu de cartes était composé d'une cinquantaine d'images et il fut demandé aux participants de s'en inspirer pour générer des concepts. C'est cette séance en particulier qui sera l'objet de l'étude présentée ici.

Les images sélectionnées présentaient des connaissances avec différents degrés d'originalité. Pour le designer, ces images étaient toutes en lien avec le thème de la communauté de recharge. Du point de vue des participants, elles apparaissaient cependant plus ou moins reliées au sujet initial. Ces images correspondaient souvent à des photographies mais le jeu de cartes présentait quelques pictogrammes et dessins réalisés via l'infographie. Chaque carte possédait également un titre composé d'un mot ou un groupe de mots. Quelques images du jeu de cartes sont présentées dans la figure ci-après. L'intégralité du jeu de cartes est présentée en Annexe 3. Dans une approche de visualisation (cf. Partie I, Chapitre II), le but des participants était de se servir d'une image pour formuler une idée. Ces derniers pouvaient librement commenter les images qui les inspiraient et présenter les concepts qu'elles avaient aider à générer.

Figure 51. Quelques images du jeu de cartes

1.2. Analyser l'impact des images sur la génération d'idées en conception collective

Un tel protocole n'est pas sans rappeler certaines expériences de sciences cognitives qui s'intéressent à l'impact des exemples sur la créativité (Smith, Ward & Schumacher, 1993 ; Agogué et al., 2013). Dans l'expérience de Smith, Ward et Schumacher (1993), des participants à une tâche de créativité sont exposés à des images de solutions potentielles (dans l'expérience, des dessins à la main). On leur demande ensuite de générer le plus grand nombre possible d'idées originales et variées. Ces expériences peuvent aider à analyser les performances de l'utilisation des images pour la génération d'idées. En particulier, Smith, Ward et Schumacher (1993) montrent que des images de connaissances peu originales favorisent les idées peu originales. De façon plus précise, Agogué et al (2013) ont montré que les exemples appartenant à la base de connaissance initiale des participants (base notée K0) favorisent la génération de concepts restrictifs. À l'inverse, des exemples en dehors de K0 améliorent la production d'idées expansives. De la même façon, on peut s'attendre dans notre étude à ce que la

nature de la connaissance présentée par une image influe sur le caractère restrictif ou expansif des concepts que cette image permet de générer.

Malgré la présence de certaines différences entre notre cas et ces expériences de cognition, il nous a semblé intéressant d'analyser la génération de concepts avec des méthodologies similaires. Dans le but d'étudier l'impact des images sur la génération d'idées, nous nous sommes appuyés sur une méthode développée afin d'analyser l'impact des exemples verbaux sur la créativité (Agogué, 2012; Agogué et al, 2013). Cette méthode consiste à construire une cartographie « référentiel » représentant les différents chemins conceptuels associés à la tâche de créativité. Cette cartographie est construite à l'aide de la méthode C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009) et distingue les voies conceptuelles restrictives et expansives. Les concepts correspondant aux idées générées par les participants sont ensuite placés sur la cartographie C-K. Si les concepts se concentrent uniquement sur un petit nombre de voies peu originales, cela permet de mettre en évidence un effet de fixation (Agogué, 2012). En particulier, une telle visualisation des concepts a permis de montrer que des exemples originaux favorisent la variété et l'originalité des concepts (via un phénomène de défixation), tandis que des exemples restrictifs renforcent la fixation (Agogué, 2012 ; Agogué et al., 2013). De la même façon, un arbre C-K construit sur le thème de la communauté de recharge pourra nous permettre d'identifier les effets de fixation potentiellement induits par les images, mais également leurs potentiels effets défixants. Cela suppose bien sûr d'être capable d'identifier la nature restrictive ou expansive des concepts générés par l'équipe, ainsi que la relation à K0 des différents éléments de connaissance introduits par les images.

Dans notre étude de cas, un premier arbre C-K avait déjà été construit par l'équipe afin de rechercher de nouveaux concepts pour la recharge communautaire (voir figure ci-après). Les différentes voies développées

utilisaient majoritairement des connaissances bien maîtrisées par l'équipe et correspondaient ainsi principalement à des voies restrictives. Cette première cartographie nous a donc permis d'identifier très facilement la structure de connaissances initiale de l'équipe, structure notée **K0**. De plus, un code couleur fut utilisé pour distinguer différents degrés de rupture, à la fois en concepts et en connaissance (Hooge, Agogué & Gillier, 2012). Selon ce code couleur, les concepts connus sont représentés en bleu foncé, les concepts atteignables, en bleu clair, et les concepts en rupture, en vert. Concernant la connaissance, le blanc correspond à la connaissance acquise, le jaune à la connaissance en cours d'acquisition (par exemple, via un projet d'expérimentation ou encore un programme de recherche) et le orange à la connaissance manquante (i.e. à acquérir). La base K0 correspond quant à elle à la connaissance facilement activée par l'équipe : il s'agit soit de connaissances en lien avec le sujet et déjà maîtrisées par l'équipe, soit de connaissances en cours d'acquisition. La connaissance manquante n'est pas considérée comme faisant partie de K0 car les poches K associées correspondent à des poches de connaissance vides, qui n'ont pas de contenu prédéfini. La base K0 réunit ainsi les poches de connaissance représentées en blanc et en jaune dans la première cartographie réalisée par l'équipe (voir figure ci-après).

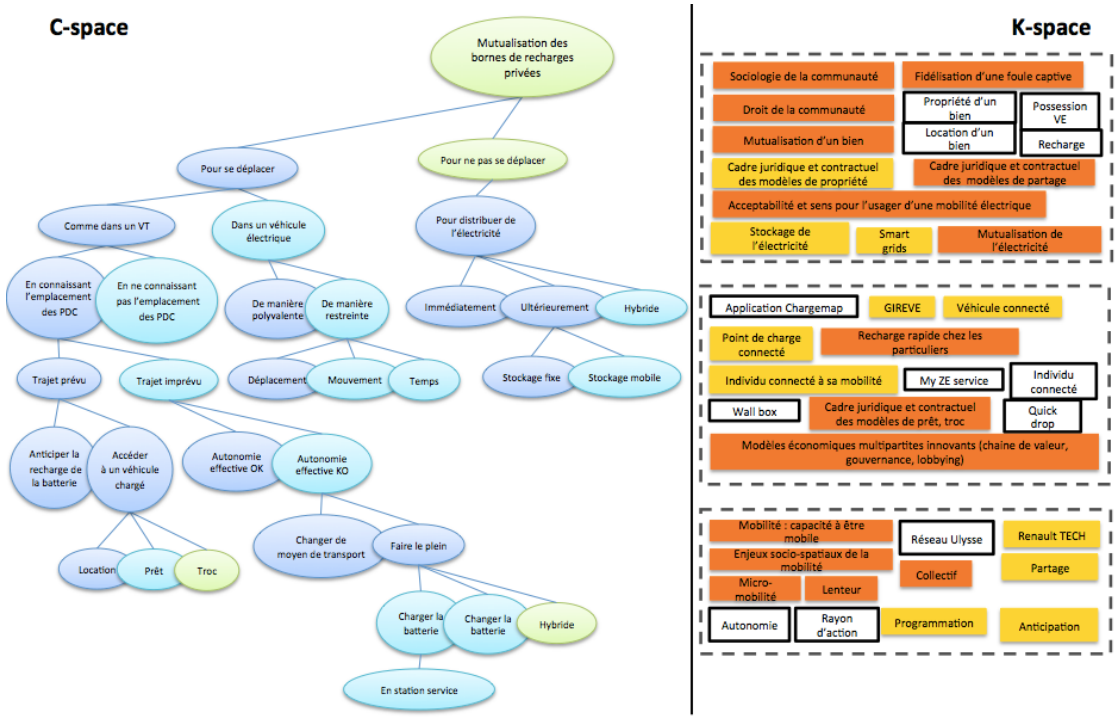
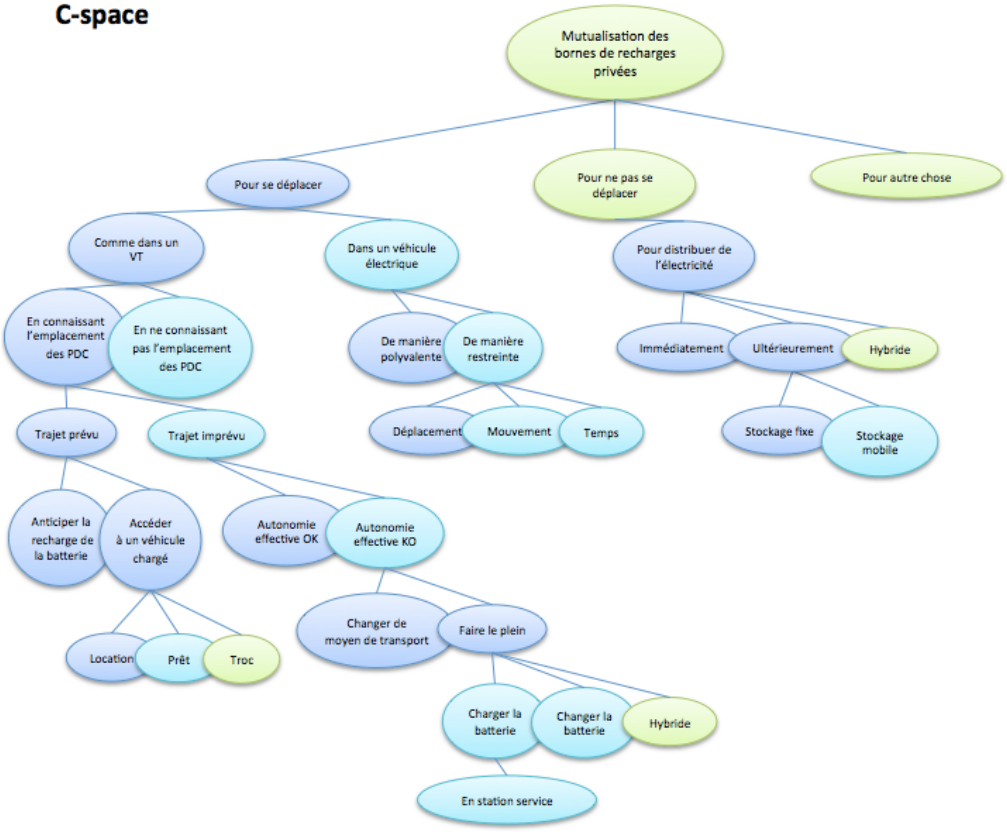


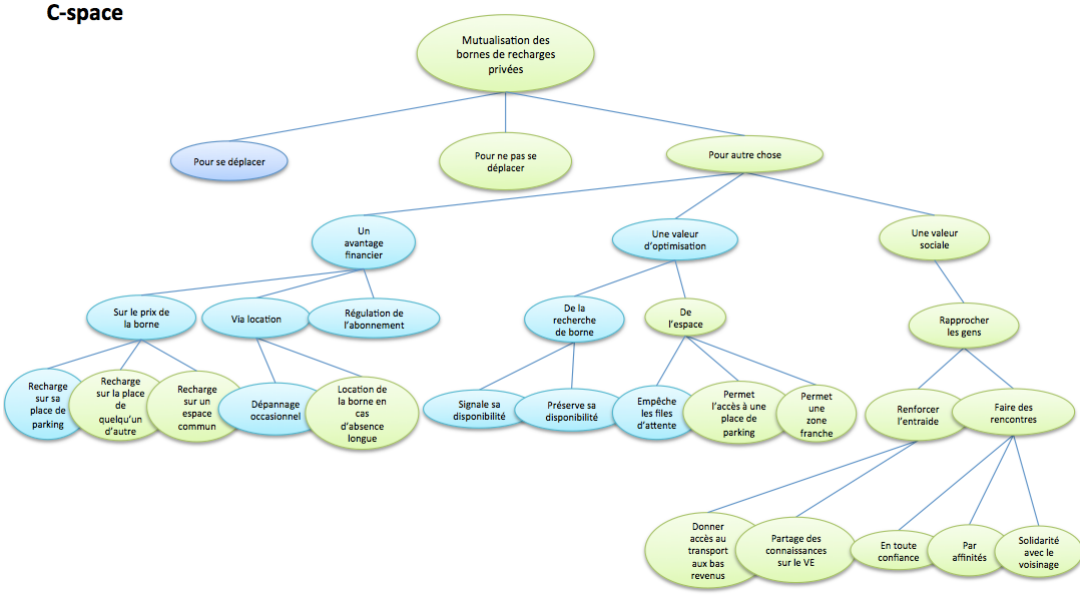
Figure 52. Première cartographie C-K développée par l'équipe Renault. Les voies conceptuelles sont majoritairement restrictives. La base K0 regroupe les poches de connaissances représentées en jaune et en blanc.

Afin de construire notre référentiel C-K, nous avons effectué une extension de ce premier arbre en amont de la séance animée par le designer. Plusieurs concepts expansifs ont été générés, permettant ainsi de compléter l'arbre C-K initial et d'envisager toutes les nouvelles voies conceptuelles qui pourront être adressées lors de la séance de créativité. L'arbre C-K présenté ci-dessous constitue le référentiel qui permettra d'analyser les impacts des images sur la générativité des participants. Cette version étendue du premier arbre C-K ne fut pas partagée avec les membres de l'équipe, et ce, afin de ne pas les influencer lors de la session.

C-space



C-space



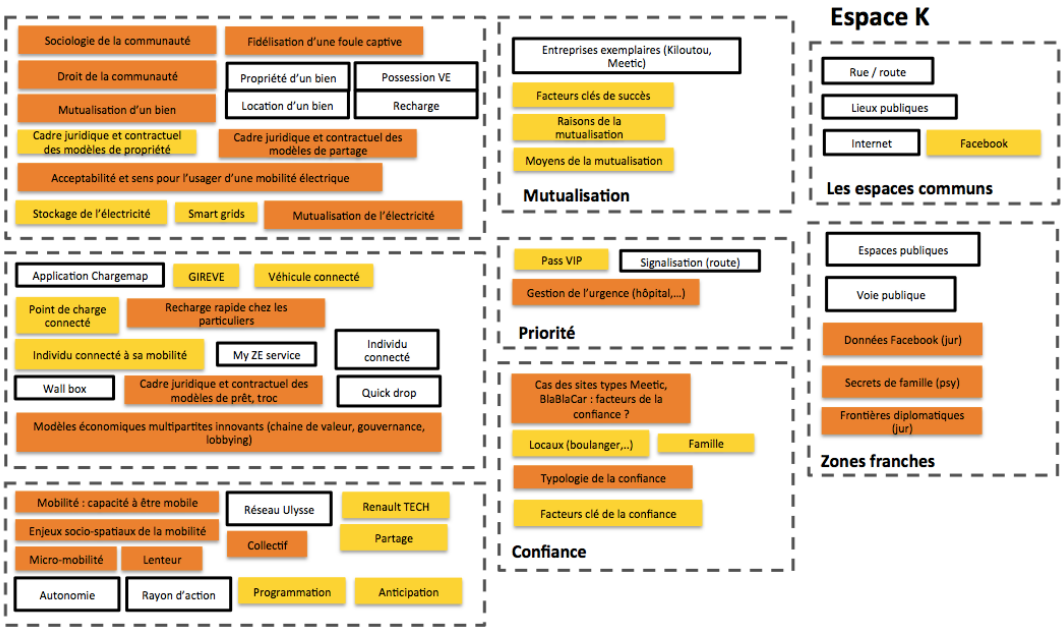


Figure 53. Référentiel C-K : seconde cartographie développée afin d'envisager toutes les voies conceptuelles possibles et les poches de connaissances correspondantes.

Grâce à l'identification de K0, la connaissance portée par les différentes images a pu être identifiée comme correspondant soit à une connaissance restrictive, soit à une connaissance expansive. Puisque l'espace K se réfère à l'état des connaissances de l'équipe Renault, la nature restrictive ou expansive des connaissances est définie par rapport au point de vue des membres de l'équipe. Par ailleurs, pour les besoins de l'étude, toute connaissance appartenant à K0 ou découlant d'une extension naturelle des poches de connaissances de K0 fut considérée comme **compatible à la structure de K0** (cf. Chapitre VII). C'est le cas notamment des connaissances portant sur l'automobile en général (véhicule, route, entretien), la recharge ou la production d'électricité : en particulier, les connaissances portant sur les véhicules électriques existants ou encore sur les bornes de recharge ont été considérées comme appartenant à K0. Concernant les connaissances compatibles à la structure de K0, on notera le cas de systèmes spécifiques de production d'électricité tels que le dancefloor piézoélectrique (voir figure ci-après). D'autres images du jeu de cartes introduisaient au contraire des

connaissances originales, qui semblaient très « distantes » de K0 : ces connaissances n'auraient pas pu être atteintes par une extension naturelle des poches de connaissances de K0. C'est par exemple le cas de la connaissance portée par l'image montrant un piano en libre accès en gare : une telle connaissance est en effet **incompatibles à la structure de K0** (voir figure ci-après). De la même façon que pour la nature restrictive ou expansive d'une connaissance, la compatibilité à une structure de connaissance est définie en fonction du référentiel des participants.

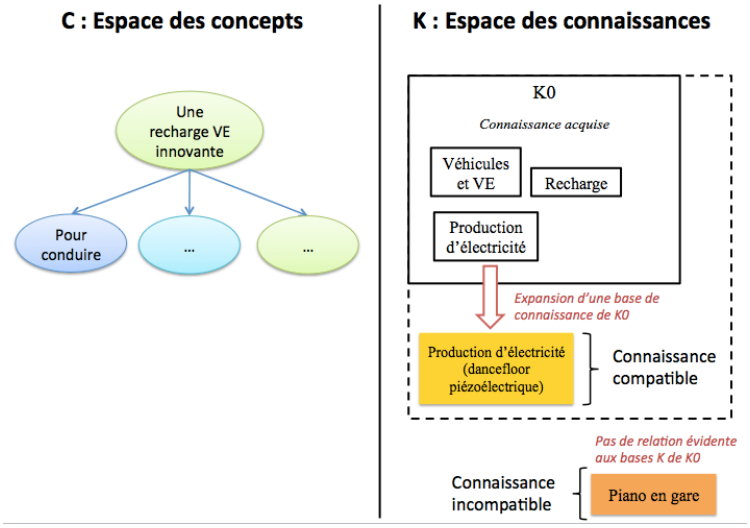


Figure 54. Distinction des connaissances reliées à K0 et distantes de K0 : les connaissances considérées comme distantes de K0 ne découlent pas d'une simple extension des bases de K0.

Les images du jeu de cartes présentées en Annexe 3 ont été numérotées de 1 à 48. Parmi les 48 images, 36 images correspondent à une connaissance **compatible** à la structure de K0 et constituent un premier groupe d'images **G1**. Parmi elles, cinq images (11-12-15-16-23) correspondent à des connaissances appartenant à K0, les autres découlent d'une base de K0. Par ailleurs, 11 images correspondent à de la connaissance **incompatible** à la structure de K0 et constituent un second groupe d'images

G2. Une image fut retirée de l'échantillon car non interprétable. Le tableau ci-après présente la répartition des images dans les deux groupes G1 et G2.

Groupe d'images	Images correspondantes
G1	2-3-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-31-33-34-35-36-39-40-44-45-48
G2	1-4-29-30-32-38-41-42-43-46-47
Image retirée de l'échantillon	37 (non interprétable)

Tableau 3. Répartition des images entre les groupes G1 et G2

Les images de l'échantillon diffèrent des exemples donnés pour les besoins des études en créativité, dans le sens où elles ne sont pas présentées sous la forme d'une solution. Les participants devaient ainsi transformer la connaissance en un ou plusieurs concepts. On peut ainsi s'attendre à ce qu'il soit parfois difficile pour les participants d'identifier le lien entre la connaissance présentée sur les cartes et le sujet qu'elles sont supposées adresser, en particulier en ce qui concerne les cartes présentant une connaissance non compatible avec la structure de K0. En reprenant les hypothèses (1), (2) et (3) formulées en début de chapitre et les adaptant à l'étude, il s'agit donc de vérifier les hypothèses suivantes :

i. Les images de G1 permettent de générer facilement des concepts restrictifs, mais peu de concepts expansifs

ii. Les images de G2 permettent de générer des concepts expansifs mais avec une plus faible fluidité

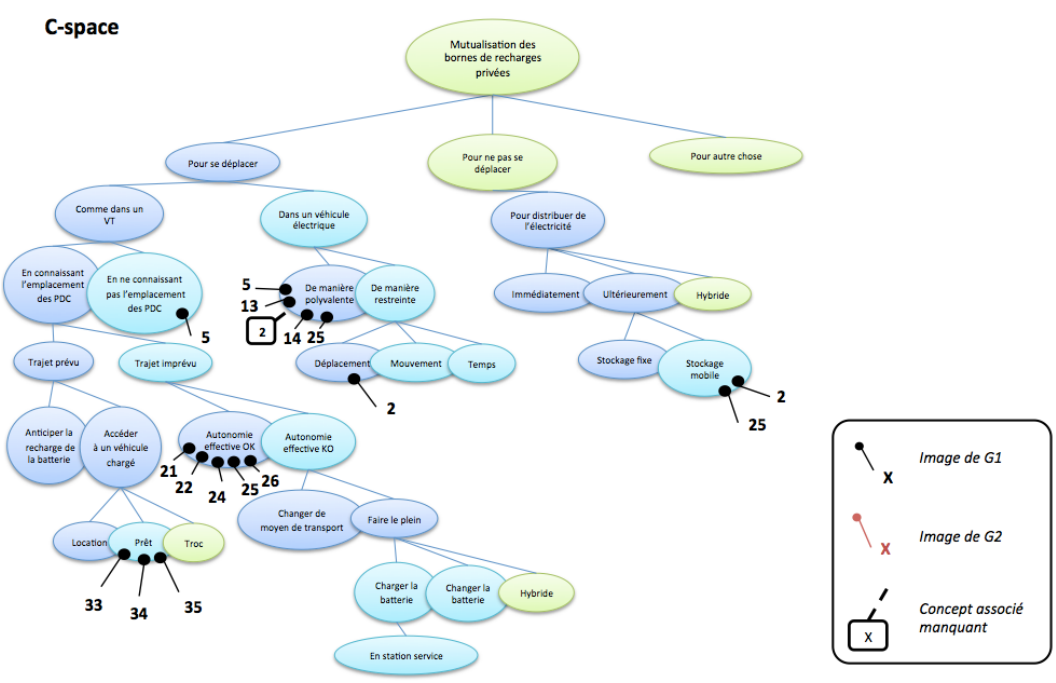
iii. Le ratio (Concepts expansifs produits par G2 / Concepts restrictifs produits par G1) devrait donc être très faible

Pour vérifier ces hypothèses, il est nécessaire d'associer les images aux concepts du référentiel C-K qu'elles permettent d'adresser. Ceci fut réalisé en deux étapes : tout d'abord, les images furent associées aux idées qu'elles ont permis de générer, puis ces idées ont été associées aux concepts de l'arbre référentiel. Le lecteur pourra trouver le détail de ce raisonnement en Annexe 4, dans un extrait de working paper portant sur le cas des images et rédigé en anglais. Durant la session impliquant le jeu de cartes, nous avons répertorié les idées générées, ainsi que les images ayant permis de les générer. L'association d'une idée à une image donnée n'était pas toujours évidente : parfois, la même idée était associée à plusieurs cartes. Par ailleurs, certaines idées évoquées en cours de session avaient déjà été formulées lors de précédentes sessions de travail et étaient mentionnées comme se référant à des réflexions antérieures : ces idées ont été notées mais ont été exclues de l'échantillon d'analyse (puisque n'ayant pas été générées à partir d'une image). Les idées formulées pendant la session sont présentées en Annexe 4. Chaque idée fut ensuite associée à un ou plusieurs concepts du référentiel C-K. Une telle association permet de voir si une image a permis de générer un concept, et si oui, si ce concept était de nature restrictive ou expansive. Les images furent enfin associées aux concepts correspondant sur le référentiel C-K afin de visualiser les impacts respectifs des groupes G1 et G2 sur la créativité.

2. Une restructuration générative des connaissances pas toujours évidente pour le groupe

2.1. De la nature des concepts générés par les images

La liste des idées générées par l'équipe ainsi que leur correspondance aux images et aux concepts du référentiel C-K est détaillée dans l'Annexe 4. Au cours de la session, 13 idées furent générées à partir des images de G1. Ces 13 idées permettent d'adresser 8 concepts restrictifs et 5 concepts expansifs du référentiel C-K (voir figure ci-après). En revanche, seules 3 idées furent générées à partir du groupe G2 : elles adressent toutes uniquement des concepts expansifs et se réfèrent au total à 5 concepts différents. La figure ci-après présente la distribution des images sur l'arbre C-K. Elle permet de visualiser rapidement si un groupe d'images adresse plutôt des voies restrictives (témoignant ainsi d'un effet de fixation) ou des voies expansives (effet de défixation). Les images de G1 correspondent aux points indiqués en noir tandis que les images de G2 correspondent aux points en rouge. Par ailleurs, quelques images se sont révélées correspondre à des concepts que nous n'avions pas générés au moment de construire le référentiel C-K. Nous avons choisi de ne pas modifier le référentiel en conséquence afin de mettre en évidence ce fait. Dans ce cas, les images ont été reliées aux concepts du référentiel que le concept manquant raffinait.



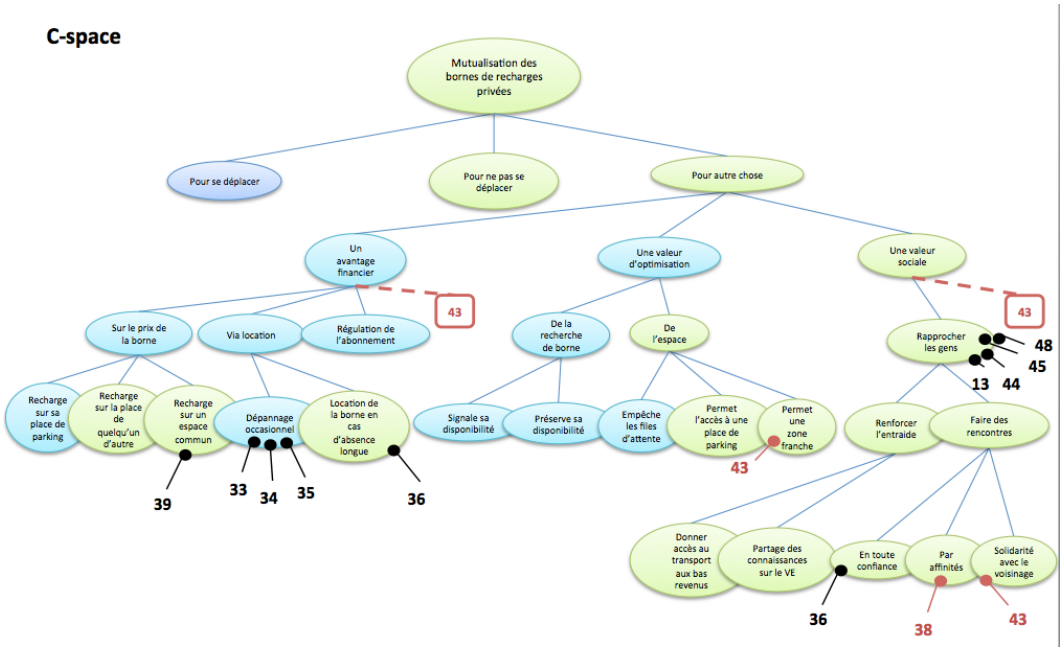


Figure 55. Les différents concepts du référentiel adressés par les images

2.2. Obtention de différents effets génératifs selon la nature des images

Toutes les images du jeu de cartes n'ont pas permis de générer des idées. En particulier, les images présentant des connaissances appartenant déjà K0 n'ont pas inspiré les participants. La distinction entre les concepts générés par G1 et par G2 permet de vérifier les hypothèses formulées précédemment : les images de G1 permettent de générer davantage de concepts restrictifs que de concepts expansifs (8 concepts restrictifs, 5 concepts expansifs). En revanche, les images de G2 n'ont abouti qu'à des concepts expansifs (5 concepts). Concernant le nombre d'idées générées, les images de G1 offrent une meilleure fluidité : 17 images parmi les 31 du groupe G1 ont abouti à une idée, tandis que seules 2 images parmi les 11 du groupe G2 ont permis de générer un concept. À partir du référentiel C-K, on peut aussi remarquer que les images de G2 adressaient des concepts variés :

certaines images correspondent parfois à deux concepts à la fois. En revanche, le groupe G1 permet certes d'aboutir à un grand nombre de concepts, mais plusieurs images adressent parfois le même concept. Ce dernier phénomène est fortement favorisé par le fait que plusieurs images du groupe G1 représentent le même élément de connaissance (à l'instar des images 33, 34 et 35). Mais cela résulte également d'un effet de fixation. Les dix images suivantes : 5, 14, 21, 22, 24, 25, 26, 33, 34 et 35 adressent en effet seulement six concepts de l'arbre, tous restrictifs : elles ont donc favorisé la fixation. De plus, les images 5, 14, 21, 22, 24, 25 et 26 adressent uniquement des concepts restrictifs ayant déjà été formulés par l' équipe lors de précédentes sessions (il s'agit de concepts appartenant au premier C-K réalisé).

Ces résultats permettent de valider les hypothèses formulées précédemment :

(1) Un média non-verbal introduisant une connaissance compatible permet de générer facilement des concepts restrictifs, mais peu de concepts expansifs

(2) Un média non-verbal introduisant une connaissance incompatible permet de générer des concepts expansifs mais avec une faible fluidité

(3) Le ratio (Concepts expansifs produits suite à l'introduction d'une connaissance incompatible / Concepts restrictifs produits suite à l'introduction d'une connaissance compatible) devrait donc être très faible

2.3. Impact des images sur les espaces C et K : provoquer le K-preordering à l'aide du non-verbal

Pour aller plus loin, il reste cependant à mieux comprendre les mécanismes par lesquels certaines images permettent d'atteindre des concepts expansifs. En effet, le fait que un exemple expansif favorise la défixation ne trouve pas d'explication claire dans la littérature. Une première réponse pourrait être que cet exemple expansif agit comme une autorité créatrice (Agogué, 2012) : les participants à la tâche de créativité auront tendance à suivre l'autorité, qui peut être incarnée par un chercheur ou même par un protocole de créativité. Ainsi, si le protocole comporte un exemple expansif, les participants seraient incités à formuler des idées très originales (cela peut venir d'un effet de mimétisme, ou encore du fait, qu'inconsciemment, les participants se sentent autorisés à aller vers des solutions en rupture). Cependant, si l'effet d'autorité est probablement impliqué dans notre cas, il ne faut pas oublier que les images présentent des exemples de connaissances et non des exemples de solutions, comme c'est le cas dans les études de créativité. Ainsi des hypothèses supplémentaires pourraient être formulées afin de mieux comprendre comment certaines images favorisent tout particulièrement la génération de concepts expansifs.

Tout d'abord, la génération d'un concept original pourrait relever d'un mécanisme de type ∂K->∂C, où une nouvelle connaissance est utilisée pour formuler un concept original (voir figure ci-après). Dans notre cas, la connaissance portant sur le dancefloor piézoélectrique a par exemple permis d'aboutir à des concepts expansifs tels celui d'un système de recharge de VE permettant de réunir une communauté (une communauté de « chargeurs »). Un certain nombre de connaissances adressant la production d'électricité ont ainsi permis de générer un concept facilement, et ce, car elles découlaient d'une extension directe des bases de K0. De la même façon, de nombreuses images de G1 ont ainsi permis de générer des concepts originaux.

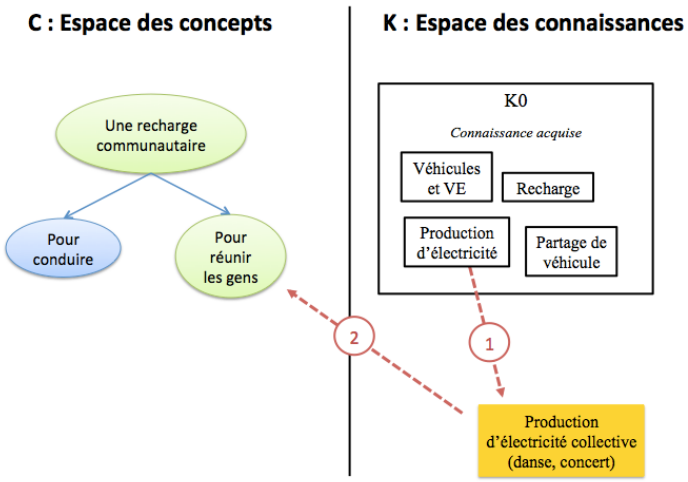


Figure 56. Génération de concepts résultant l'utilisation directe d'une nouvelle connaissance

De la même façon, il aurait été possible que les images de G2 aient généré des concepts selon le même mécanisme. Mais ce ne fut pas le cas ici. Un grand nombre d'images appartenant à G2 n'ont tout d'abord pas abouti à une génération de concepts, les participants n'ayant pas réussi à identifier un lien entre ces images et le sujet initial. En effet, le premier impact de ce type d'image ne concernait pas l'espace C mais l'espace K, et ce, via une rediscussion du lien entre la connaissance portée par l'image et le sujet initial. Même si elles semblaient quelque peu éloignées du C0, les images du groupe G2 ont pourtant été jugées par le designer pertinentes au regard du thème. En revanche, la connaissance qu'elles portaient ne résultait pas d'une simple extension des bases naturellement associées au C0 et le designer lui-même a éprouvé des difficultés à décrire le mécanisme selon lequel il avait choisi ce type d'images. Créer un lien entre le C0 et la connaissance introduite par les images de G2 nécessitait ainsi un effort cognitif particulièrement important de la part des participants. On remarque par ailleurs que les images de G2 ayant abouti à une idée ont par ailleurs introduit une importante disruption au sein de l'espace K. Une telle disruption conduisait à reconsidérer les règles existantes au sein de l'espace K. Par exemple, l'image du piano en gare semble en effet assez éloignée du thème de la recharge VE.

Cependant, ce piano – objet privé dans un espace public – adresse la question de la frontière entre les sphères privées et publiques. Cette question est au cœur de la problématique de la recharge communautaire : le principal point sensible du partage de bornes de recharge réside en effet dans l'accès à la propriété privée, compte tenu du fait que les sphères publiques et privées ne sont pas supposées se rencontrer. Ceci constituait inconsciemment une forte contrainte pour l'équipe. L'image du piano en gare montre cependant qu'un point de rencontre entre les deux sphères est possible : le piano, bien que mis à disposition de tous, ne subit que rarement des dégradations, contrairement à d'autres éléments de mobilier urbain (bancs, poteaux, etc..). De la connaissance supplémentaire concernant les pianos en gare (propriété, maintenance, comportement des utilisateurs) doit alors être acquise afin de mieux comprendre ce qui fait le succès de ce point de rencontre entre espaces privé et public. Cette image du piano a ainsi provoqué un Knowledge-preordering entraînant un changement des règles régissant la base de connaissance initiale. Une fois la connaissance réorganisée, de nouvelles règles gouvernant l'espace K ont pu ainsi apparaître et favoriser ensuite la génération de nouveaux concepts (voir figure ci-après).

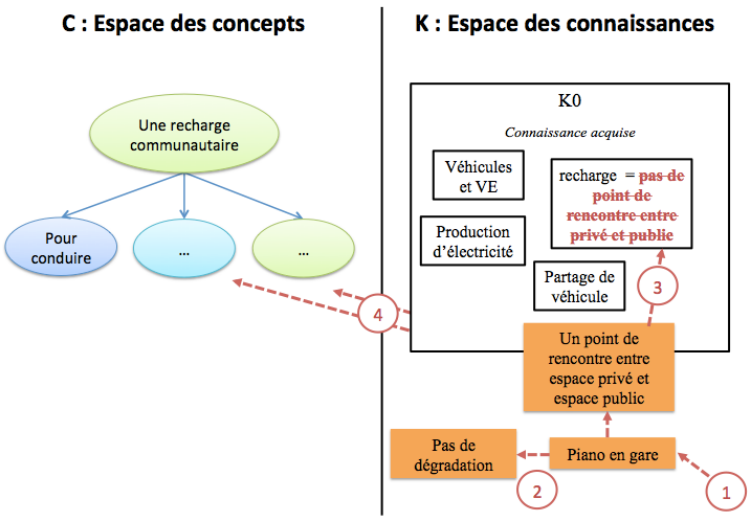


Figure 57. Génération de concepts résultant d'une réorganisation de l'espace K : cette réorganisation est provoquée par l'introduction d'une connaissance non compatible avec la structure de K0

Ainsi, de façon très surprenante, les images de G2 ont permis de générer des concepts originaux, non pas parce qu'elles présentaient de la connaissance originale, mais parce que cette connaissance répondait à de nouvelles règles impliquant une réorganisation générative de l'espace K. Il est aussi important de rappeler que cette capacité à réorganiser K0 ne dépend pas de la proximité à K0 mais de la non-compatibilité à la structure de K0. Si la connaissance portée par les images ne s'insère pas naturellement au sein de structure initiale de K, ou encore, répond à des règles différentes de celles qui gouvernent K0, une réorganisation de l'espace K sera nécessaire afin de pouvoir intégrer cette nouvelle connaissance à l'exploration conceptuelle. Afin de créer une connexion entre cette nouvelle connaissance et K0, il sera alors nécessaire d'étendre la connaissance, à la fois à partir de la base K0 et à partir de la nouvelle connaissance introduite.

Dans ce chapitre, nous avons ainsi montré que la restructuration des connaissances dépend de la connaissance introduite par le média non-verbal mobilisé. Ainsi, l'usage du non-verbal ne garantit pas à lui seul d'obtenir des effets génératifs, et encore moins de favoriser le phénomène de K-preordering. Les médias non-verbaux favorisant la restructuration sont en effet ceux étant susceptibles d'apporter au concepteur une connaissance incompatible, le conduisant ainsi à repenser les liens existant entre les connaissances. Par ailleurs, cette opération de restructuration n'est pas toujours évidente et nécessite un effort cognitif important. La fluidité de d'une exploration reposant sur le K-preordering pourrait alors être améliorer en imaginant des méthodes qui aideraient à soutenir cet effort cognitif. Cela pourrait être réalisé, d'une part, en explicitant les règles de la base de connaissances remises en cause par la connaissance incompatible introduite, et d'autre part, en favorisant la création de nouveaux liens entre connaissances à l'aide d'un apport agile de nouvelles connaissances. Il pourrait ainsi être intéressant de développer différentes méthodologies

pratiques favorisant le K-preordering en session de créativité. Par ailleurs, outre l'aspect cognitif, il est nécessaire de regarder le rôle tenu par le contexte organisationnel dans la performance du non-verbal en session de génération d'idées. La façon dont les acteurs s'organisent et communiquent entre eux afin de générer des idées est en effet tout aussi susceptible d'impacter la performance du non-verbal.

Chapitre X – Le pilotage de la performance du non-verbal : conditions nécessaires de réussite et rôle du leader créatif

À partir de l'étude des dessins d'architecte, nous pouvons d'ores et déjà formuler quelques hypothèses concernant les conditions favorisant la restructuration générative des connaissances via le non-verbal. Le cas des architectes constitue en effet une référence en matière d'organisation collective de la restructuration des connaissances à l'aide du non-verbal : dans la troisième séquence de dessins que nous avons étudiée - séquence qui réunit le patron de l'agence T/E/S/S et trois autres architectes - le concepteur sait parfaitement comment utiliser le dessin pour servir ses propres objectifs et améliorer la créativité d'un groupe. Afin de favoriser la générativité des médias non-verbaux en session collective, on peut ainsi supposer que **(i) l'effet produit par le non-verbal doit être cohérent avec les attentes du leader de session.** De plus, dans le cas du dessin d'architecte, les autres participants à la réunion étaient également experts du non-verbal : ils étaient tous rompus dans la lecture du dessin d'architecte. Par ailleurs, le concepteur commentait ses dessins au cours de la réunion, ce qui permettait aux participants d'accéder à toute l'information nécessaire. Ainsi, **(ii) les participants étaient capables d'interpréter le média non-verbal utilisé pendant la session et d'en extraire des informations nouvelles (concepts et connaissances)**. Enfin, tous les dessins étaient produits par un expert du non-verbal qui maîtrisait parfaitement le pouvoir expansif de son média. Ainsi, **(iii) les médias non-verbaux produits possédaient un fort pouvoir génératif**.

Dans ce chapitre, nous présentons ainsi une comparaison de quatre cas dans lesquels un média non-verbal fut utilisé en session collective à des fins génératives. La comparaison de la performance relative du non-verbal dans ces quatre cas permettra de vérifier si les trois facteurs présentés ci-dessus constituent effectivement des conditions nécessaires à la générativité du non-verbal en session collective. Nous proposerons par ailleurs une nouvelle figure d'acteur pour piloter les effets génératifs du non-verbal en conception collective.

1. Etudier l'impact de la dynamique collective sur la générativité du non-verbal : une comparaison de quatre cas de conception

Les cas sélectionnés pour cette étude correspondent à des sessions de génération d'idées durant lesquelles des leaders créatifs ont souhaité mobiliser du non-verbal dans le but de favoriser la créativité de leurs équipes. Afin d'identifier les conditions nécessaires au succès de l'usage des médias non-verbaux, nous avons sélectionné des cas faisant intervenir différents types de médias non-verbaux, différents contextes organisationnels (composition de l'équipe, interactions entre parties prenantes, etc.) et différents protocoles de génération d'idées.

1.1. Présentation des cas étudiés : différents types de médias non-verbaux et différents contextes organisationnels

Le premier cas (Cas 1) correspond à une réunion lors de laquelle le directeur de l'agence T/E/S/S a réalisé une série de dessins afin de faire avancer une réflexion menée avec trois autres architectes (un architecte de son agence, et deux architectes appartenant à une autre agence) (voir Partie

III). Puisque l'architecte est rompu à l'usage génératif du non-verbal, nous avons utilisé ce cas comme cas de référence pour l'usage des médias non-verbaux en conception collective. Dans ce premier cas, l'architecte menait une discussion de groupe visant à rechercher des solutions innovantes pour la rénovation d'une façade de commissariat. L'architecte a utilisé le dessin dans le but de générer lui-même de nouvelles idées, et également, de donner d'autres idées au groupe. La séquence de dessins qui en résulte représente une vingtaine de pages de carnet (format A5). Trois de ces pages sont présentées dans la figure ci-après.

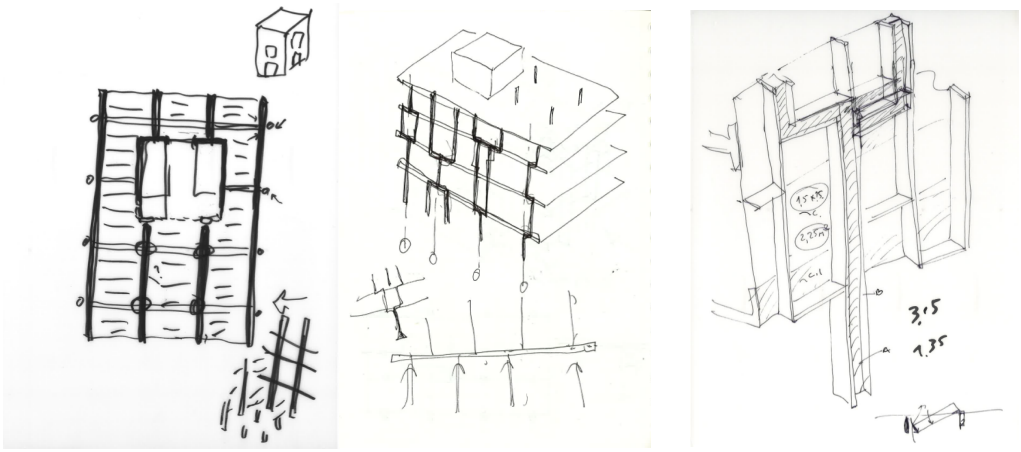


Figure 58. Extrait de la séquence de dessins réalisée par l'architecte de T/E/S/S

Le second cas correspond à une session de créativité menée suivant la méthode KCP (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2009) (Cas 2). La session a été tenue au sein de la RATP (groupe de transport français) et correspond à une session de génération d'idées associée à une phase C de processus KCP (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2009). Les participants étaient séparés en différents groupes et étaient chargés de générer des idées en lien avec un concept donné en début de session. Pendant la séance, un illustrateur expérimenté a été mobilisé afin de produire des dessins en lien avec les idées discutées par le groupe. Ces dessins étaient destinés à donner de nouvelles idées aux participants, et permettre ainsi d'augmenter la générativité du

groupe. L'illustrateur pouvait produire des dessins inspirés par les conversations des participants mais pouvait également être directement sollicité pour dessiner des objets ou des idées spécifiques. Pendant la séance, l'illustrateur a travaillé, de façon successive, avec deux groupes composés de cinq ou six participants. Un chef de projet innovation de la RATP ainsi que deux consultants externes, experts en KCP, aidaient également les participants à trouver de nouveaux concepts.

Dans le troisième cas, la session de créativité portait sur le thème de « la petite annonce 3.0 », en relation avec l'internet des objets (Cas 3). La session s'est déroulée au sein du groupe automobile Renault mais dépendait des activités de la Communauté d'Innovation Renault impliquant plusieurs grandes entreprises. Les participants étaient invités à dessiner leurs idées (des mots pouvaient également être ajoutés aux dessins) et devaient partager leurs dessins au reste du groupe immédiatement après leur production. Les dessins étaient ensuite accrochés au mur. Après cette session de « brainsketching » (Van der Lugt, 2002), les participants furent chargés de regrouper les différents dessins en différentes familles d'idées, puis de sélectionner les meilleures idées.

Le dernier cas (Cas 4) correspond à l'étude présentée en Chapitre IX : il s'agit de la préparation d'une session de créativité menée par un designer expérimenté au sein du groupe Renault. Un chef de projet Renault avait souhaité faire intervenir un designer freelance, externe à la compagnie, dans le but d'expérimenter l'impact de ses méthodes sur la créativité de groupe. Le sujet de la session de créativité était « la recharge communautaire », sujet qui devait permettre de concevoir de nouveaux services de recharge VE s'appuyant sur des communautés d'usagers. Pour soutenir la créativité du groupe, le designer avait sélectionné un panel d'images apparaissant plus ou moins reliées au sujet de initial. Ces images constituaient ainsi un jeu de cartes composé d'une cinquantaine de cartes. Quelques mots furent ajoutés

aux images afin de leur donner un titre (voir figure ci-après). Ce jeu de cartes fut utilisé afin de donner de nouvelles idées à l'équipe restreinte impliquée dans la préparation de la session finale. Lors d'une session de préparation, le designer a montré aux participants les différentes images et leur a demandé de s'en inspirer afin de générer de nouvelles idées.

Figure 59. Quelques images du jeu de cartes

1.2. Analyser l'impact du non-verbal en conception collective : contribution du non-verbal au processus créatif et influence des parties prenantes

Concernant la récolte de données, les données du Cas 1 proviennent d'entretiens rétrospectifs réalisés avec l'architecte, tandis que les données des trois autres cas proviennent de notes prises durant les différentes sessions de créativité. Pour chaque cas et dans le but de faciliter la comparaison entre cas, il était essentiel d'expliciter les contextes cognitifs et organisationnels mis en jeu. Le contexte cognitif correspond au protocole de génération d'idées mobilisé, tandis que le contexte organisationnel correspond aux interactions entre parties prenantes. Pour chacun des quatre cas, nous avons identifié les différents jeux d'acteurs impliqués – chef de projet, facilitateur, expert du non-verbal (designer, illustrateur, architecte,…),

participants à la session – et explicité leurs interactions. En particulier, nous avons établi un modèle décrivant ces interactions ainsi que la nature de l'usage du non-verbal pour chaque cas : le modèle précise quels acteurs produisent le média non-verbal (générateurs), lesquels le reçoivent dans le but de générer de nouvelles idées (récepteurs). Le modèle précise également le type de média non-verbal mobilisé (images, maquette, lego…) ainsi que l'acteur qui était chargé d'endosser la figure de leader créatif. Une telle figure d'acteur correspondait à la personne qui était supposée aider l'équipe à générer de nouvelles idées et ainsi favoriser la créativité du groupe.

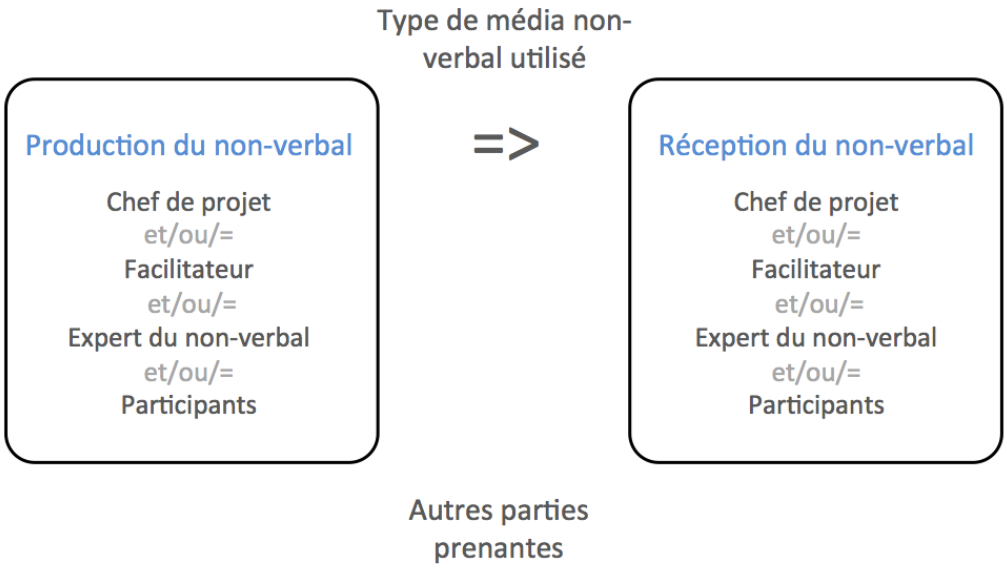


Figure 60. Modélisation des contextes cognitifs et organisationnels

Dans le but d'analyser l'impact cognitif des médias non-verbaux, il était essentiel de comprendre de quelle façon les nouvelles informations apportées par ces médias pouvait influencer l'émergence de nouvelles idées. Il était ainsi nécessaire de modéliser (1) le raisonnement de conception impliqué dans l'émergence de nouvelles idées et (2) l'impact des médias non-verbaux sur ce raisonnement. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la méthode d'analyse de l'apport du non-verbal déjà mobilisée au Chapitre V

de la Partie III et s'appuyant sur la théorie C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). Afin d'analyser un raisonnement de conception porté par le non-verbal, cette méthode introduit quatre nouveaux opérateurs de conception décrivant la façon dont le concepteur interagit avec son média non-verbal : C->D, K->D, D->C et D->K. Les opérateurs D->C et D->K se réfèrent en particulier à la contribution directe des médias non-verbaux au raisonnement de conception : ils permettent d'identifier si ces derniers apportent aux participants de nouveaux concepts ou de nouvelles connaissances. Ainsi, pour chaque cas, les opérateurs D->C et D->K impliqués ont été identifiés dans le but de mettre en évidence l'impact du non-verbal dans le processus de conception. Par ailleurs, lorsqu'un concept est inspiré par le non-verbal, ce concept peut aussi bien être restrictif qu'expansif. De la même façon, les éléments de connaissances apportées par les médias non-verbaux peuvent avoir un statut restrictif ou expansif (Hatchuel & Weil, 2003, Agogué et al, 2013). De plus, certaines connaissances peuvent se révéler compatibles ou incompatibles à la structure des connaissances déjà mobilisée par l'équipe en rapport avec le sujet traité : par exemple, dans le Cas 1, les éléments architecturaux, les attentes esthétiques, les critères d'évaluation, tout comme la stabilité ou le coût, constituent des connaissances K compatibles avec la structure de K mobilisée pour traiter de la rénovation d'une façade de commissariat. Certaines connaissances apparaissent en revanche incompatibles. Par exemple, la connaissance « puzzle » n'apparaît pas aisément compatible à la structure de connaissance mobilisée pour une exploration portant sur les bâtiments. Ainsi, une distinction a été réalisée entre les connaissances compatibles notées K, et les connaissances incompatibles notées K*. Les concepts étant toujours formulés en lien avec le concept initial qu'il raffinent (voir Partie IV), une telle distinction n'a pas été effectuée pour les concepts introduits par les médias non-verbaux. De plus, quand cela fut possible, nous avons analysé l'impact des nouvelles connaissances apportées par le non-verbal, à la fois sur l'espace C et sur l'espace K : d'une part, un nouvel élément K peut directement générer un

nouveau concept, ainsi étendant l'espace C ; d'autre part, les nouvelles connaissances peuvent favoriser la restructuration de l'espace K (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2016). Cette réorganisation de la base K peut ainsi ouvrir de nouvelles voies d'innovation et aboutir à de nouveaux concepts qui n'auraient pu être atteints sans une telle restructuration.

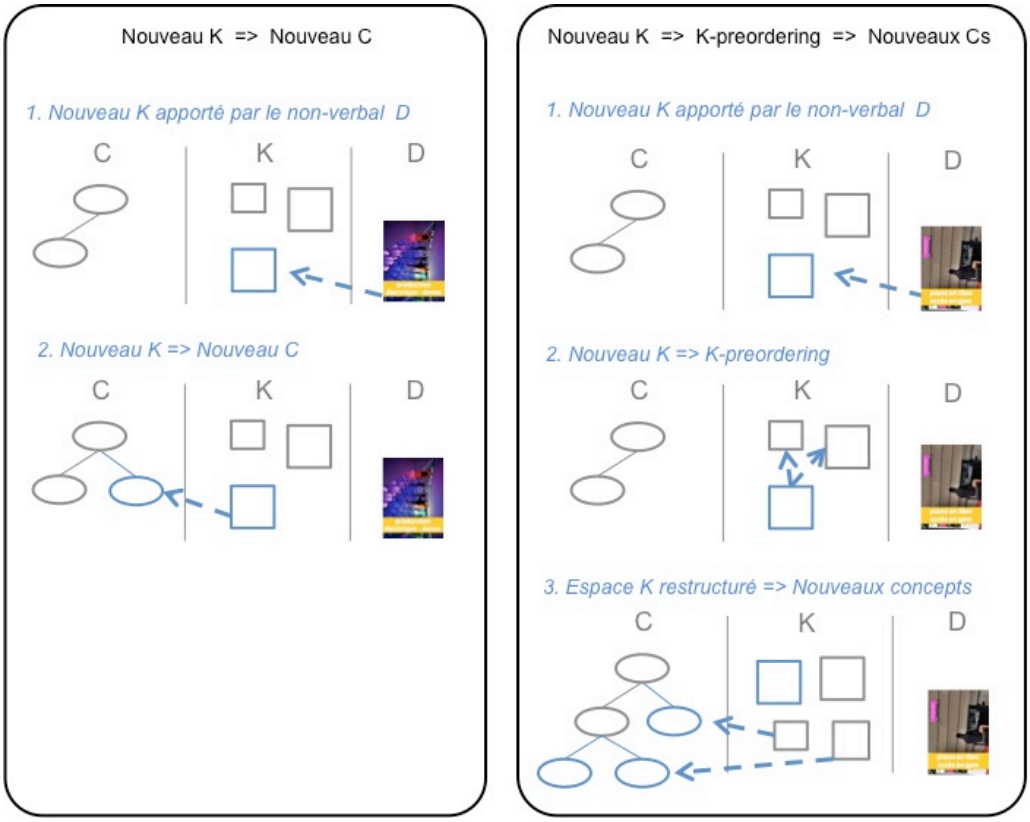


Figure 61. Deux types d'impacts de la nouvelle connaissance : impact sur C et impact sur K

Une analyse de l'impact cognitif des médias non-verbaux n'est pas suffisante pour expliquer la façon dont le non-verbal influence la génération d'idées collective. En créativité, des facteurs organisationnels doivent aussi être considérés en plus des facteurs cognitifs afin d'analyser la performance d'une session de créativité (Diehl & Stroebe, 1987 ; Mullen et al, 1991 ; Stroebe & Diehl, 1994 ; Kohn & Smith, 2010). Étudier l'influence de

l'interaction entre parties prenantes était donc nécessaire pour comprendre les effets du non-verbal dans les quatre cas. Nous avons ensuite évalué l'écart entre les résultats attendus au vu du protocole de génération d'idées mobilisé et les résultats effectivement obtenus. Pour ce faire, nous avons comparé les types d'opérateurs de conception impliqués (D->C et D->K) avec ceux attendus au vu du protocole de créativité énoncé lors de chaque session. Nous avons également estimé la performance du protocole en nous intéressant à l'occurrence des différents opérateurs. En comparant les quatre cas, nous pouvons alors vérifier les hypothèses formulées en début de chapitre sur les conditions nécessaires à la performance du non-verbal en session collective. Ceci permet de proposer des explications à certaines différences apparaissant dans certains cas entre les attentes du leader de session et les résultats obtenus. Les conditions nécessaires de réussite identifiées constitueront ainsi des leviers permettant aux différents acteurs, et en particulier au leader créatif, d'améliorer la performance du non-verbal en jouant à la fois sur des niveaux cognitifs et organisationnels.

2. Proposition de moyens de contrôle relatifs à la performance du non-verbal : analyse de la capacité à restructurer la base K

Afin d'identifier les facteurs pilotant la performance du non-verbal pour la restructuration des connaissances, nous avons comparé quatre sessions de conception collective mobilisant le non-verbal à des fins génératives. La comparaison des différentes performances du non-verbal en fonction des protocoles et des contextes organisationnels mis en place a permis d'identifier un certain nombre de conditions nécessaires à l'usage génératif des médias non-verbaux.

2.1. Des contextes d'usage du non-verbal variés

La figure ci-dessous résume les contextes cognitifs et organisationnels associés à chaque cas. Dans le Cas 1, l'architecte menant la discussion a travaillé sans expliciter de protocole. Il s'attendait à ce que le dessin favorise la génération d'idées, pour lui-même mais également pour les autres architectes assistant à la session. L'architecte incarnait donc la figure de leader créatif. Au cours de cette session, il a par ailleurs tenu trois rôles : le rôle d'expert du non-verbal puisqu'il était habitué à utiliser le dessin afin de faire émerger de nouvelles idées, le rôle de chef de projet puisqu'il était responsable du déroulement de la session et de ses résultats, et enfin, le rôle de facilitateur puisque c'est lui qui animait la discussion afin de faire avancer la génération d'idées. D'autre part, les autres participants à la session étaient positionnés en récepteurs des dessins. Puisque ces derniers étaient également des architectes expérimentés, ils étaient eux-aussi experts du non-verbal.

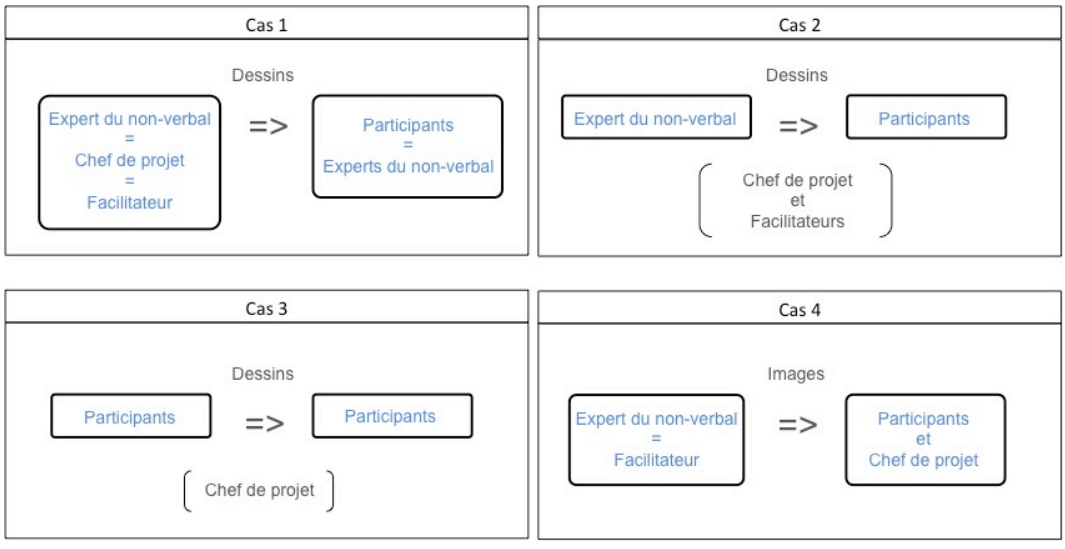


Figure 62. Contextes cognitif et organisationnel pour chacun des quatre cas d'étude

Dans le Cas 2, les participants devaient trouver de nouvelles idées à partir de dessins produits par un illustrateur. Au début de la session, il leur fut explicitement demandé de trouver de nouveaux concepts et de s'inspirer des dessins pour produire de nouvelles idées. L'illustrateur était assis à la même table que le groupe pour lequel il produisait les dessins. Ses illustrations étaient présentées sur un écran d'ordinateur tourné vers les participants. Cependant, du point de vue des participants et de l'entreprise, les personnes chargées d'endosser le rôle de leader créatif étaient un chef de projet innovation et deux consultants experts de la méthode KCP (et non l'illustrateur). Par ailleurs, les deux consultants externes se posaient en facilitateurs de session tandis que le responsable innovation endossait le rôle du chef de projet garant des résultats de la session.

Dans le Cas 3, il était demandé aux participants de dessiner chaque idée sur une feuille blanche et de les partager immédiatement avec les autres participants en commentant leurs dessins. Même si les participants n'étaient pas experts dans l'usage du dessin pour la génération d'idées, ils ont tout de même dû assurer la production des médias non-verbaux. Ils étaient également les bénéficiaires des ces mêmes dessins (récepteurs) puisqu'ils devaient les utiliser pour produire de nouveaux concepts. Pendant la session de génération d'idées, aucune partie prenante n'a réellement endossé le rôle de facilitateur : les groupes ont bien reçu des instructions en début de session mais aucun protocole particulier n'a été employé par la suite pour favoriser la génération d'idées en cours de séance. De plus, la session était considérée comme une expérimentation intégrant les activités de la Communauté d'innovation Renault. Le chef de projet était ainsi externe à l'entreprise qui accueillait la session de génération d'idées.

Dans le Cas 4, le designer a utilisé des images pour inspirer les participants : au cours de la session, il a pris le temps de présenter au groupe les différentes images ainsi que leurs titres. Il fut explicitement demandé aux participants de générer des idées à partir des images. Par ailleurs, le designer était habitué à utiliser des médias non-verbaux (et en particulier des images)

pour favoriser la génération d'idées : il était ainsi à la fois expert du non-verbal et facilitateur de la session. Le chef de projet Renault, qui avait chargé le designer de l'animation de la session, jouait quant à lui le rôle de participant et avait souhaité se mêler au groupe afin d'évaluer l'impact de la méthode.

2.2. Une performance du non-verbal contrastée selon le contexte cognitif et organisationnel mobilisé

Dans le Cas 1, tous les opérateurs D->K et D->C identifiés ont été générés par le leader (l'architecte). Par exemple, en portant un regard réflexif sur le premier dessin de la figure ci-après, l'architecte a considéré que le squelette de la façade pouvait en fait se fondre derrière le système de brise-soleil qu'il était en train d'imaginer : les deux systèmes pouvaient ainsi sembler être un seul système. Dans ce cas, le dessin apporte directement un concept à l'architecte (« un seul système visible, composé en fait de deux systèmes ») : cela correspond à une opération D->C. Par ailleurs, en regardant le second dessin présenté ci-après, l'architecte explique que le système global lui faisait penser à des cellules observées au microscope : cela correspondait à une opération D->K* puisque le dessin apportait à l'architecte une connaissance qui n'apparaissait pas compatible avec la structure de connaissance mobilisée initialement sur le thème de la façade. Dans le Cas 1, nous avons ainsi identifié 19 opérateurs D->K (dont 5 opérateurs D->K*) et 4 opérateurs D->C (L'occurrence des opérateurs relatifs aux différents cas est résumé dans un tableau quelques pages plus loin).

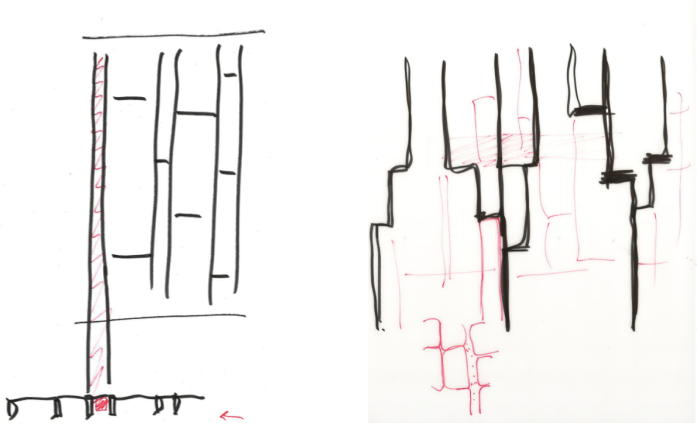


Figure 63. Exemples de dessins ayant induits des opérations D->C et D->K

Dans le Cas 2, aucune interaction ne fut observée entre l'illustrateur et les différents groupes : certains participants regardaient les dessins de temps en temps mais aucune réaction n'a été faite en rapport à ces dessins. Ainsi, bien que ces opérations eussent été souhaitées par les organisateurs, aucune opération D->C ou D->K n'eu lieu pendant la session. À la fin de la session, l'illustrateur a cependant pu montrer son travail à l'ensemble des groupes via une présentation Power Point. Cette présentation fut néanmoins menée sous une forme informative et non dans le but de poursuivre la session de créativité. En revanche, les dessins réalisés par l'illustrateur présentaient effectivement des connaissances et des concepts originaux au regard du thème traité : l'illustrateur avait été par exemple jusqu'à dessiner des fantômes ou encore un avis de recherche. De la même façon, beaucoup d'éléments de connaissance introduits par l'illustrateur dans son discours apparaissaient très originaux, et parfois, incompatibles à la structure des connaissances associée au sujet initial.

Dans le cas 3, les participants devaient présenter les idées sous forme de dessins réalisés par leurs soins, pour ensuite les présenter au reste du groupe : le protocole donné correspondait ainsi à des opérations K_i->D_i->K_i et C_i-> D_i->C_i : la connaissance (ou concept) apportée par le dessin à l'ensemble du groupe était exactement la même que celle que le participant

avait mis dans son dessin. À l'inverse, peu d'opérations K_i/C_i->D_i->K_j/C_j, opérations qui correspondent à l'émergence d'informations totalement nouvelles, ne furent observées pendant la session. Les dessins ont ainsi constitué un moyen alternatif - en complément des mots - au partage de connaissances et de concepts, mais ce, sans apporter beaucoup d'information nouvelle aux participants. Les dessins ont ainsi joué un rôle d'intermédiaire entre le participant s'adressant au groupe et les autres membres du groupe. De plus, le fait que les dessins aient été fixés au mur, et ainsi rendus accessibles à l'ensemble des participants, a offert un meilleur accès aux éléments C et K partagés précédemment par le groupe. 10 opérations D->C et 11 opérations D->K ont eu lieu pendant la session. La plupart d'entre elles correspondent à ce rôle d'intermédiaire tenu par les dessin, à l'exception de deux opérations D->K, qui se réfèrent à la réinterprétation du dessin d'autrui. L'une de ses opérations D->K correspond en réalité à une déviation du protocole : certains participants à la session ne parlaient pas français et un membre de l'équipe a donc dû expliquer en quoi consistait une petite annonce. Il a ainsi dessiner rapidement une petite annonce afin de montrer qu'elle forme cela avait. Il expliqua ensuite que l'on écrivait sur une petite annonce ce que l'on vendait ou ce dont on avait besoin et écrivit les mots « things », « job », « love ». Pendant la session, cette annonce - et en particulier le dernier mot écrit - donna l'idée à un participant qu'une petite annonce pouvait se référer à autre chose que des objets ou services classiques. Cela mena à un concept de petite annonce qui pouvait procurer des services « émotionnels » tels que des câlins, des bisous ou encore des vendredis après-midi de libres.

Dans le Cas 4, le protocole de génération d'idées consistait à apporter aux participants de la connaissance nouvelle à travers des images : un tel protocole correspond à des opérations de type D->K, où la connaissance est la même que celle utilisée par le designer pour produire les images du jeu de cartes. Certaines connaissances présentées sur les images avait déjà été partagées avec les participants lors de sessions précédentes : les images

correspondantes ne permirent pas d'étendre l'espace K. En revanche, 42 images parmi les 48 du jeu de cartes apportaient une nouvelle connaissance. Par ailleurs, certaines cartes possédaient des titres identiques, mais comme elles présentaient des images différentes, elles se référaient bien à des éléments de connaissances différents. Les participants utilisèrent ces nouveaux éléments K pour produire de nouveaux concepts. Cependant, les expansions réalisée en C correspondaient à des opérations de type K->C et non à des opérations directes D->C : chaque concept fut généré après l'introduction d'une connaissance nouvelle par une image. Ainsi, les images ne furent pas impliquées dans la production directe de nouveaux concepts à travers des opérations D->C. Parmi ces nouveaux éléments K apportés par les images, 11 étaient très originaux et paraissaient incompatibles à la structure de connaissance initiale : ce fut par exemple le cas de l'image du piano en libre service en gare, qui paraissait assez distante du sujet de la session portant sur la recharge communautaire.

Le tableau ci-après résume l'occurrence des opérateurs D->C et D->K pour chacun des cas. Il est important de souligner que les contributions de type D->K et D->C correspondent respectivement à des expansions de C et de K partagées par le groupe.

	Occurrence des opérateurs D->C and D->K	
Cas 1	D->K	19 (5 D->K*)
	D->C	4
Cas 2	D->K	0
	D->C	0
Cas 3	D->K	11 (2 D->K*)

	D->C	10
Cas 4	D->K	42 (11 D->K*)
	D->C	0

Tableau 4. Occurrence des opérateurs D->C et D->K

Afin d'évaluer pour chaque cas l'impact du non-verbal sur la structure des connaissances, et notamment la capacité de ce dernier à induire des phénomènes de K-preordering, nous avons décidé d'analyser plus finement l'effet produit par l'introduction de nouvelles connaissances.

Dans le Cas 1, l'introduction d'une connaissance nouvelle par le biais du non-verbal inspirait parfois directement de nouveaux concepts à l'architecte. Cependant, un autre effet relatif à la connaissance nouvelle a prévalu au cours de l'exploration (voir le tableau ci-avant). L'architecte était très précautionneux concernant les nouveaux éléments de K apportés par le dessin : il choisissait de travailler de façon approfondie avec certains éléments, pour parfois les éliminer de sa base de connaissance lorsque ces derniers ne lui convenaient plus. L'architecte a ainsi construit une base de connaissance réduite, base qui a ensuite favorisé la production d'un nouvel objet. Cela correspond à une restructuration de la base de connaissances : les nouvelles connaissances introduites par le non-verbal et conservées par l'architecte ont en effet entraîné une réorganisation générative de la base K. Dans le Cas 2, rien ne peut être dit concernant l'impact des nouvelles connaissances introduites par le non-verbal puisque les participants n'ont pas su extraire et exploiter par eux-mêmes cette nouvelle connaissance. Concernant la séance de brainsketching du Cas 3, deux opérations de type K -> C ont été observées (dont une opération K*->C). Cependant, aucun effet de restructuration de la base de connaissances partagée par les participants n'a été observé. L'impact des nouvelles connaissances s'est en effet limité à une

expansion classique de l'espace K. Enfin, dans le Cas 4, l'introduction de connaissances ayant été préalablement partagées par le groupe n'a pas eu d'impact sur l'expansion des espaces C ou K. En revanche, l'introduction de connaissances nouvelles a produit deux types d'effets : tout d'abord, un impact direct en termes d'expansion de l'espace C via des opérations de type K -> C, et d'autre part, un effet de restructuration de la base de connaissances. Par ailleurs, les éléments K compatibles avec la base de connaissance ont induit des expansions directes de l'espace C, tandis que les éléments K* incompatibles avec la structure de connaissances ont plutôt induit des restructurations de l'espace K. Pour plus de détails concernant l'impact des nouvelles connaissances introduites par les médias non-verbaux dans le Cas 4, nous renvoyons le lecteur à l'analyse détaillée présentée au Chapitre IX.

En ce qui concerne la performance du non-verbal pour la restructuration de la base de connaissances des participants, il est à noter que la nature du média non-verbal utilisé ne s'est pas révélée déterminante lors de notre analyse comparative : en effet, nous avons vu à la fois des cas d'usage du dessin performants et des cas d'usage non performants. Par ailleurs, si nous savions que le dessin pouvait se révéler particulièrement efficace pour la restructuration générative des connaissances, notre analyse nous a également permis de constater que l'usage des images pouvait aussi induire d'importants effets de restructuration de l'espace K et ainsi aboutir à des effets génératifs intéressants. Enfin, l'observation de ces performances inégales du non-verbal nous a conduit à réfléchir aux conditions nécessaires à la générativité du non-verbal. La section suivante propose ainsi trois conditions qu'il est important de réunir afin d'assurer l'efficacité de l'usage du non-verbal pour la génération d'idées. Elle présente par ailleurs une réflexion portant sur l'identification d'une figure d'acteur susceptible de mettre en place ces conditions et de les maintenir tout au long de la session de créativité.

2.3. L'intervention nécessaire d'une figure d'acteur particulière : un leader créatif pour contrôler la mise en place des conditions nécessaires à la performance du non-verbal

Parmi nos quatre cas, le travail de l'architecte (Cas 1) constitue un cas de référence pour l'usage génératif du non-verbal en conception collective : l'architecte maîtrise parfaitement l'utilisation du non-verbal et est habitué, de par sa formation et son métier, à générer de nouvelles idées par la pratique du dessin. À partir du cas de l'architecte, on peut ainsi proposer trois facteurs tendant à favoriser le bon usage du non-verbal en session de créativité. Tout d'abord, dans le Cas 1, l'architecte qui produit les médias non-verbaux en groupe tenait également le rôle de leader créatif (il était en charge de favoriser la créativité du groupe) : il générait ainsi des dessins qui soutenaient parfaitement ses objectifs. Ainsi **(i) l'effet produit par le non-verbal était cohérent avec les attentes du leader créatif**. De plus, les participants à la réunion étaient également experts du non-verbal et donc susceptibles de comprendre les informations portées par des médias non-verbaux par ailleurs commentés par l'architecte au cours de leur production. Ainsi, **(ii) les participants étaient capables d'interpréter le média non-verbal utilisé pendant la session et d'en extraire des informations nouvelles (concepts et connaissances)**. Enfin, dans le Cas 1, tous les dessins étaient produits par un expert maîtrisant parfaitement le pouvoir expansif de son média non-verbal. Ainsi, **(iii) les médias non-verbaux produits possédaient un fort pouvoir génératif**. De plus, l'architecte travaillait majoritairement en K. Grâce à des connaissances qui n'apparaissaient pas directement liées au sujet – les éléments K* incompatibles avec la structure de connaissance initiale -, l'architecte a pu opérer une réorganisation de l'espace K. Le pouvoir génératif des dessins était ainsi fortement lié à leur capacité à prodiguer à l'architecte ces fameuses connaissances K*. Dans le cas des sessions de génération d'idées, il

est ainsi possible que les médias non-verbaux apportant principalement aux participants des éléments de type K* présentent un bon pouvoir génératif.

Afin de vérifier si les trois conditions formulées précédemment constituent effectivement des conditions nécessaires à la performance du non-verbal, nous allons à présent regarder, pour chacun des trois autres cas, si le fait de réunir ou non ces conditions coïncide bien avec l'obtention d'effets génératifs. Dans les Cas 2 et 3, l'effet produit par le non-verbal n'était pas l'effet attendu par le leader créatif. Dans le cas du KCP avec illustrateur (Cas 2), même si les leaders avaient indiqué de façon explicite qu'ils souhaitaient que les dessins soient utilisés afin de générer de nouvelles idées, les participants n'ont cependant pas réussi à exploiter les dessins par eux-mêmes : il n'y a donc eu aucune interaction entre les participants et les dessins produits par l'illustrateur. Le fait de rendre accessibles ces médias non-verbaux au groupe n'était donc pas suffisant pour lui apporter de façon effective des connaissances nouvelles et de nouveaux concepts. Les participants n'ont ainsi pas su exploiter le non-verbal lors de la session : la condition (ii) n'était pas satisfaite. En effet, l'association entre un média non-verbal et de nouveaux concepts ou connaissances n'est pas toujours évidente pour les participants. Chercher à favoriser l'expression de nouveaux éléments C ou K à partir du non-verbal peut ainsi contribuer à la générativité des médias mobilisés. De cette façon, le discours qui accompagne le recours au non-verbal – par exemple, les instructions données aux participants par le leader créatif, tout comme les commentaires ou les explications fournies par l'expert du non-verbal – se révèle essentiel à la performance du non-verbal. Dans le cas du brainsketching (Cas 3), les participants ont rarement exploité les dessins produits par autrui afin de générer de nouvelles idées. Deux explications peuvent être données à ce phénomène. D'une part, les dessins produits par les participants ne présentaient qu'un faible pouvoir génératif : en effet, les participants n'étaient a priori pas rompus à l'usage du dessin pour générer des idées originales et ne savaient pas comment produire des

croquis génératifs. Ainsi, la condition (iii) n'était pas vérifiée. D'autre part, les participants n'étaient pas habitués à extraire des informations à partir de dessins. La condition (ii) n'était donc pas satisfaite. De plus, il avait été demandé aux participants de générer de nouvelles idées sous la forme de dessins mais il ne leur a pas été explicitement demandé de se baser sur ces mêmes dessins pour générer les idées suivantes (ce qui était pourtant une attente du leader créatif). Des instructions plus explicites et un travail de facilitation auraient éventuellement permis aux participants d'améliorer leur créativité. Il peut cependant être noté que si les croquis produits n'ont que rarement permis de générer de nouvelles idées, la présentation des idées sous forme de dessins a en revanche aidé les participants à classer et à évaluer les idées en fin de session. Ces derniers se sont facilement rappelés des idées correspondant aux différents dessins, ce qui n'est pas toujours évident lorsque les idées sont traduites sous la forme d'un ou deux mots écrits sur un post-it).

Dans le cas des images (Cas 4), le designer est bien parvenu à donner aux participants de nouvelles idées à partir des médias mobilisés. L'effet du non-verbal était cohérent avec ses attentes (Condition i). De plus, les participants ont pu facilement interpréter les différentes images et ont réussi à exploiter l'information ainsi extraite afin de générer de nouvelles idées (Condition ii). Enfin, le designer avait construit un échantillon d'images varié, intégrant à la fois des connaissances classiques et des connaissances expansives : il maîtrisait très bien l'effet génératif du média non-verbal produit (Condition iii). Il peut cependant être noté que le leader de projet souhaitait que la session permette de générer un très grand nombre de concepts en rupture. Si le jeu de cartes avait comporté davantage d'éléments de type K* (au lieu des 11 sur 42 effectivement présents), la génération de concepts très originaux aurait pu être davantage favorisée. Il faut néanmoins rappeler que lors de cette session, les participants ont éprouvé davantage de difficultés à exploiter les éléments K* que les éléments K compatibles avec la

structure de connaissances : si la quantité d'éléments K* avait été plus importante, il est possible que la fluidité du groupe ait été plus faible.

La comparaison des effets génératifs obtenus dans ces quatre cas permet ainsi de proposer trois conditions nécessaires à la performance du non-verbal pour la génération d'idées. Ces trois conditions devront ainsi être mises en place afin de favoriser la restructuration générative des connaissances via le non-verbal :

Conditions nécessaires à la performance générative du non-verbal en session collective

CN1 : l'effet produit par le non-verbal est cohérent avec les attentes du leader créatif ;

CN2 : les participants peuvent interpréter facilement le média non-verbal utilisé pendant la session et en extraire des informations nouvelles (concepts et connaissances) ;

CN3 : les médias non-verbaux produits en session possèdent un fort pouvoir génératif.

Dans les différents cas observés, il peut être noté que les actions du leader créatif influent souvent sur la performance du non-verbal. Le leader créatif pourrait ainsi jouer un rôle majeur dans le pilotage des effets génératifs des médias non-verbaux. Tout d'abord, il pourrait en effet s'attacher à garantir la cohérence entre le protocole donné aux participants et les attentes relatives à l'usage du non-verbal (amélioration du traitement de l'information, de l'évaluation des idées, de la générativité du groupe, etc.). Le leader créatif pourrait ensuite s'assurer que les effets produits par les médias non-verbaux en cours de session correspondent bien aux effets attendus. Il pourrait ainsi aider les participants à extraire du non-verbal de nouveaux concepts ou de nouvelles connaissances. Il s'agirait ensuite d'aider les participants à relier les nouvelles connaissances à l'exploration en cours, et ce, selon les deux mécanismes observés dans l'étude : soit selon une expansion directe de l'espace des concepts, soit selon une restructuration de la base de connaissances du groupe, restructuration qui ouvre à son tour de nouvelles voies conceptuelles. Un leader créatif capable de faire émerger du non-verbal de nouvelles informations et d'anticiper leur impact sur la générativité pourrait ainsi aider à valoriser l'usage des médias non-verbaux en session de génération d'idées.

Conclusion de la partie V – Apports managériaux pour la conception innovante en collectif

Dans cette partie V, nous avons ainsi identifié trois conditions permettant de favoriser le phénomène de K-preordering lors des sessions de génération d'idées mobilisant des médias non-verbaux : tout d'abord, l'effet produit par le non-verbal doit être cohérent avec les attentes du leader, ensuite, les participants doivent pouvoir interpréter facilement le média utilisé et en extraire de nouvelles informations, et enfin, le média non-verbal doit posséder un fort pouvoir génératif. Par ailleurs, nous avons vu que le non-verbal semble constituer un support intéressant pour la restructuration des connaissances à condition qu'il soit de bonne qualité, c'est-à-dire, interprétable et génératif. Ce dernier aspect est le plus souvent associé à l'introduction de connaissances incompatibles avec la structure des connaissances alors mobilisée par le (ou les) concepteur(s). Une telle connaissance conduit le groupe à rediscuter les liens existants au sein de leur base de connaissances, et ainsi à ouvrir de nouvelles voies conceptuelles inaccessibles auparavant.

Par ailleurs, nous avons pu observer régulièrement deux types d'effets génératifs basés sur l'introduction de connaissances nouvelles. Le premier effet correspond à une expansion classique : une nouvelle connaissance permet de générer directement un nouveau concept. Le second effet consiste en une restructuration de la base de connaissances partagée par le groupe, et ce, grâce à l'introduction d'un élément de connaissance incompatible. Cette nouvelle connaissance vient alors impacter dans un premier temps l'espace K et en modifie les grands paradigmes. Ce second effet suppose néanmoins un effort cognitif plus important que lors d'une expansion classique : afin de

donner un sens à une connaissance incompatible et de l'intégrer à l'exploration en cours, il s'agira en effet de mobiliser de nouvelles bases de connaissances et de rediscuter les liens existants entre connaissances. Une telle réorganisation pourra néanmoins se révéler particulièrement générative car les nouvelles règles ainsi produites permettront d'explorer de nouvelles voies conceptuelles, qui n'auraient pas pu être générées à partir de l'ancienne structure.

De nouvelles méthodes et de nouveaux outils pourraient ainsi être développés afin de mieux piloter le non-verbal en session de génération d'idées. Dans le but de satisfaire les trois conditions nécessaires à la performance du non verbal identifiées dans cette partie, les chefs de projets, les experts du non-verbal et les facilitateurs pourraient trouver de nouvelles façon de travailler ensemble et de se coordonner. Par ailleurs, les études présentées dans cette partie renforcent l'idée que le pouvoir génératif du non-verbal réside dans sa capacité à introduire une grande quantité de connaissances, parfois très éloignées de l'exploration et incompatibles avec la structure de connaissances initiale. De nouvelles méthodes pourraient ainsi être développées afin d'aider le leader créatif à mieux identifier la nouvelle connaissance apportée par le non-verbal, à mieux comprendre sa nature (compatible ou incompatible) et ainsi à mieux anticiper son effet génératif (expansion directe vs. K-preordering).

Pour le moment, les études menées dans la thèse ont conduit à analyser le rôle génératif de la structuration des connaissances uniquement dans le cas d'explorations de conception reposant sur le non-verbal. Il serait cependant intéressant de se demander si le phénomène de K-preordering peut être reproduit et contrôlé à travers des méthodes et des processus s'affranchissant de l'usage du non-verbal, et par là même des contraintes associées. Dans la partie suivante, nous proposerons ainsi un processus de conception intégrant le K-preordering indépendamment de l'usage du non-

verbal. Nous testerons notamment la performance de ce processus de façon empirique, à travers une étude menée recherche-intervention.

« Au risque d'étonner, la créativité est aussi liée à l'oubli. Nous avons tous un livre que nous lisons et relisons avec plaisir, qui est toujours le même, mais à chaque fois légèrement différent ; un tableau que nous connaissons parfaitement, dans lequel nous découvrons un détail, ce qui renouvelle la vision que nous en avions […]. »

Jean-Claude Ellena, Le Parfum

Partie VI - Outiller et organiser la générativité des structures de connaissances : méthodes pour la conception innovante et structures organisationnelles splitting.....269

Chapitre XI – Provoquer la restructuration générative des connaissances : la réorganisation de bases de connaissances établies et partagées.....271

1. Proposition d'un processus de restructuration générative des connaissances : épreuve empirique dans le domaine du Génie des procédés 271

1.1. Un domaine scientifique aux bases de connaissances établies et partagées..... 273
1.2. Proposition d'un processus empirique visant à favoriser la restructuration des connaissances en conception innovante : une alternance entre phases de K-preordering et de génération de concepts..... 277
1.3. Évaluation de la performance du processus : recours à la méthode V2OR et changement de paradigme..... 281

2. La restructuration des connaissances pour la générativité : un travail de conception dédié mené en parallèle d'un travail de conception classique 284

2.1. Une exploration de deux concepts distincts favorisant la réorganisation des connaissances en Génie des Procédés..... 285
2.2. Analyse V2OR de l'exploration et appréciation de l'évolution de la structure des connaissances..... 292
2.3. Résumé des apports du travail de conception mené en Génie des Procédés..... 296

Chapitre XII – Vers des organisations favorables à la restructuration générative des connaissances.....299

1. Un exemple de structure organisationnelle visant à favoriser le K-preordering : le cas du réseau R2A2 de l'INRA 300

1.1. Présentation du réseau R2A2 et de ses objectifs en termes de générativité 301
1.2. Le pilotage des activités du réseau : évaluer la qualité de l'exploration conceptive..... 303

2. Vers des organisations splitting : quelles caractéristiques organisationnelles pour permettre la réorganisation générative des structures de connaissances établies et partagées 306

2.1. Un reordering des objets d'étude du réseau : passage de partitions pluridisciplinaires à des partitions transdisciplinaires 306
2.2. Une évolution constante du mode d'organisation des réunions du réseau : optimiser la générativité et s'adapter aux attentes des participants..... 310
2.3. Identification des caractéristiques organisationnelles favorisant la restructuration générative des connaissances 315

Conclusion de la partie VI – Conditions organisationnelles favorisant la restructuration des connaissances : d'un effet miroir à un effet splitting 319

Partie VI – Outiller et organiser la générativité des structures de connaissances : méthodes pour la conception innovante et structures organisationnelles splitting

Dans cette dernière partie, nous étudions la possibilité de mettre en place et de piloter une restructuration générative des connaissances qui s'affranchirait de la dimension non-verbale. Cette étude sera notamment l'occasion de proposer un processus permettant de piloter le phénomène de K-preordering à différentes échelles. Dans une volonté de nous affranchir du cadre des structures de connaissances non-verbales - étudiées jusqu'alors pour leur grande agilité et leur pouvoir génératif -, nous nous intéresserons à partir de maintenant à des structures susceptibles d'être bien plus inertes et difficiles à restructurer : les structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation. Cette partie traite notamment du cas du découpage des sciences en différentes disciplines, découpage bien maîtrisé au sein des centres de recherche et qu'il est bien souvent difficile de remettre en question. Une telle rediscussion pourrait cependant se révéler susceptible de produire des effets génératifs particulièrement intéressants.

Dans cette partie, nous proposerons dans un premier temps un processus de conception intégrant la restructuration générative des connaissances : ce processus devra permettre d'articuler aisément une phase de K-preordering à la phase classique de génération de concepts. À travers une première étude menée en recherche-intervention, nous testerons ce processus sur un cas de conception visant à redéfinir les grands paradigmes

du Génie des Procédés pour mieux innover au sein de la discipline. Puis, nous nous intéresserons à la restructuration générative des connaissances à l'échelle organisationnelle, et notamment, aux conditions favorisant le K-preordering à grande échelle. Nous présenterons ainsi une seconde recherche-intervention menée au sein du réseau R2A2 de l'INRA, réseau qui regroupe différents organismes de recherche et différentes disciplines. Cette recherche-intervention visait spécifiquement à provoquer le croisement génératif de connaissances relevant de disciplines différentes, et ce dans le but de concevoir des programmes de recherche transdisciplinaires. Nous montrerons notamment comment l'organisation du réseau R2A2 a été pensée afin de favoriser la restructuration générative des connaissances à grande échelle.

Chapitre XI – Provoquer la restructuration générative des connaissances : la réorganisation de bases de connaissances établies et partagées

Dans l'idéal, la réorganisation des connaissances à visée générative devrait pouvoir s'affranchir de la dimension non-verbale : en effet, si les médias non-verbaux permettent de favoriser cette réorganisation, ils n'en sont pas pour autant le seul support possible : comment une telle réorganisation générative des connaissances peut-elle être mise en place indépendamment du non-verbal ? Quelle forme peut-elle prendre ? En particulier, on peut se demander quel processus de conception pourrait être proposé à des acteurs souhaitant obtenir des effets génératifs via une restructuration de leur base de connaissances. Par ailleurs, nous avons vu au cours de la thèse que les structures de connaissances splitting, visant à éliminer tout lien modulaire ou déterministe entre connaissances, favorisent tout particulièrement la générativité. Aussi pourra-t-on notamment s'interroger sur les protocoles de conception permettant de favoriser des effets génératifs de type splitting à l'échelle de l'organisation.

1. Proposition d'un processus de restructuration générative des connaissances : épreuve empirique dans le domaine du Génie des Procédés

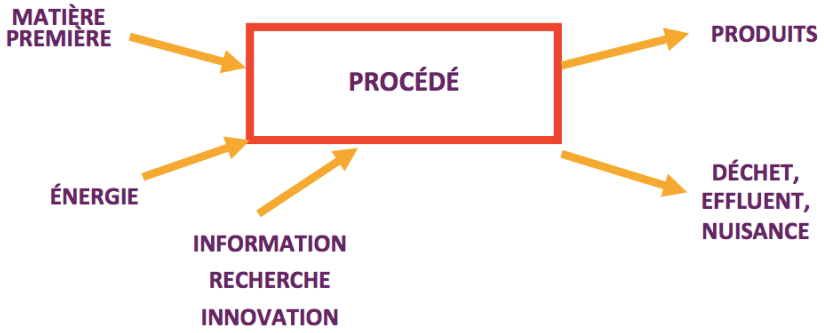
La restructuration des connaissances peut a priori être opérée dans n'importe quel domaine et pour n'importe quelle base de connaissances. Cependant, on peut s'attendre à ce que la capacité générative d'une telle restructuration soit d'autant plus importante que la structure de

connaissances est fixante. Dans certains domaines, les bases de connaissances sont en effet bien établies et largement partagées par le collectif. C'est notamment le cas en recherche où les champs disciplinaires constituent des terrains d'action dont les frontières sont particulièrement bien maîtrisées par les acteurs. La conception de nouveaux projets de recherche est ainsi soumise à de fortes fixations disciplinaires, et la structure des disciplines se révèle particulièrement difficile à rediscuter. En dépit d'un potentiel génératif reconnu, la conception de programmes de recherche transdisciplinaires, qui croiseraient des connaissances relatives à différentes disciplines, constitue ainsi un challenge difficile à relever (Kostoff, 1999; Karniouchina, Victorino & Verma, 2006; Dewulf, François, Pahl-Wostl & Taillieu, 2007).

Il était donc intéressant de proposer, dans le cadre de notre étude, un processus pour la restructuration générative des connaissances : un tel processus devait aider à dépasser les effets de fixation, y compris dans des domaines où la structure de connaissance s'avérait stabilisée et partagée par les acteurs de l'organisation (que ces derniers l'explicitent ou non). Dans ce chapitre, nous proposons un premier modèle de processus visant à réorganiser la structure des connaissances indépendamment de l'usage des média non-verbaux. Nous le testons dans un premier temps dans le domaine du Génie des Procédés : à travers un travail de conception visant à revisiter les représentations classiques des connaissances au sein de la discipline. L'application de ce processus visait notamment à faire émerger de nouvelles pistes de projets de recherche et d'applications pour le Génie des Procédés.

1.1. Un domaine scientifique aux bases de connaissances établies et partagées

Le Génie des Procédés est une discipline académique s'intéressant à la conception et au contrôle des procédés de transformations physiques, chimiques, biologiques et biochimiques des matières premières et de l'énergie (voir figure ci-après). De telles transformations sont exécutées en industrie afin de générer des produits (substances, énergie), mais aussi en ingénierie environnementale afin de traiter les eaux usées ou encore certains déchets.



Source : cours de Génie des Procédés de l'ENSGSI, Nancy

Figure 64. Le Génie des procédés, une discipline traitant des transformations de la matière et de l'énergie

Dans le domaine du Génie des Procédés, les bases conceptuelles ainsi que la façon de concevoir les projets et de résoudre les problèmes sont bien établies (Potier, Brun, Le Masson & Weil, 2015). Trois paradigmes principaux reviennent fréquemment (de façon explicite ou non). Le premier, posé il y a plus d'un siècle par Arthur D. Little (Westmoreland, 2014; Hill, 2009; Favre, Marchal-Heusler & Kind, 2002), est la division d'un procédé en opérations unitaires pouvant être communes à différents procédés ou usines. Le second

paradigme est apparu dans les années 50 avec l'introduction progressive de la physique fondamentale et de la chimie dans la modélisation des procédés. Ceci a mené à un cadre unifié pour la discipline - en particulier, à des méthodologies combinant équilibres et cinétiques physiques et chimiques (Favre et al., 2002) -, ainsi qu'à l'idée que les phénomènes de base du Génie des Procédés sont tous liés à un ou plusieurs éléments du triplet « réaction », « transfert » et « transport ». Dans le domaine du Génie des Procédés, la connaissance s'est alors développée autour de différents types d'opérations unitaires, comme par exemple la filtration ou la cristallisation. De nombreux experts en Génie des Procédés se sont spécialisés dans certaines disciplines (hydrodynamique, thermodynamique, rhéologie, etc.) ou encore dans des opérations unitaires bien spécifiques. Plus récemment, l'approche multi-échelle est venue constituer un troisième paradigme : il est possible de faire le lien entre les différentes échelles intervenant dans un processus, plutôt que de se contenter d'étudier le processus à une échelle donnée. Cette approche multi-échelle s'étend de l'atome au procédé, et même jusqu'à l'échelle de l'entreprise voire de la société (Li & Kwauk, 2003; Charpentier, 2010).

Les grands paradigmes du Génie des Procédés sont présentés dans la figure ci-après.

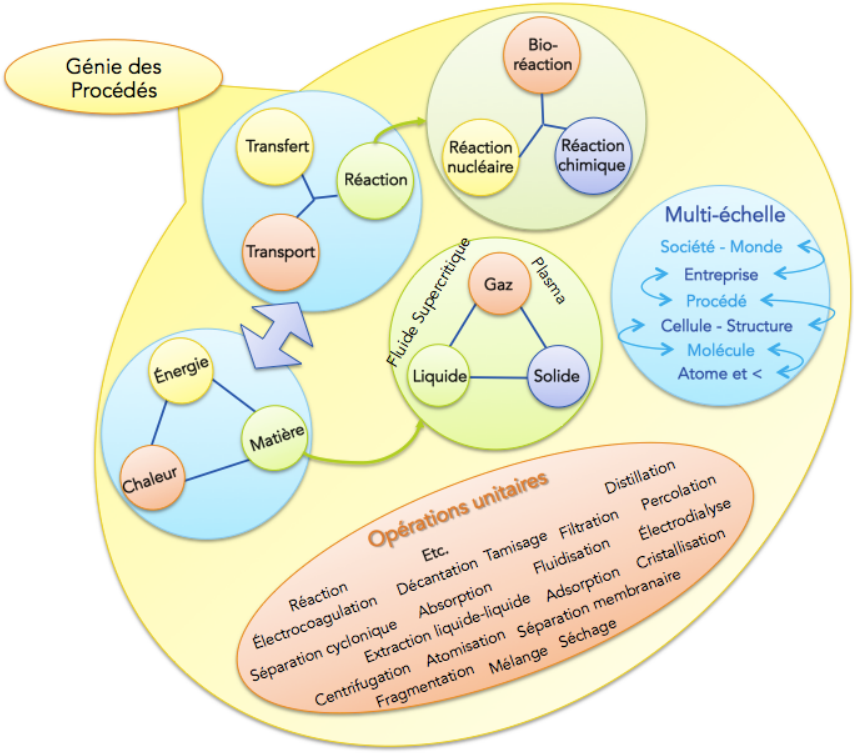


Figure 65. Les grandes représentations de la structure des connaissances en Génie des Procédés

Les méthodes d'innovation utilisées dans le domaine du Génie des procédés sont basées sur un spectre de disciplines assez large, du Génie des procédés pur à la gestion de projets (Potier & Camargo, 2012). Les chercheurs et les industriels du domaine utilisent les méthodes d'innovation classiques de market pull ou techno push. Certaines méthodes d'open innovation sont également mobilisées de façon performante au sein des grandes entreprises. D'autres méthodes font quant à elles le lien entre les propriétés des produits du Génie des Procédés et la modélisation des procédés (Camargo, Morel, Fonteix, Hoppe, Hu & Renaud, 2011; Moggridge & Cussler, 2000). Par ailleurs, il est à noter que les approches d'innovation utilisée en Génie des Procédés diffèrent parfois de celles mobilisées par l'industrie manufacturière : cette divergence peut notamment s'expliquer par le fait que les deux industries mobilisent des techniques de nature différente

(Potier et al, 2015). Un autre facteur pouvant expliquer ces divergences a par ailleurs été mis en évidence au cours de notre travail : il réside dans le caractère réversible ou irréversible des processus utilisés par chacune des deux industries. En effet, les processus de développement de produits en Génie des Procédés sont le plus souvent irréversibles : quand on mélange deux produits, on obtient une solution à partir de laquelle il est souvent difficile d'obtenir à nouveau les deux produits d'origine. En revanche, les processus de développement en industrie manufacturière sont souvent réversibles : par exemple, il est possible de démonter une voiture pour en récupérer les composants et les isoler les uns des autres. Certaines méthodes d'innovation développées pour l'industrie manufacturière peuvent cependant avoir des applications intéressantes en Génie des Procédés (Herder, Turk, Subrahmanian & Westerberg, 2000). La méthode TRIZ en est un exemple : d'abord développée avec succès pour l'industrie manufacturière, elle a été adaptée au Génie des Procédés, notamment en combinaison avec la méthode CBR (Case-Based Reasoning) (Vincent & Mann, 2002; Le Lann & Negny, 2007 ; Negny & Le Lann, 2008 ; Robles, Negny & Le Lann, 2009).

Cependant, avec une représentation bien établie de la connaissance et du savoir-faire, les modèles d'exploration en Génie des Procédés restent encore fortement fixés et les voies d'innovation demeurent relativement inchangées (Potier et al., 2015). S'ouvrir à de nouvelles opportunités d'innovation, promouvoir des idées en rupture et créer de nouvelles représentations pour la discipline suppose d'être capable de penser et d'explorer les concepts différemment. En rediscutant les paradigmes d'une discipline où des représentations figées et partagées peuvent constituer un obstacle à la défixation, un travail de restructuration de la connaissance au préalable de la génération de concepts pourrait aider à ouvrir de nouvelles voies d'innovation. Pour ce faire, nous proposons dans la section suivante un

processus de restructuration générative des connaissances, qui sera ensuite testé de façon empirique.

1.2. Proposition d'un processus empirique visant à favoriser la restructuration des connaissances en conception innovante : une alternance entre phases de K-preordering et de génération de concepts

Nous avons vu dans le Chapitre VII que la mise en place de la restructuration des connaissances pour la conception nécessitait de mener, en alternance, des phases de K-preordering et des phases de génération de concepts. On peut ainsi proposer un processus de conception consistant à réaliser, de façon conjointe, d'une part un exercice de génération de concepts, d'autre part un travail de réorganisation de la base de connaissance initiale. Ces deux exercices pourront être menés en parallèle, l'un permettant d'enrichir l'autre et inversement.

Par ailleurs, puisque nous nous proposions de tester ce processus pour la restructuration générative des représentations établies et partagées en Génie des Procédés, il était nécessaire de partir d'un concept initial qui invitait à innover en Génie des Procédés. Or, le concept « Innover en Génie des Procédés » est un concept de départ pouvant s'avérer potentiellement problématique lors d'un exercice de conception. En effet, certaines difficultés liées à la formulation du concept initial (noté C0) peuvent subvenir (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2014). En particulier :

- la valeur associée à l'exploration peut ne pas être identifiée (par exemple, il peut ne pas y avoir de demande spécifique à l'origine de l'exploration) ;
- les bases de connaissances associées au concept initial peuvent être absentes ou obsolètes : il peut être difficile de décider par où

commencer l'exploration des connaissances. Les bases de connaissances manquantes peuvent être mal définies ;

- Le concept initial peut être entouré de barrières évidentes et difficilement surmontables (normes, exigences techniques), ce qui peut rendre l'exploration délicate.

De telles problématiques concernent tout particulièrement la conception de programmes de recherche et des produits de type « Science-Based » qui réalisent une application indirecte des résultats de la recherche (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2005). En effet, les programmes scientifiques visent à étudier un phénomène donné, sans attente spécifique en termes d'application : la valeur n'est pas complètement identifiée a priori. Concernant les produits « Science-Based », leur développement n'est pas considéré comme une application directe de résultats scientifiques car il nécessite souvent le lancement de nouveaux programmes de recherche : certaines bases de connaissances sont encore manquantes et doivent être explorées pour pouvoir développer le produit.

Ainsi, l'exploration du concept « Innover en Génie des Procédés » pourrait avoir rapidement fait face à un certain nombre de obstacles. Dans le but d'éviter de telles difficultés, nous avons proposé un processus géré au travers d'une séquence d'espaces de conception distincts (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2014). Un espace de conception (aussi appelé « design space ») est un espace de travail au sein duquel l'apprentissage nécessaire à la conception peut être réalisé. Afin de pouvoir entamer l'exploration d'un concept de départ (**C0**) muni d'une base de connaissances initiale (**K0**) très large ou encore mal définie, il est ainsi possible de se doter d'un espace de conception parallèle : ce dernier consiste à explorer un concept alternatif **C0*** et la base de connaissance associée **K0*** (voir figure ci-après). Le choix d'un concept C0* pertinent permet de commencer à explorer des connaissances et des concepts potentiellement pertinents pour l'exploration du C0 initial. Par

exemple, l'exploration d'un concept de drone urbain peut faire face à un certain nombre de challenges, en particulier du fait de la réglementation actuelle qui n'autorise pas les vols de drones en zone urbaine. Afin d'éviter d'avoir à gérer ce point de blocage, une exploration alternative peut être proposée, par exemple, autour du concept d'« hélicoptère autonome pour la surveillance du trafic automobile ». Ce dernier concept permet de se focaliser sur de nouvelles bases de connaissances (par exemple, l'analyse d'images et l'intelligence artificielle) et d'acquérir de la connaissance manquante tout en évitant temporairement la contrainte de la réglementation. Un tel espace de conception est donc ouvert afin d'alimenter une logique d'exploration plus globale. Ce processus de management de valeur initialise ainsi différents espaces de conception et en extrait, à chaque étape, la connaissance pertinente et utile (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2014).

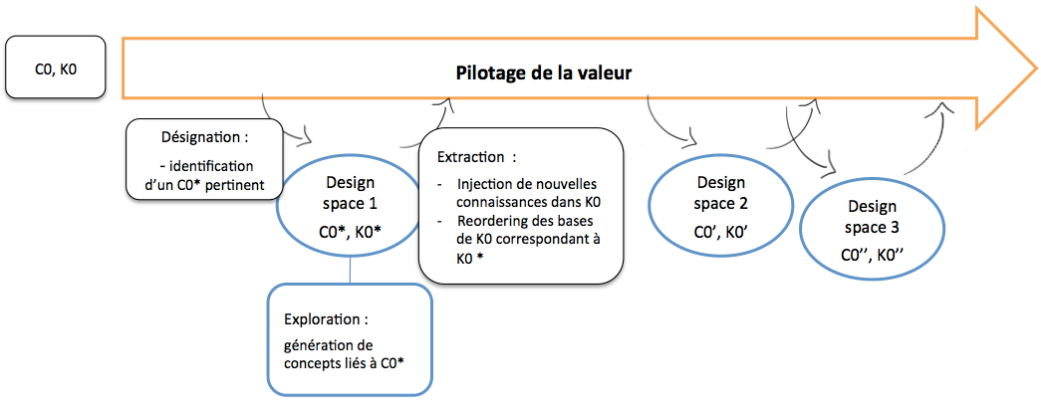


Figure 66. Processus de conception consistant à ouvrir et explorer des design spaces alternatifs

Une telle méthode d'exploration permettra ainsi de choisir les actions à mener afin de surmonter les difficultés liées au concept initial « Innover en Génie des Procédés » (C0) :

- Le concept initial C0 étant trop large, et en l'absence de valeur spécifique identifiée, l'exploration débutera par un travail sur un concept alternatif C0* ;
- Puisque la connaissance à acquérir est mal définie, l'espace de conception ainsi créé permet de débuter l'exploration des connaissances ;
- Les connaissances sur le concept initial étant en excès (risque de saturation de connaissances), l'espace de conception permettra de limiter l'exploration pour cibler des bases de connaissances spécifique ;
- Dans le cas d'un point bloquant inévitable, l'espace de conception permettra d'éviter délibérément ce problème pour pouvoir poursuivre l'exploration.

Un premier espace de conception présentant un fort potentiel en termes de valeur a ainsi été choisi afin de faciliter l'exploration autour de l'innovation en Génie des Procédés, ainsi que la réorganisation des bases de connaissances établies et partagées au sein de la discipline. Le concept alternatif C0* alors retenu fut « la station d'épuration optimisée ». La valeur associée à ce concept C0* est en effet facile à identifier : les déchets associés aux stations d'épuration constituent une problématique importante et leur optimisation pourrait s'avérer très utile. Cette première exploration a été menée selon la méthode C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009) et a conduit à la réalisation d'une première arborescence de concepts, ainsi qu'à une première réorganisation des bases de connaissances. Les nouvelles connaissances acquises ainsi que les modifications des grandes règles de la base K0* ont ensuite été réutilisées au cours d'une seconde exploration sur le thème « Innover en Génie des Procédés » (C0). La figure suivante présente le processus mis en place afin de restructurer de façon générative les connaissances établies et partagées en Génie des Procédés.

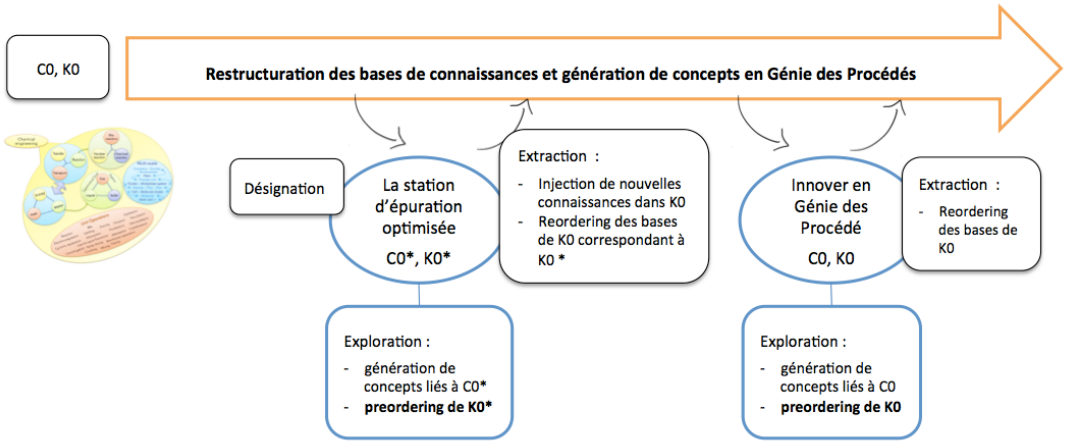


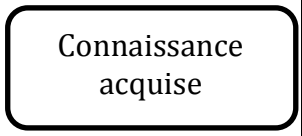
Figure 67. Processus proposé afin de favoriser la restructuration générative des connaissances établies et partagées en Génie des procédés

1.3. Évaluation de la performance du processus : recours à la méthode V2OR et changement de paradigme

Le processus de conception proposé consiste ainsi en deux explorations conceptuelles, elles-mêmes menées en parallèle d'un travail de réorganisation des connaissances. Afin d'appliquer ce processus, nous avons eu recours à la méthode C-K : elle permettait en effet de représenter les transformations opérées tant au niveau de l'espace des concepts qu'au niveau de la structure des connaissances. Nos explorations se sont donc traduites par la construction successive de deux arborescences C-K.

La construction des différentes arborescences a représenté douze demi-journées de travail et a mobilisé, pour chaque demi-journée, entre deux et quatre chercheurs : un chercheur en Génie des Procédés et trois chercheurs en conception maîtrisant la pratique de la théorie C-K. Le premier arbre C-K fut initié sur la base d'un cours en Génie des Procédés et d'un panel d'articles scientifiques portant sur le traitement des eaux usées. Par ailleurs, un code couleur mis au point par Hooge, Agogué et Gillier (2012) fut adopté

dans le but de faciliter la lecture des arborescences C-K. Ce code couleur permettait de distinguer différents niveaux de rupture conceptuelle dans l'espace C, ainsi que différents niveaux de robustesse des connaissances dans l'espace K. La légende du code couleur utilisé est présentée dans le tableau ci-après.

Degré de rupture des concepts		Le concept est connu, il correspond déjà à plusieurs conjonctions dans l'espace K
		Le concept peut être facilement développé via l'acquisition d'un petit nombre de connaissances
		Le concept est très original : un travail additionnel est requis afin de lui donner du sens, plusieurs bases de connaissances doivent être explorées
Degré de robustesse des connaissances		La base de connaissance a déjà été acquise et est parfaitement maîtrisée
		La connaissance est en cours d'acquisition

	Connaissance manquante	La connaissance est manquante et doit être acquise

Tableau 5. Code couleur évaluant le degré de rupture en connaissance et en concept

Une exploration consistant en une co-expansion des concepts et des connaissances, il est toujours délicat d'en déterminer une fin. Néanmoins, l'exploration peut être considérée comme satisfaisante une fois qu'elle a permis d'identifier plusieurs concepts originaux, à fort potentiel de valeur, et/ou plusieurs bases de connaissances essentielles et manquantes. Une évaluation du travail de conception grâce à la méthode V2OR (Agogué, Hooge, Arnoux & Brown, 2014) permet par ailleurs de valider un arrêt de l'exploration. Cette dernière pourra éventuellement être relancée par la suite, une fois qu'un certain nombre de concepts et de connaissances identifiés comme atteignables, voire en rupture, auront été suffisamment développés.

La méthode V2OR consiste en une évaluation selon quatre critères : Variété, Originalité, Valeur et Robustesse (Agogué et al., 2014). La variété et l'originalité sont des critères traditionnellement utilisés en créativité afin d'évaluer la pensée divergente (Guilford, 1950, 1967; Torrance, 1962, 1966) et portent principalement sur la qualité des concepts. À l'inverse, la valeur et la robustesse sont des critères portant plutôt sur la qualité des bases de connaissances. Dans la pratique, ces quatre critères peuvent être validés de la façon suivante :

- **Variété** : une bonne variété est obtenue pour un bon équilibre entre la largeur et la hauteur de l'arbre C-K ;

- **Originalité** : l'exploration est considérée comme originale si l'arborescence présente une quantité importante de concepts expansifs (et par extension, de connaissances expansives) ;
- **Valeur** : la valeur de l'exploration correspond à l'identification de nouvelles parties prenantes. Cela correspond également à l'identification de connaissances nouvelles portant sur les besoins, les attentes et les rôles potentiels de ces nouveaux acteurs ;
- **Robustesse** : une exploration sera considérée comme robuste si les concepts sont résistants aux changements de contexte. Cela dépend de la qualité de la base de connaissances développée au cours de l'exploration. La notion de robustesse se réfère aux technologies (résistance d'une technologie à un changement de contexte), mais également aux business models et aux stratégies présents dans les bases de connaissances correspondantes.

La méthode V2OR fut ainsi appliquée aux deux arborescences C-K développées pour notre étude, et ce, afin de mieux piloter la valeur de l'exploration : ces évaluations seront présentées dans la section suivante.

2. La restructuration des connaissances pour la générativité : un travail de conception dédié mené en parallèle d'un travail de conception classique

Nous présentons ici les résultats obtenus suite à l'application du processus de conception proposé en section 1.2. Une partie des arbres C-K développés au cours des deux explorations sera notamment présentée ci-après. Le lecteur intéressé pourra trouver en Annexe 5 un extrait de l'article de Potier, Brun, Le Masson & Weil (2015) présentant le détail complet des arborescences développées au cours de cette recherche-intervention.

2.1. Une exploration de deux concepts distincts favorisant la réorganisation des connaissances en Génie des Procédés

Suite aux réunions de travail, deux arbres C-K ont été construits : un premier arbre C-K a été développé sur le concept de la station de traitement des eaux optimisée, et un second arbre C-K, sur l'innovation en Génie des Procédés.

L'arborescence C-K portant sur l'optimisation de la station de traitement des eaux commence par distinguer les concepts portant sur les stations existantes et les concepts portant sur l'élaboration de nouvelles stations (voir figure ci-après). Concernant la conception de nouvelles stations, un design totalement nouveau pourrait en effet viser à optimiser le traitement des eaux sur différents aspects : la qualité, le coût, la sécurité ou encore l'impact environnemental. Chacune de ces dimensions d'optimisation a été explorée selon une voie conceptuelle spécifique.

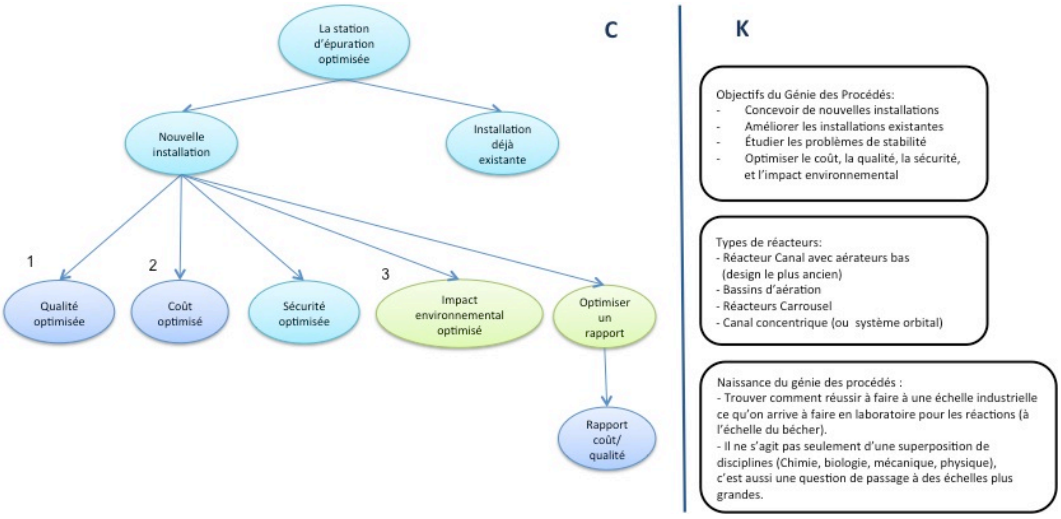


Figure 68. Partition initiale pour le concept de la station de traitement des eaux optimisée

L'optimisation de la qualité fut notamment associée à l'amélioration du fonctionnement du réacteur. Sur des designs de réacteurs existants, une amélioration du fonctionnement pourrait passer par le développement de meilleures capacités de simulation et de prédiction. Mais une telle amélioration peut aussi supposer de développer de nouvelles formes de réacteurs. Dans notre arborescence, la question de l'optimisation de la forme fut traitée du point de vue de l'optimisation de l'activité des bactéries, ces dernières étant responsables de l'assainissement des eaux usées. Dans les boues activées des stations, les bactéries réalisent la dégradation des déchets, mais plusieurs types de bactéries peuvent cohabiter : le développement de certaines d'entre elles doit être évité. En particulier, les bactéries filamenteuses dégradent la performance du traitement des eaux car elles précipitent mal et empêchent les bonnes bactéries de se développer. L'activité du réacteur pourrait ainsi être améliorée en limitant le développement des bactéries filamenteuses, ou encore en améliorant l'activité des bactéries non-filamenteuses grâce à une meilleure aération ou encore une optimisation de la forme du réacteur. Ce dernier concept ouvre notamment sur les nouvelles possibilités offertes par la fabrication additive (ou « macro-impression 3D »)

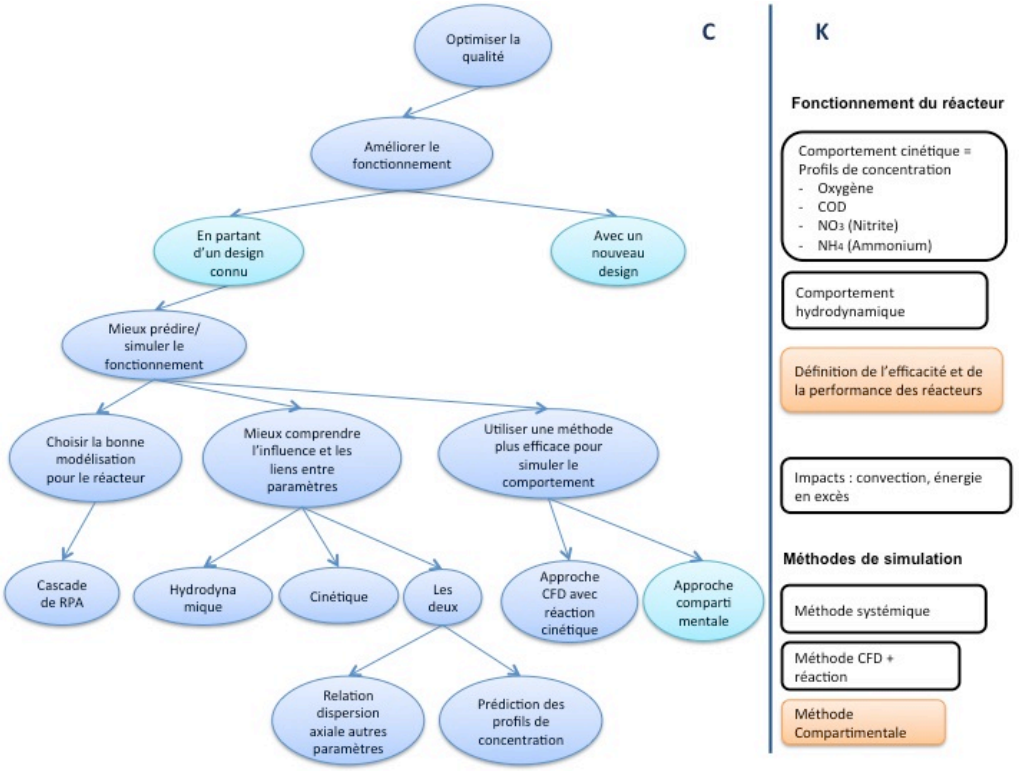


Figure 69. Optimiser la qualité pour un design de réacteur connu

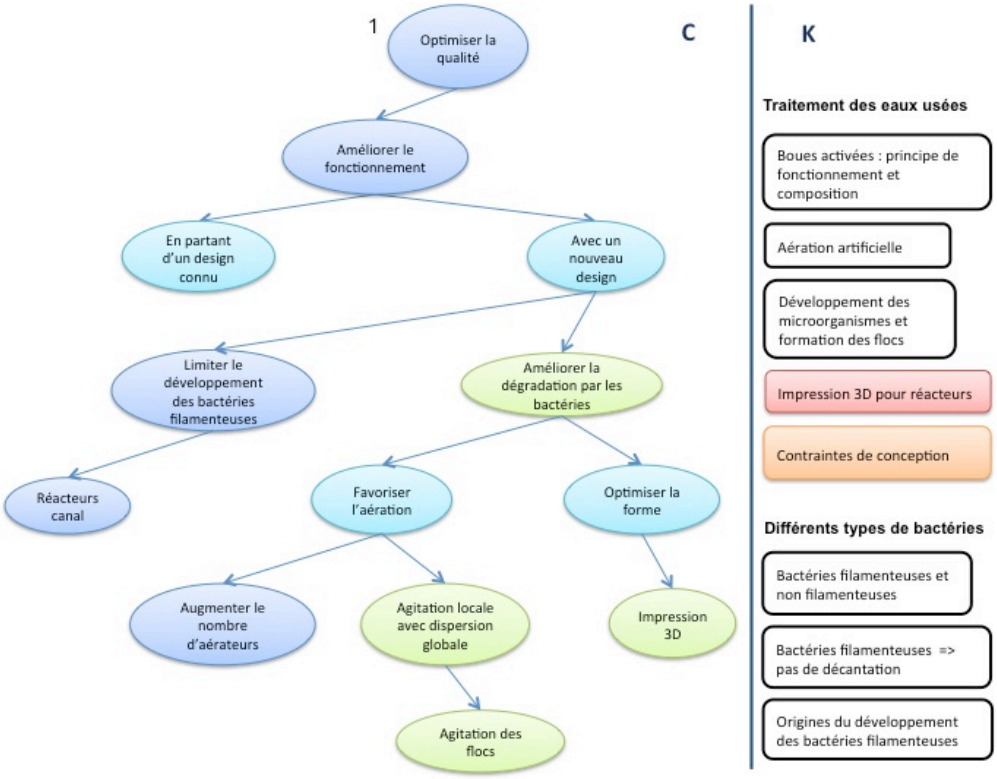


Figure 70. Optimiser la qualité pour un nouveau design de réacteur

Le détail du reste de cette première arborescence est donné en Annexe 5. À partir des nouvelles connaissances accumulées lors de cette exploration, nous avons entamé la construction d'un deuxième arbre C-K portant sur l'innovation en Génie des Procédés. En parallèle de la construction de l'arbre, nous nous sommes également attachés à rediscuter les grands paradigmes identifiés pour le Génies des Procédés dans une logique de K-preordering. Cette rediscussion a fortement conditionné le choix des partitions réalisées pour l'arbre C-K, puisque le but de notre exploration était précisément de revisiter les grands paradigmes du Génie des Procédés : le K-preordering n'était pas seulement réalisé ici pour favoriser la conception, il était également un objectif de l'exploration. Se distinguant d'une situation où le K-preordering serait opéré indépendamment et en amont de la génération de concepts, notre étude présente un cas de conception où la génération de concepts a servi à soutenir le K-preordering de façon importante.

Afin de construire notre deuxième arborescence C-K, nous avons tout d'abord commencé par établir le dominant design du Génie des Procédés : aujourd'hui, la discipline est traitée selon deux perspectives majeures : l'angle de la Physique d'une part (qui traite notamment de l'hydrodynamique au sein du réacteur, ainsi que de la thermodynamique) et l'angle de la Chimie et de la Biologie (qui traite de la cinétique des réactions). De plus, la logique des opérations unitaires, déjà évoquée précédemment, est bien établie en Génie des Procédés : en effet, il est d'usage de découper un procédé selon différentes étapes que l'on veut indépendantes les unes des autres. Concernant toujours le dominant design de la discipline, une distinction peut par ailleurs être réalisée aux petites échelles entre des phénomènes de réaction, de transfert et de transport. Chacun de ces grands paradigmes intégrant le dominant design du Génie des Procédés pouvait ainsi être

challengé lors de notre exploration. Notamment, d'autres perspectives que la perspective « Chimie/Biologie/Physique » pouvait être considérées : c'est sur cette alternative que nous avons ouvert notre arborescence C-K (voir figure ci-après). En respectant dans un premier temps la logique du découpage en opérations unitaires, on peut imaginer penser simultanément les phénomènes de réaction, transfert et transport plutôt que de les distinguer. Cette réflexion a notamment donné lieu à une réflexion sur le phénomène de retournement qui intervient dans les lacs aux changements de saison et qui fait intervenir conjointement des phénomènes de transfert et de transport (voir Annexe 5). S'intéresser aux phénomènes de recirculation dans certains réacteurs (par exemple, dans les lagunages pour l'épuration des eaux) pourrait permettre de donner lieu à de nouveaux programmes de recherche.

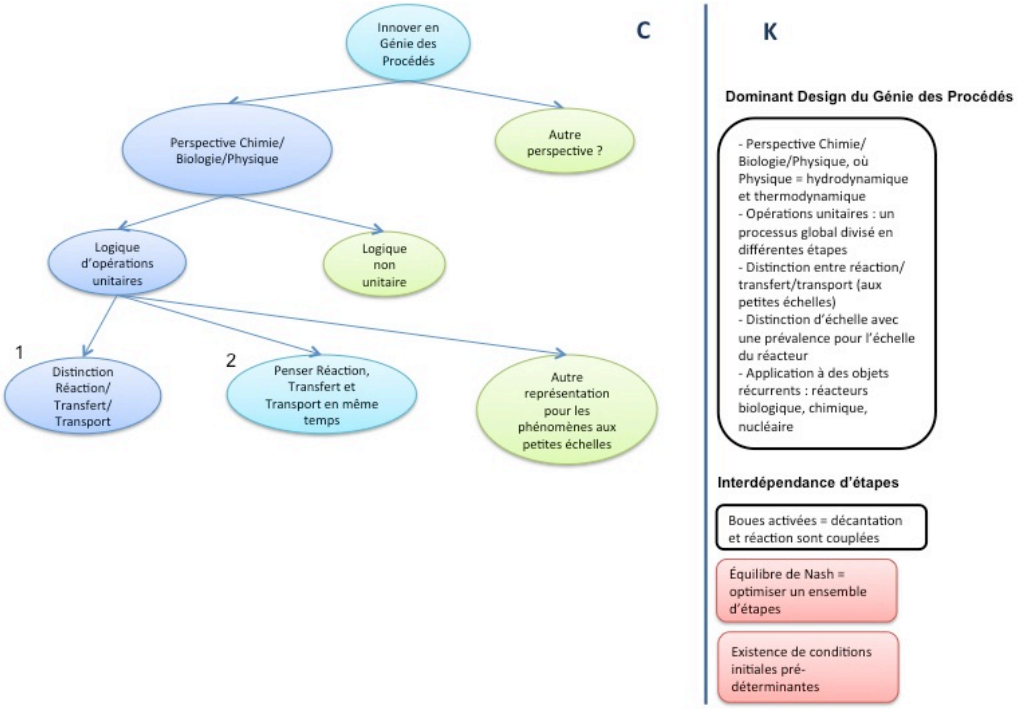


Figure 71. Challenger la distinction entre les phénomènes de réaction, transfert et transport

En poursuivant la description du dominant design de la discipline, on note que le Génie des Procédés distingue différentes échelles, bien qu'en général

l'échelle du réacteur prévale (voir figure ci-après). Par ailleurs, les applications du Génie des Procédés concernent des familles d'objets récurrentes : principalement des réacteurs nucléaires, chimiques (comme des usines de fabrication d'essences de synthèse) ou biologiques (comme les stations d'épuration). Cependant, des applications à d'autres classes d'objets pourraient être imaginées. Les rivières ou encore les mini-procédés (machines à laver, aspirateurs cyclones, etc.) utilisent par exemple certaines méthode du Génie des Procédés : de la même façon, de nouvelles applications pourraient être imaginées pour créer d'autres mini-procédés. Enfin, concernant les échelles, de nouvelles échelles pourraient être considérées, comme par exemple l'échelle du floc (échelle cellulaire) ou de la molécule. Des actions en faveur d'un dialogue entre échelles pourrait également être envisagées.

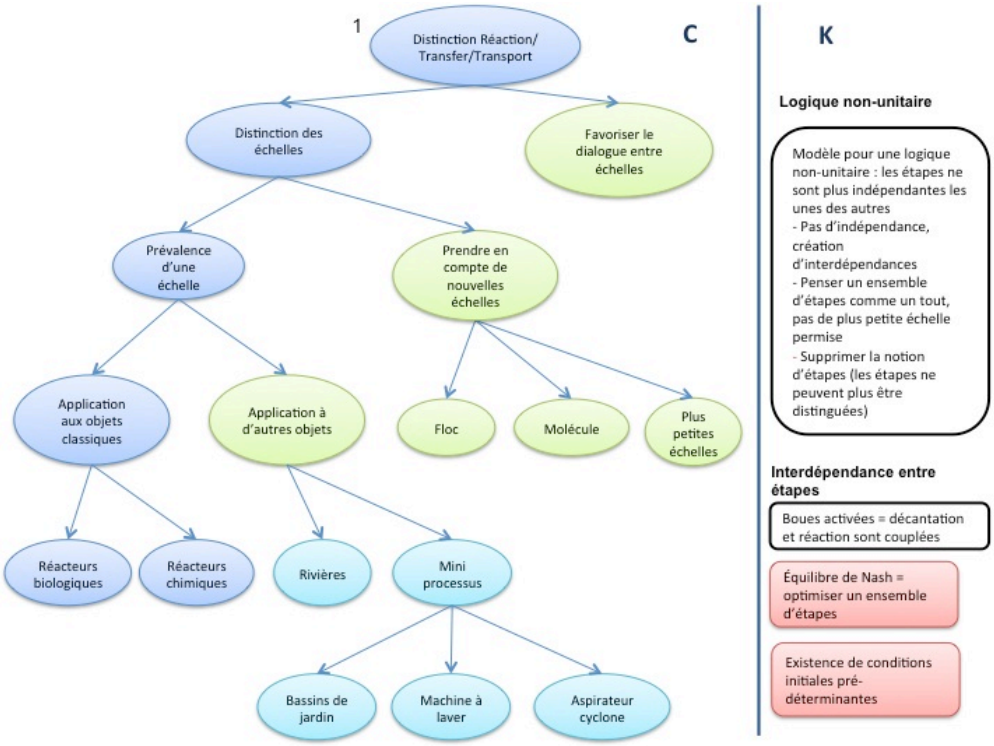


Figure 72. Alternatives proposées aux représentations classiques en Génie des Procédés

La suite de cette deuxième arborescence C-K est détaillée en Annexe 5. Cette exploration aura permis en particulier de remettre en question un certain nombre de paradigmes du Génie des Procédés (voir figure ci-après). En parallèle de la génération de concepts, nous avons ainsi identifié un nouveau phénomène pouvant être ajouté au triplet « réaction, transfert, transport » : la transition de phase. Dans notre travail de K-preordering, nous nous sommes aussi beaucoup intéressés à la logique des opérations unitaires en cherchant à rediscuter l'indépendance entre étapes. Ceci a donné lieu à un certain nombre de concepts, comme par exemple le fait de chercher à optimiser non pas une étape mais un ensemble d'étapes, de s'intéresser aux transitions entre les étapes, ou encore de supprimer la notion d'étape. Dans l'espace K, nous avons notamment regroupé les opérations unitaires en quatre grands types d'opérations : les transformations, les séparations, les opérations de transport et les opération de mélanges.

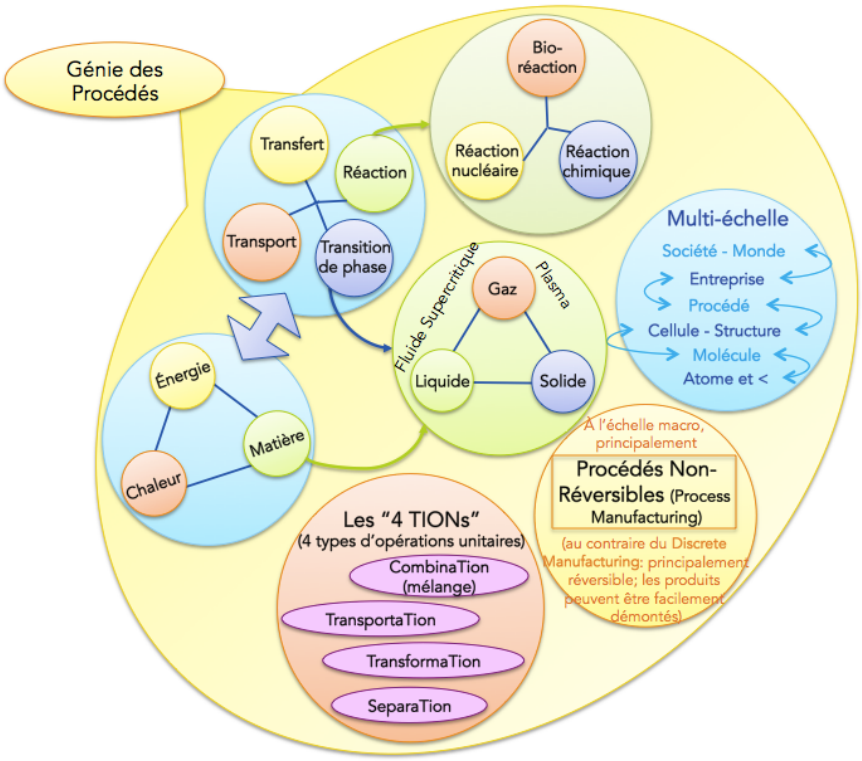


Figure 73. Une nouvelle structure des connaissances en Génie des Procédés

Nous sommes également repartis du constat que les procédés sont majoritairement irréversibles pour conduire une réflexion sur l'importance de la modularité et du déterminisme entre étapes et opérations unitaires en Génie des Procédés : si l'industrie manufacturière privilégie les étapes déterministes et modulaires, il est possible qu'une grande partie de la conception en Génie des Procédés repose sur des procédés de nature splitting, comportant peu d'étapes modulaires ou déterministes. Le domaine aurait ensuite cherché à rendre ces procédés non splitting pour mieux les industrialiser. Comprendre la nature modulaire ou déterministe des rapports entre les différentes opérations unitaires, pour ensuite étudier son impact sur la performance du procédé, pourrait éventuellement permettre d'ouvrir de nouvelles voies de conception en Génie des Procédés et ainsi mieux penser son articulation avec d'autres disciplines, comme par exemple le Génie des Produits.

2.2. Analyse V2OR de l'exploration et appréciation de l'évolution de la structure des connaissances

Notre travail de conception a ainsi permis de modéliser les paradigmes existants en Génie des Procédés (facteurs de contrôle, logiques combinatoires et compatibilités entre opérations unitaires), mais également les grands changements de paradigmes en cours (émergence des approches multi-échelle bouleversant la distinction classique entre les différentes échelles de référence). Ces explorations réalisées à l'aide de la théorie C-K ont par ailleurs permis de donner naissance à des concepts expansifs (comme par exemple, la fabrication additive pour l'optimisation de forme, ou encore l'absence de transfert de gênes de résistance au sein des stations de traitement des eaux). Elles ont également permis d'identifier des bases de connaissances manquantes (comme par exemple, la possible présence de phénomènes de retournement au sein des lagunages). Afin d'évaluer la

performance de notre exploration compte-tenu des objectifs que nous nous étions fixés, nous avons réalisé, d'une part, une analyse V2OR des arborescences C-K, d'autre part, un bilan concernant les modifications subies par la structure de connaissances. Les deux types d'évaluation sont présentées dans cette section.

L'analyse menée à l'aide de la méthode V2OR est synthétisée dans le tableau ci-après.

	Variété	**Originalité**	**Valeur**	**Robustesse**
Arbre C-K 1 "La station de traitement des eaux optimisée"	**Très bonne variété**: Bon équilibre entre hauteur et largeur de l'arbre CK	**Très bonne originalité**: Quantité importante de C/K expansifs (tels que l'autogestion des boues, l'absence de développement de l'antibiorésistance, l'impression 3D de réacteurs, agitation locale avec une dispersion globale faible)	**Bonne valeur**: Émergence de nouvelles parties prenantes touchant à des sujets variés tels que la protection de l'environnement, la fabrication additive ou encore la résistance aux antibiotiques	**Faible robustesse**: Des bases de connaissances manquent pour savoir si certains concepts expansifs (comme l'impression 3D de réacteurs) pourraient être résistants à un changement de contexte (matériaux, usages)
Arbre C-K 2 "Innover en Génie des Procédés"	**Bonne variété**: Bon équilibre entre la hauteur et la largeur de l'arbre, même si certaines voies peuvent encore être approfondies	**Bonne originalité**: Bonne quantité de concepts expansifs (logique non-unitaire, actions en faveur d'un dialogue entre différentes échelles, impact de potentiels phénomènes de retournement dans les lagunages, suppression de la notion d'étape)	**La valeur est présente mais non clarifiée**: De nouvelles connaissances sur les nouveaux acteurs, méthodes et disciplines impliqués, devrait être apportées (par exemple, quelles disciplines devraient être impliquées si on considère de nouvelles échelles ? Quelles parties prenantes impliquer si on considère de nouveaux objets d'application?)	**Bonne robustesse** des concepts développés : par exemple, les boucles de recirculation dans les lacs, tout comme l'impact des boucles de recirculation potentiellement présentes dans les lagunages pourraient être modélisés à l'aide de méthodes existantes

Tableau 6. L'évaluation V2OR des deux arborescences C-K développées lors de l'exploration

L'évaluation V2OR montre que le premier arbre C-K portant sur « la station d'épuration optimisée » présente une bonne performance en termes de variété, d'originalité et de valeur. La robustesse de l'exploration pourrait quant à elle être améliorée. La deuxième arborescence portant sur l'innovation en Génie des Procédés présente une bonne variété, bien que certaines voies conceptuelles pourraient être davantage explorées (notamment le concept relatif à l'utilisation de différentes approches scientifiques afin d'adopter une perspective alternative à la perspective Chimie/Biologie/Physique). Cela pourrait en outre contribuer à améliorer l'originalité des concepts. Dans ce deuxième arbre C-K, la valeur est présente mais non clarifiée : les nouveaux acteurs n'apparaissent pas encore clairement dans l'espace K alors qu'ils sont nécessaires au développement des concepts générés (par exemple, des chercheurs d'autres disciplines sont nécessaires au développement d'une approche alternative). Un travail d'exploration additionnel pourrait être mené afin d'identifier les nouvelles parties prenantes, méthodes ou disciplines impliquées ou à impliquer. Enfin, la robustesse, plutôt bonne ici, pourrait être challengée par l'ouverture de nouveaux concepts expansifs.

Afin de rendre compte de l'évolution subie par la structure de l'espace des connaissances, nous rappelons ci-après les schémas réalisés pour présenter la structure des paradigmes du Génie des Procédés, en début et en fin d'exploration.

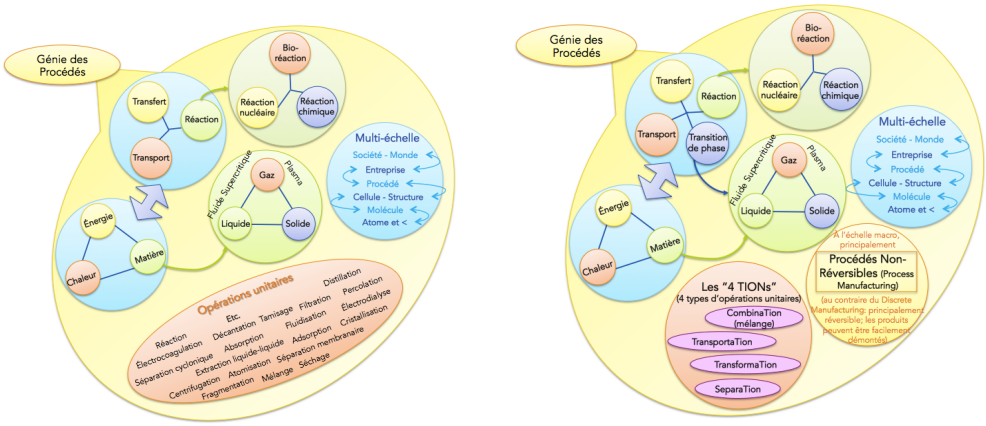


Figure 74. Évolution de la structure des connaissances : représentations des grands paradigmes du Génie des Procédés en début (à gauche) et en fin d'exploration (à droite)

Au final, notre exploration aura permis de challenger un certain nombre de représentations bien établies et partagées dans le domaine du Génie des Procédés. Le triplet représentant les trois phénomènes de base « réaction, transfert et transport » est devenu un quadruplet avec l'ajout d'un quatrième phénomène : le changement de phase. De plus, les opérations unitaires ont pu être regroupées en quatre grandes classes d'opérations : séparation, transport, transformation et mélange. On peut alors imaginer combiner ces quatre types d'opérations unitaires afin de générer de nouvelles opérations. S'il existe déjà des séparations par transformation (comme l'opération de distillation) ou encore des transformations par séparation (telle la purification membranaire), que donnerait par exemple les concepts de « transformation par transport » ou de « séparation par mélange » ? Enfin, nous avons pu préciser lors de notre exploration certaines spécificités du Génie des Procédés, aussi appelé Process Manufacturing dans la littérature (Hayes & Wheelwright, 1979 ; Woodward, 1980) par opposition à l'industrie manufacturière (Discrete Manufacturing) : les procédés sont principalement irréversibles tandis que les assemblages en industrie sont majoritairement réversibles. On peut ainsi imaginer que l'analyse de la réversibilité ou de

l'irréversibilité des processus propres à chacun des deux domaines pourrait présenter une certaine générativité.

2.3. Résumé des apports du travail de conception mené en Génie des Procédés

L'intégration d'une phase de K-preordering s'avérait ainsi particulièrement intéressante pour tenter de challenger les représentations et les paradigmes existants en Génie des Procédés. Une telle rediscussion apparaissait par ailleurs importante afin de favoriser l'ouverture de nouvelles voies d'innovation au sein d'une discipline dont les objets et les méthodes sont bien stabilisés. La modélisation des paradigmes existants et des changements de paradigmes en cours a notamment favorisé ce travail de rediscussion. Les concepts les plus originaux sont précisément nés de l'identification de connaissances manquantes ou encore de la création de nouveaux liens originaux entre connaissances. Pour aller plus loin, on voit que les modifications réalisées au sein de la base K tendent à supprimer un certain nombre de modularités et de déterminismes : par exemple, les changements de structures rendent possible la prise en compte d'un quatrième phénomène en cassant le triplet « réaction, transfert, transport » (rediscussion d'un déterminisme), ou bien encore, jouent sur l'interdépendance entre opérations unitaires (absence de modularité entre opérations unitaires). Par ailleurs, l'ouverture d'un espace de conception alternatif sur la station d'épuration optimisée s'est révélée particulièrement utile pour pouvoir débuter une exploration portant sur l'innovation en Génie des Procédés, a priori difficile à mener de front. Le processus proposé en début de chapitre consistant à mener une opération de réorganisation de la structure des connaissances en parallèle de la génération de concepts classique, a ainsi pu être mis en œuvre aisément et a fournit de bons résultats en termes de générativité. Par ailleurs, nous avons pu constater que le K-

preordering s'articule bien avec une exploration de type C-K : pour la suite, on peut ainsi imaginer développer et tester un processus qui correspondrait à un processus KCP (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2009) intégrant une ou plusieurs phases de K-preordering. Un tel processus permettrait potentiellement d'améliorer la qualité des connaissances identifiées comme pertinentes pour la phase K et de renforcer la générativité de la phase C.

Dans le cas du Génie des Procédés, nous avons montré qu'il était possible de provoquer la réorganisation générative d'une structure de connaissances partagée et bien stabilisée. Fort de ce constat, il est possible de se demander si une telle opération serait également réalisable sur un ensemble de disciplines que l'on souhaite faire dialoguer entre elles. En effet, de la même façon qu'au sein d'une entreprise, un département n'opère jamais seul, les disciplines ne sont jamais toujours totalement indépendantes. Plus encore, la recherche tend à promouvoir les programmes transdisciplinaires, soutenant le fait qu'un dialogue entre disciplines permettrait d'obtenir des effets génératifs intéressants (Stokols, 2006). Cependant, même si de nombreuses institutions partagent aujourd'hui le désir de faire émerger des projets de recherche transdisciplinaires, provoquer ce croisement entre disciplines restent difficile (Kostoff, 1999 ; Karniouchina, Victorino & Verma, 2006 ; Dewulf, François, Pahl-Wostl, Taillieu, 2007). À l'origine de ces difficultés, on évoque souvent des problèmes de communication entre experts de domaines différents ou encore des enjeux trop divergents. Dans une optique de réorganisation générative des connaissances pour la conception, on peut ainsi s'attendre à ce que ce travail de restructuration soit d'autant plus ardu que les disciplines considérées sont nombreuses et leurs frontières stabilisées et d'apparence non perméables. De nombreuses initiatives ont cependant été mises place dans le but de favoriser le dialogue entre différents centres de recherche. Ces initiatives sont variées, allant de l'organisation de rencontres entre chercheurs à l'occasion de colloques à la création de réseaux de recherche transdisciplinaires. On peut notamment se

demander quelles sont les difficultés rencontrées par ces réseaux dont l'objectif est précisément la réorganisation des frontières entre disciplines. De façon plus globale, cela revient à s'interroger sur le pilotage de la restructuration générative des connaissances à l'échelle de l'organisation. Dans le chapitre suivant, nous adresserons ces questions à l'aide d'une nouvelle étude de cas : le cas du réseau R2A2 de l'INRA dont l'objectif est de faire naître des programmes de recherche transdisciplinaires visant à lutter contre l'antibiorésistance animale.

Chapitre XII – Vers des organisations favorables à la restructuration générative des connaissances

Si la restructuration générative des connaissances peut être provoquée à l'échelle d'un acteur ou d'un groupe d'acteurs, la tâche semble plus fastidieuse lorsqu'il s'agit de modifier l'organisation des connaissances partagées à l'échelle d'une ou plusieurs organisations. En science, la structure des connaissances est notamment incarnée par l'architecture des organismes de recherche (département, unités ou centres de recherche). Elle se traduit également par des objets propres à chaque discipline : revues scientifiques, protocoles ou encore instruments de recherche. De ce fait, la structure des connaissances en science demeure relativement stabilisée et figée. La volonté de favoriser une recherche transdisciplinaire impose donc de réorganiser cette structure de connaissances de façon générative. Cela pose cependant de nombreux problèmes pratiques, comme par exemple la difficulté de communication entre experts de disciplines différentes (Dewulf, François, Pahl-Wostl, Taillieu, 2007) ou encore les obstacles à la publication (rareté des revues à visée transdisciplinaire). Par ailleurs, dans une logique générative, l'existence d'une structure de connaissances établie, partagée et stabilisée constitue une fixation potentielle, et de ce fait, devient un véritable obstacle lorsqu'il s'agit de transformer les frontières entre disciplines.

Dans un tel contexte, on peut ainsi se demander s'il est possible de réaliser une restructuration générative des rapports entre connaissances. Plus encore, est-il possible de provoquer des effets de type splitting, visant à éliminer modularité et déterminisme entre connaissances et se révélant particulièrement génératifs ? Si des organisations sont spécifiquement créées pour provoquer cette restructuration, tels les réseaux de chercheurs ou

encore les métaprogrammes, quels caractéristiques ces organisations doivent-elles présenter afin de favoriser ces transformations ? De façon plus large, on pourra notamment s'interroger sur les dispositifs organisationnels à mettre en place afin de promouvoir des effets génératifs de nature splitting.

Dans ce chapitre, nous présentons un projet de recherche-intervention mené au sein du réseau R2A2 de l'INRA. L'objectif du réseau, qui réunit des chercheurs de différentes disciplines et de différents centres de recherche, était de concevoir des programmes de recherche transdisciplinaires visant à lutter contre l'antibiorésistance animale. Nous montrons ici comment le réseau a su s'organiser afin de faire dialoguer entre elles des disciplines très différentes. Nous identifions par ailleurs plusieurs caractéristiques organisationnelles favorisant le K-preordering génératif à l'échelle de l'organisation.

1. Un exemple de structure organisationnelle visant à favoriser le K-preordering : le cas du réseau R2A2 de l'INRA

Le phénomène du « Mirroring » correspond à un phénomène bien courant en conception : il se produit lorsque l'architecture d'un produit reflète parfaitement l'architecture de l'organisation qui le conçoit (Colfer & Baldwin, 2010 ; MacCormak, Rusnak & Baldwin, 2012). Une organisation présentant une certaine structure, une certaine articulation entre ses départements ou ses équipes, aura tendance à générer des produits respectant cette articulation. Dans le cas d'un réseau de centres de recherche souhaitant générer des programmes transdisciplinaires, il faudra que ce réseau puisse s'organiser de façon à aller à l'encontre du phénomène de Mirroring. Cela signifie notamment que l'institution doit réussir non seulement à réunir des acteurs apportant des connaissances distinctes

(connaissances métier ou connaissances disciplinaires), mais également, à mobiliser ces acteurs sur des objets de travail communs, favorisant le dialogue entre disciplines et évitant le réflexe pluridisciplinaire de juxtaposition des visions d'experts. Plutôt que d'aborder la conception tour à tour sous l'angle de vision de chaque expert, il s'agit au contraire de créer une synergie entre les visions, apportant ainsi un nouveau regard sur la thématique de travail. Cette nouvelle façon d'adresser la thématique suppose d'être capable de mobiliser à la fois des savoirs établis provenant de disciplines distinctes, mais également des savoirs nouveaux, en cours de développement ou à développer, et ne pouvant être rattachés à un métier ou à une discipline en particulier. C'est l'ambition du réseau R2A2 de l'INRA, réseau dont l'objectif principal est de concevoir des projets de recherche transdisciplinaires.

1.1. Présentation du réseau R2A2 et de ses objectifs en termes de générativité

L'utilisation intensive des antibiotiques au sein des élevages (Chevance, Moulin, Chauvin & Gay, 2012) a conduit à l'émergence ainsi qu'à l'augmentation croissante de résistances aux antibiotiques impactant tant la santé animale que la santé humaine ou encore l'environnement. Par ailleurs, les vingt dernières années n'ont abouti au développement que de quelques nouvelles molécules antibiotiques : il est donc nécessaire d'utiliser avec précaution les antibiotiques développés jusqu'à présent afin de maintenir leur efficacité et d'éviter le développement de résistances. Cette question d'un meilleur usage des antibiotiques dans les élevages s'inscrit par ailleurs dans un souci plus large de développer des systèmes de production animale plus durables, possédant un impact limité sur l'environnement et économiquement viables à long terme (Landais, 1998).

Afin de faire face au développement de l'antibiorésistance animale, il est ainsi possible de chercher à promouvoir un usage réduit et ciblé des antibiotiques dans les élevages. C'est la raison pour laquelle différents plans ont été lancés au niveau national, européen et international. Par exemple, le plan français « Ecoantibio » propose de mettre en place différentes mesures visant à réduire la quantité d'antibiotiques utilisée en élevage. Cela suppose notamment de réfléchir à des modes de gestion des exploitations qui permettraient de mieux prévenir le développement de maladies infectieuses en élevage et d'améliorer la résistance des animaux aux agressions bactériennes tout en préservant la productivité. Concilier prévention et productivité peut cependant paraître contradictoire : il faut alors envisager de développer de nouvelles stratégies de conception permettant d'adresser ce besoin. La recherche relative à cette question implique en outre des disciplines variées, parmi lesquelles la microbiologie, l'épidémiologie, la nutrition ou encore la génétique. De façon générale, de nouvelles stratégies d'usage des antibiotiques ainsi que des traitements alternatifs aux antibiotiques pourraient être développés grâce à la collaboration entre praticiens et chercheurs : industriels de la clinique et de la pharmaceutique, épidémiologistes et microbiologistes possèdent en effet des compétences clés permettant de mieux comprendre le développement des résistances, et notamment, l'impact des antibiotiques sur la flore intestinale. Afin de prendre en compte le comportement et la perception des éleveurs face à la maladie, sa prévention et son traitement, le savoir des sociologues et des économistes est également nécessaire. C'est dans ce cadre que l'INRA a fondé le réseau R2A2 dont les objectifs sont : (1) de mener une réflexion transdisciplinaire associant des parties prenantes de secteurs variés, liés à la recherche publique comme privée, (2) de promouvoir les projets de recherche portant sur la réduction de l'usage d'antibiotiques et du risque d'antibiorésistance en élevage. Afin de favoriser l'émergence de projets en rupture, l'activité du réseau a été construite à l'aide d'une approche de conception s'appuyant sur la théorie C-K.

1.2. Le pilotage des activités du réseau : évaluer la qualité de l'exploration conceptive

Le pilotage du réseau R2A2 est assuré par un comité restreint chargé de définir l'agenda des réunions du réseau. En complément de ce comité de pilotage, une équipe composée de biologistes et de chercheurs spécialisés en conception se sont réunis à plusieurs reprises dans le but d'échanger sur la gestion du réseau et de développer une approche susceptible de favoriser le développement de projets transdisciplinaires innovants. Cette approche s'est notamment appuyée sur la construction d'arborescences C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). R2A2 organise en moyenne trois réunions par an afin de rassembler tous les chercheurs membres du réseau. Chaque réunion porte sur un thème de recherche spécifique, comme par exemple, la flore bactérienne. La matinée est consacrée à des exposés tandis que l'après-midi est dédiée à des ateliers visant à favoriser la discussion et l'émergence de nouveaux projets de recherche. La méthode C-K a été utilisée en amont des réunions afin de mieux organiser l'exploration de la thématique et de mieux choisir les différents thèmes d'atelier (les arborescences correspondantes seront présentées dans la section suivante). Par ailleurs, la méthode C-K a également été utilisée pendant les réunions : lors de l'animation de certains ateliers, une arborescence C-K a en effet été présentée aux participants afin qu'ils puissent la rediscuter, l'enrichir, et générer ainsi de nouveaux concepts pour de futurs projets.

L'évaluation de la stratégie de conception mise en place par le réseau a été réalisée de deux façons : la première consistait en une évaluation V2OR ((Agogué et al., 2014), la seconde correspondait à une enquête réalisée auprès des participants du réseau. Une présentation détaillée de la méthode V2OR a été donnée au chapitre précédent. Les quatre critères évalués par la méthode

(Variété, Originalité, Valeur et Robustesse) sont habituellement utilisés afin d'évaluer la qualité d'une exploration menée à l'aide d'une arborescence C-K. Pour notre étude, nous avons également utilisé la méthode V2OR afin d'évaluer les résultats obtenus par le réseau R2A2, et tout particulièrement, les différents projets de recherche construits à travers le réseau (voir tableau ci-après). En effet, une bonne variété des projets montre que le réseau ne se focalise pas uniquement sur un sujet en particulier, mais explore plusieurs voies conceptuelles. La variété contribue à l'évaluation du caractère transdisciplinaire du réseau sans être pour autant suffisante à évaluer le croisement des disciplines. Le critère de valeur a quant à lui été utilisé afin d'évaluer les nouvelles parties prenantes introduites à travers les projets du réseaux (nouveaux domaines de recherche, nouveaux champs d'application). L'évaluation de l'originalité des projets contribue également à évaluer l'intérêt de l'aspect transdisciplinaire du réseau. Ce sera notamment l'occasion de s'interroger sur le lien entre transdisciplinarité et originalité : on pourra notamment se demander si la transdisciplinarité améliore toujours l'originalité. Enfin, le critère de robustesse permettra de vérifier que les différents projets possèdent chacun un large champ d'applications.

Acronyme	Thème	Nb équipes	Disciplines	Financement
TRAJ	Trajectoires de changement de l'usage des antibiotiques dans les élevages	12	Sciences sociales, sciences animales et vétérinaires	Financé
AntibioReComBa	Diffusion de la résistance aux antibiotiques tout au long de la chaîne alimentaire	3-4	Microbiologie, épidémiologie pharmacologie	Soumis
RESET	Utilisation du microbiote d'animaux sains afin de prévenir les maladies	4	Microbiologie, nutrition, pharmacologie	Financé
ECARGAHIT	Méthode de marquage des gênes de résistance sur les bactéries	5	microbiologie, nutrition, pharmacologie	Soumis et rejeté
ANTIBIOSUD	Écologie et transmission des bactéries résistantes aux antibiotiques chez les humains et les animaux au Burkina Faso et au Vietnam	8	microbiologie, épidémiologie moléculaire, modélisation, médicine appliquée	Soumis et rejeté
RedAB	Réduction de l'usage des antibiotiques en élevage	5	Sciences sociales, médecine animale et	Financé

	laitier		vétérinaire	
SANT'Innov	Innover au sein des exploitations afin de concilier écologie et compétitivité : perspective santé animale	9	Sciences sociales, économie, sciences animales et vétérinaires sciences, microbiologie	Financé
OMAP	Optimisation de l'usage métaphylactique des antibiotiques chez le poulet	5	Sociologie, épidémiologie, pharmacologie, clinique, modélisation	Financé

Tableau 7. Liste des projets ayant émergé du réseau R2A2

Dans le but d'évaluer la capacité du réseau à aider les participants à créer de nouveaux contacts et à générer de nouvelles idées, nous avons par ailleurs réalisé deux types d'enquêtes : des entretiens approfondis avec sept différents types d'acteurs du réseau: chefs de projets, animateurs d'atelier, vétérinaires, industriels, chercheurs, membres de l'administration et membres de plateformes de recherche. Au total, 12 entretiens approfondis ayant duré entre 40 min et 1 h ont été réalisés. À partir des tendances observées à travers ces interviews, nous avons construit un court questionnaire diffusé ensuite à tous les participants du réseau. Nous avons distribué un questionnaire papier aux participants lors d'une réunion et envoyé ensuite à l'ensemble des membres du réseau un lien internet correspondant à ce même questionnaire. Une telle stratégie visait notamment à optimiser le taux de réponse. Les questions posées en entretiens interrogeaient notamment les participants sur leur opinion vis-à-vis du réseau R2A2 et leurs suggestions pour en améliorer le fonctionnement. Le fil conducteur des entretiens est présenté en Annexe 6. Le questionnaire comportait quant à lui dix questions concernant le croisement entre disciplines, l'évolution du regard des participants sur la thématique du réseau, leur opinion relative au financement de projets, à l'organisation des réunions et à la possibilité d'utiliser la connaissance acquise à l'extérieur du réseau. Le détail du questionnaire est présenté en Annexe 6.

Dans la section suivante, nous montrons comment nous avons exploité les résultats de cette recherche-intervention afin d'identifier les conditions favorables à un K-preordering à grande échelle.

2. Vers des organisations splitting : quelles caractéristiques organisationnelles pour permettre la réorganisation générative des structures de connaissances établies et partagées

Lors de l'exploration menée afin de définir la stratégie du réseau R2A2, nous avons construit plusieurs arborescences C-K. L'évolution de ces arborescences a permis de montrer l'effort réalisé afin de construire des concepts transdisciplinaires, et ainsi dépasser la structure classique des connaissances relatives à l'antibiorésistance animale. Par ailleurs, le format des réunions a aussi été modifié au fur et à mesure afin de favoriser la conception de programmes de recherche transdisciplinaires. Les deux sections ci-après présentent ainsi les efforts menés par le réseau pour revisiter la structure classique des disciplines, et notamment, la façon dont il a adapté son usage de la méthodologie C-K, ainsi que sa propre organisation.

2.1. Un reordering des objets d'étude du réseau : passage de partitions pluridisciplinaires à des partitions transdisciplinaires

Le premier arbre C-K développé avec les chercheurs de l'INRA est présenté ci-après. La première partition de l'arbre distingue trois types de pratiques visant à réduire l'antibiorésistance en élevage : trouver une alternative aux antibiotiques, prévenir plutôt que traiter et développer des traitements antibiotiques à moindre résistance. Chacun de ces concepts

réalise assez peu de liens entre disciplines : le concept de nouvelles molécules alternatives aux antibiotiques concerne principalement la pharmacologie ; Le concept consistant à privilégier la prévention plutôt que le traitement concerne majoritairement les sciences vétérinaires ; enfin, le concept de traitements antibiotiques à moindre résistance relève principalement de la microbiologie et de la pharmacologie. Ce premier arbre C-K a par ailleurs été l'occasion d'identifier de la connaissance manquante, et notamment des connaissances relatives au diagnostique de précision : en effet, qu'il s'agisse d'usage de molécules alternatives ou de traitements antibiotiques de précision, la question du diagnostique est cruciale. Il faut être capable d'identifier la présence de la maladie, le type de maladie ainsi que son ampleur au sein de l'élevage afin de déterminer le nombre d'animaux à traiter et comment les traiter.

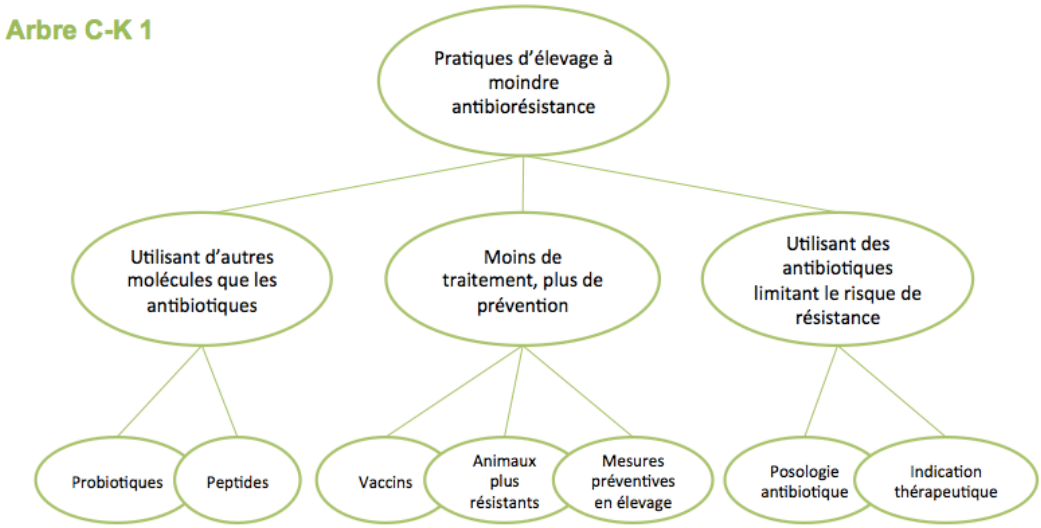


Figure 75. Premier arbre C-K développé par l'équipe du réseau R2A2 : une première partition respectant la structure des disciplines

Une deuxième version de cet arbre C-K a ainsi été développée en partant d'une logique d'action. Elle distingue les pratiques relatives à l'élevage extensif - c'est-à-dire ne cherchant pas à maximiser la productivité - et les

pratiques relatives aux actions à mener par les éleveurs du point de vue préventif d'une part, et du point de vue curatif d'autre part. De telles partitions génèrent ainsi des concepts mêlant différentes disciplines, comme par exemple la sociologie, la cognition (psychologie et prise de décision de l'éleveur) ou encore l'écologie.

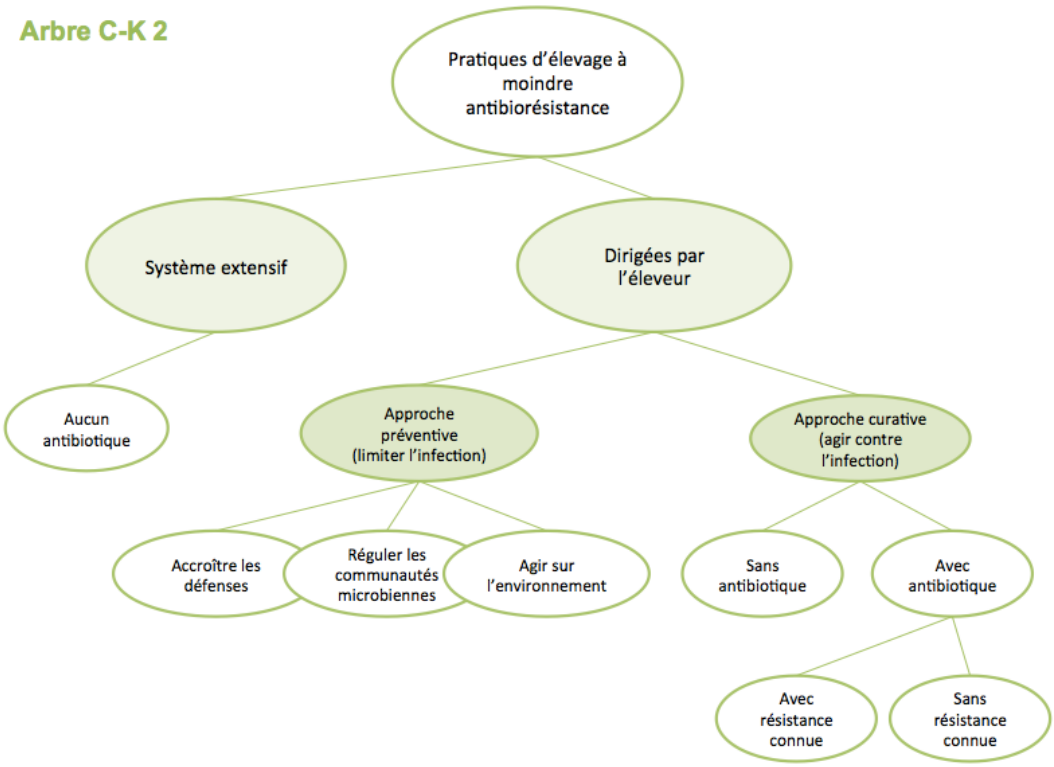


Figure 76. Première évolution de l'arbre C-K : une première partition sur les moyens d'action et une distinction entre approche préventive et approche curative

Cette deuxième arborescence fut à nouveau challengée, notamment afin d'y intégrer des idées intéressantes mais non présentes, comme par exemple la question de la détection des maladies au sein de l'élevage. Le troisième arbre C-K présenté ci-après comporte ainsi de nouvelles partitions : détection précoce vs. détection routinière, antibiotique ciblant uniquement le pathogène vs. antibiotique visant le pathogène et d'autres bactéries, etc. Ces

nouvelles partitions impliquent ainsi de nouveaux acteurs et de nouvelles disciplines, comme par exemple, la médecine de précision.

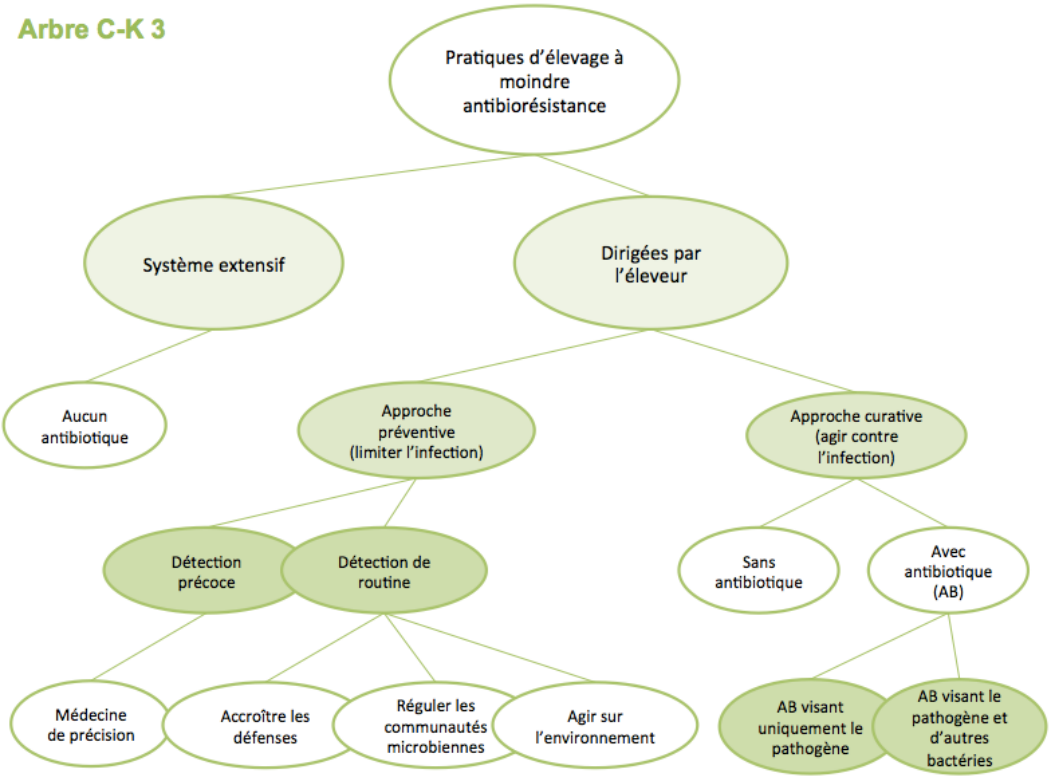


Figure 77. Deuxième évolution de l'arbre C-K : distinction entre détection précoce/ détection de routine et distinction du mode de ciblage de l'antibiotique

Une évaluation V2OR (Agogué et al., 2014) a permis d'évaluer la progression de la qualité de l'arborescence C-K. Le premier arbre C-K présente une faible valeur et une faible originalité : en particulier, il ne fait pas intervenir de nouvelles parties prenantes autres que les éleveurs. La variété et la robustesse sont plutôt bonnes. Le dernier arbre C-K présente en revanche une bonne variété et une bonne originalité (par exemple, avec le concept de détection précoce). La valeur est aussi présente grâce à l'implication de nouveaux acteurs comme par exemple les vétérinaires, les laboratoires, les techniciens d'élevage, les fournisseurs, et l'environnement au sens large. La robustesse des concepts générés nécessite en revanche d'être améliorée

grâce à l'acquisition de connaissances manquantes : de nouvelles connaissances permettraient en effet de développer de nouveaux concepts expansifs identifiés comme intéressants, tels que la détection précoce ou encore l'antibiotique agissant uniquement sur le pathogène responsable de l'infection.

2.2. Une évolution constante du mode d'organisation des réunions du réseau : optimiser la générativité et s'adapter aux attentes des participants

Dans cette section, nous montrons dans un premier temps la façon dont le format et le thème des réunions du réseau ont été adaptés, notamment en fonction des attentes des participants. Nous présentons ensuite une évaluation des projets ayant émergé du réseau à l'aide d'une méthode adaptée de V2OR. Enfin, nous présentons une évaluation de la performance du réseau, cette fois réalisée à travers le regard des membres du réseau et s'appuyant sur les entretiens menés auprès de douze participants ainsi que sur le questionnaire diffusé au sein du réseau.

Depuis la création du réseau, et jusqu'à fin 2016, dix journées de réunions ont été organisées par R2A2. Le nombre moyen de participants était de 37 personnes, dont 24 provenant de la recherche, 5 appartenant à des instituts techniques et au ministère de l'agriculture, 4 vétérinaires ou éleveurs et 4 personnes provenant de l'industrie pharmaceutique. Les chercheurs appartiennent à un large panel de disciplines, de la biologie moléculaire, à la production animale, la nutrition, la clinique, la pharmacologie, la microbiologie, l'épidémiologie, ou encore la sociologie. Au total, 133 personnes différentes ont assisté à au moins une réunion du réseau, dont un tiers est venu au moins trois fois et un dixième au moins six fois. Les personnes n'ayant participé qu'une fois sont venues par intérêt pour

le sujet traité lors de la réunion correspondante. Les thèmes des réunions ont été assez variés : des mesures préventives pour éviter l'usage d'antibiotiques, en passant par les facteurs humains relatifs aux pratiques d'usage, les mécanismes d'émergence de la diffusion de la résistance au niveau génomique ou épidémiologique, jusqu'aux alternatives thérapeutiques aux antibiotiques.

L'agenda des différentes réunions a été élaboré au fur et à mesure par le comité de pilotage, dans le but de s'adapter à la progression des idées, aux attentes des participants ou bien aux appels à projet en cours. Même si le comité avait en tête avec un agenda scientifique à long-terme, le choix du thème de chaque réunion était réalisé peu de temps à l'avance afin d'être le plus adapté possible à tous ces facteurs. De la même façon, la fréquence des meetings a été adaptée au fur et à mesure : elle était relativement élevée au lancement de R2A2, lors de la première année, ce afin de créer un sentiment d'appartenance à un réseau et de faire en sorte que les participants apprennent à mieux se connaître. Puis, la fréquence des réunions a été diminuée afin d'éviter un effet de saturation chez les participants.

Concernant le planning de chaque réunion, la matinée était en général consacrée à des exposés réalisés par des experts sur leurs travaux de recherche ou sur un champ d'expertise spécifique, tandis que l'après-midi était dédiée des workshops en sous-groupes qui ont pris au fur et à mesure des réunions une perspective de plus en plus créative. Sur le total des dix réunions, 21 workshops ont ainsi été organisés. Au cours des premiers workshops, un certain nombre de projets ont pu être générés (voir Tableau 7 présenté ci-avant) et furent accompagnés, au cours de l'atelier, de l'identification d'un chef de projet et de différentes disciplines à impliquer. Certains workshops n'ont cependant pas permis d'identifier directement un projet et le chef de projet associé. Afin de pouvoir tout de même valoriser les idées en rupture générées lors de ces ateliers, les membres du comité de pilotage se sont attachés à identifier, pour chacune de ces idées, un chercheur intéressé par la gestion d'un groupe de travail dédié au sujet. Le comité l'a

ensuite aidé à organiser une série d'ateliers de suivi permettant d'approfondir le sujet. Cela fut réalisé pour quatre sujets : (1) le respect des éleveurs vis-à-vis des mesures de biosécurité et des bonnes pratiques relatives à l'hygiène en élevage (3 ateliers), (2) la façon dont les éleveurs gèrent la métaphylaxie, c'est-à-dire le traitement d'une partie sensible de l'élevage plutôt que de l'intégralité de l'élevage (4 ateliers), (3) les antibiotiques sans impact sur la flore digestive (3 ateliers), (4) la diffusion de la résistance aux antibiotiques au sein de l'élevage et de l'environnement (7 ateliers). Par ailleurs, au fur et à mesure des réunions, les organisateurs se sont attachés à promouvoir de plus en plus la génération de concepts en rupture. Les workshops ont ainsi évolué de simples groupes de réflexion à des sessions de brainstorming créatif. Par ailleurs, les méthodes de la conception innovante ont également été intégrées aux ateliers : des cartographies C-K ont été préparées pour 3 thèmes d'ateliers et les participants ont été invités à réagir sur ces cartographies afin de générer des concepts innovants. Aussi peut-on souligner la grande flexibilité présentée par le réseau, capable d'adapter au fur et à mesure - et parfois à très court terme - l'agenda et le mode d'organisation de ses réunions en fonction des attentes des participants et de ses propres besoins.

Afin d'évaluer les résultats obtenus par le réseau, l'ensemble des projets générés a été évalué grâce à une adaptation de la méthode V2OR. Le panel de projets présente ainsi une bonne variété : les concepts développés à travers les projets ne se recoupent que rarement et se réfèrent à des voies d'innovation variées. La variété peut aussi se retrouver dans la variété des disciplines mobilisées par l'ensemble des projets, ce qui est l'un des reflets de l'ambition de transdisciplinarité du réseau : chacun des projets mobilise en général deux ou trois disciplines. Par ailleurs, un dialogue entre des disciplines considérées comme très distantes les unes des autres contribue à améliorer l'originalité des projets. Par exemple, le projet TRAJ constitue un point de rencontre réussi entre sciences sociales, animales et vétérinaires. Il

permet d'adresser la question originale de l'identification des trajectoires adoptées afin de diminuer l'usage des antibiotiques en élevage et considère différents points de vue : tant les facteurs psychologiques et sociaux, que les mesures de prévention et de contrôle. Concernant le critère de valeur, les différents projets ont favorisé l'émergence et l'implication de nouveaux acteurs : vétérinaires, éleveurs ou encore industriels de la pharmaceutique. Le réseau R2A2 a en effet permis de prendre en compte l'expertise de personnes du terrain, comme par exemple les observations réalisées au quotidien par les éleveurs ou encore leurs besoins et leurs questionnements. Les sujets de travail ainsi proposés nécessitaient souvent l'implication de plusieurs disciplines et de plusieurs métiers. La valeur a donc été renforcée par le nombre important d'équipes de recherche impliqué dans chaque projet. Concernant la pratique de la métaphylaxie au sein des élevages de volailles, trois questions différentes furent ainsi adressées par des disciplines aussi variées que la sociologie, l'épidémiologie ou encore la pharmacologie. Enfin, la robustesse des projets est pour le moment assez difficile à évaluer si on se limite à une réflexion en termes de résistance au changement de contexte (par exemple, un changement d'espèce, d'antibiotique ou de bactérie). La robustesse actuelle des projets peut être cependant validée par le fait qu'un financement a été obtenu pour la plupart d'entre eux (ce qui est en fait à la fois signe d'originalité, de valeur et de robustesse). À ce stade, on peut imaginer que l'introduction de nouvelles connaissances (relatives par exemple à l'identification de gênes de résistance dans l'environnement) ou de nouveaux contextes (comme l'application à une autre espèce, par exemple, une application en pisciculture) enrichirait potentiellement l'exploration et les résultats obtenus par le réseau.

Au delà d'une évaluation des projets, nous avons souhaité évaluer la performance du réseau à partir de la perception de ses membres. Les entretiens approfondis menées avec douze participants ont souligné la capacité du réseau à favoriser la mise en relation entre chercheurs et

praticiens, l'acquisition de nouvelles connaissances, la génération d'idées et l'élaboration de nouveaux projets. Les participants apprécient la flexibilité du réseau, et notamment sa capacité à adapter le format de ses réunions ou encore les thèmes abordés en atelier. Le réseau a su se défixer de la structure des connaissances initiale (centrée sur la distinction entre les différentes disciplines et les différents centres de recherche) en menant des réflexions sur des thèmes croisant différentes disciplines. Cette perception se distingue de certains résultats obtenus en industrie qui montrent que les réseaux inter-entreprises sont fortement influencés par la structure de connaissances des entreprises, et ce d'autant plus que les structures des connaissance établies et partagées au sein des différentes organisations se ressemblent (Ozman, 2006). Bien que la structure de connaissances basée sur le découpage en disciplines soit commune et partagée par les participants de R2A2, le réseau a su se détacher rapidement de cette logique. Les résultats du questionnaire (papier et en ligne) se sont révélés être en accord avec les informations obtenues à partir des interviews. Au total, 48 membres du réseau (sur les 133 comptabilisés) ont répondu au questionnaire : 29 ont répondu au questionnaire en ligne et 19 au questionnaire papier. Le questionnaire est présenté en Annexe 6. Il comporte 12 questions auxquelles les participants étaient invités à répondre selon une échelle de 1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord). La plupart des participants ont souligné la bonne flexibilité du réseau, ainsi que sa capacité à croiser différentes disciplines (à cette dernière question, 40,4% des participants ont donné une note de 4 et 29,8% une note de 5). Sur ce dernier point, un nombre encore plus important de participants estime que cette dimension transdisciplinaire est particulièrement importante à la performance du réseau (56 % de participants affirmaient être tout à fait d'accord). Le lecteur intéressé par les résultats de cette enquête trouvera en Annexe 6 une représentation graphique des réponses obtenues à partir du questionnaire en ligne.

On peut ainsi conclure que le fait de participer au réseau a permis aux participants de modifier non seulement leur perception du thème traité par le réseau (la lutte contre l'antibiorésistance) mais également le regard porté sur leurs propres sujets de travail. Par ailleurs, les participants ont réussi à mobiliser la connaissance acquise lors des réunions au delà du périmètre du réseau. Ces résultats portant sur l'évaluation de la performance du réseau ainsi que les observations réalisées lors de notre recherche-intervention nous ont ainsi permis d'identifier un certain nombre de facteurs organisationnels favorisant la restructuration générative des connaissances établies et partagées au sein d'une organisation.

2.3. Identification des caractéristiques organisationnelles favorisant la restructuration générative des connaissances

À partir de l'observation du fonctionnement du réseau et des retours recueillis auprès de ses membres, nous avons pu identifier trois caractéristiques organisationnelles permettant à R_2A_2 de mener un K-preordering génératif :

- Tout d'abord, le réseau présente une bonne capacité à s'affranchir des frontières de l'organisation dans laquelle il s'inscrit : l'INRA. Il réunit en effet des chercheurs de domaines variés, appartenant à des centres de recherche distincts, ainsi que des praticiens (vétérinaires, éleveurs, techniciens), des administratifs et des industriels et réussit à les faire échanger sur des thèmes d'intérêt communs.
- Ensuite, le réseau s'est révélé particulièrement flexible dans son mode de fonctionnement : il a été capable de faire évoluer le format des réunions ainsi que les thèmes des réunions en fonction des attentes des participants et de la progression de ses propres

besoins. Par ailleurs, le réseau a également su mobiliser, à chaque nouvelle réunion, de nouveaux membres susceptibles d'apporter des connaissances pertinentes pour le sujet abordé.

- Enfin, le réseau s'attache à promouvoir le transfert et la transformation des connaissances acquises et des concepts générés lors des réunions. Il accompagne la formation de projets autour de concepts à fort potentiel de valeur. Par ailleurs, accompagner les porteurs de projet dans l'obtention un financement semble particulièrement déterminant dans la valorisation des acquis du réseau au delà de R2A2.

La figure ci-après résume les trois caractéristiques organisationnelles permettant à une structure de promouvoir la restructuration générative des connaissances établies et partagées au sein d'une organisation ou de plusieurs organisations. Une telle structure souhaitant favoriser la restructuration générative des connaissances sera appelée **structure splitting**.

Caractéristiques organisationnelles favorables à la restructuration générative des connaissances : Caractéristiques des structures splitting

C1 : une capacité à s'affranchir des frontières relatives à l'organisation ou aux organisations d'origine ;

C2 : une bonne flexibilité i.e. une capacité à faire évoluer son mode de fonctionnement ;

C3 : une bonne capacité de transfert et de transformation des acquis, au sein de l'organisation d'origine et au delà.

Par ailleurs, il est important d'insister sur le fait que la mise en place de ces facteurs nécessite souvent un appui de l'organisation d'origine. En effet, le but d'une structure splitting étant de revisiter la structure des connaissances établie et partagée à l'échelle de l'organisation dans un but génératif, les effets génératifs ainsi obtenus seront d'autant plus bénéfiques qu'ils ne profitent pas seulement à la structure splitting mais également à l'organisation d'origine. Par ailleurs, le fonctionnement même de la structure dépend souvent de l'appui de l'organisation d'origine. Par exemple, le réseau R2A2 a vu le jour à l'origine sous l'initiative de l'INRA : il s'inscrit dans l'un des métaprogrammes mis en place par l'organisation et dont le but affiché est de promouvoir la transdisciplinarité dans la recherche. D'autre part, les projets émergeant au sein de R2A2 nécessitent un financement et les travaux de recherche générés doivent pouvoir être publiés : ainsi, les résultats du réseau ne peut être pensés totalement indépendamment du système dans lequel s'inscrit l'organisation d'origine.

La réorganisation générative des connaissances peut ainsi être pilotée par une organisation des acteurs à caractère « splitting » : une telle structures d'acteurs s'attache en effet à casser un certains nombre de modularités et de déterminismes dans la façon de mobiliser les acteurs, allant ainsi à l'encore de l'hypothèse de Mirroring. Par exemple, le fait de choisir des thèmes de travail qui ne peuvent être adressés de façon indépendante par une seule discipline vient rediscuter la modularité de la base de connaissance partagée. L'hypothèse de Mirroring veut en effet qu'un produit comporte autant de sous-systèmes que l'organisation qui le conçoit possède de départements distincts : ceci est dû au fait que chaque département est capable d'adresser l'objet à concevoir de son propre point, ce point de vue venant parfaitement s'articuler avec celui des autres départements (modularité). La collaboration entre différents départements n'est en général ni nécessaire ni souhaitable. Par exemple, un jouet que l'on

souhaite transformer en jouet connecté aura bien souvent le même aspect extérieur que le jouet d'origine : dans le concept de Lego Mindstorm, l'intégration de moteurs ou de capteurs ne changent pas le design de la brique Lego. De même, la conception d'une poupée connectée prendra en compte séparément la conception du design extérieur, d'une interface wifi ou encore d'un micro émetteur/récepteur. Dans le cas de l'INRA, la structure encourage au contraire les parties prenantes à travailler sur des objets ne rentrant pas dans une optique mono- ou pluridisciplinaire, ou encore, mono- ou pluri-métiers : elle favorise plutôt la construction d'un regard commun à caractère splitting, c'est-à-dire ne pouvant être adressé par l'articulation modulaire ou déterministe de différentes perspectives disciplinaires ou métiers. Notons que si cet effet splitting favorise davantage la générativité que l'effet miroir, il peut aussi rendre moins évidente l'activité de conception notamment du point de vue des modalités de collaboration, de financement ou encore de publication scientifique. Aussi sera-t-il nécessaire pour une organisation visant à exploiter le phénomène de restructuration générative des connaissances de savoir quand privilégier un effet splitting et quand privilégier un effet miroir.

Conclusion de la partie VI – Conditions organisationnelles favorisant la restructuration des connaissances : d'un effet miroir à un effet splitting

Dans cette dernière partie, nous avons ainsi montré qu'il est possible de provoquer la réorganisation générative des connaissances en s'affranchissant de la dimension non-verbale. En particulier, nous avons réussi à favoriser la réorganisation de structures de connaissances établies et partagées à l'échelle d'une ou plusieurs organisations, structures pourtant susceptibles d'être particulièrement difficiles à modifier. Comme nous l'avons montré en Génie des Procédés, le K-preordering peut être intégré à une démarche conception et mené en parallèle de la génération de concepts. L'intégration d'une phase de K-preordering revisitant les grandes règles opérant au sein de la base de connaissances de départ est ainsi susceptible d'augmenter la variété et l'originalité des idées produites lors de la phase de génération de concepts. Dans le cas du réseau R2A2, on retrouve cette même ambition de mener en parallèle un travail de réorganisation de la structure des connaissances (phase de K-preordering) et un travail de réflexion créative (phase de génération de concepts). L'articulation entre les deux phases doit elle aussi être pensée par l'organisation : le K-preordering et la génération de concepts sont certes à mener en parallèle, mais les effets génératifs seront d'autant plus forts que les deux logiques s'enrichissent l'une l'autre.

Par ailleurs, la recherche-intervention réalisée au sein du réseau de l'INRA a permis de mettre en évidence trois caractéristiques organisationnelles favorisant la restructuration générative des connaissances : tout d'abord, la structure doit être capable de s'affranchir des

frontières de l'organisation d'origine. De plus, elle doit être capable d'évoluer rapidement et de s'adapter facilement, notamment afin d'introduire les connaissances restructurantes nécessaires au K-preordering. Enfin, afin de maximiser son impact, la structure devra être pouvoir transférer ses acquis au sein de l'organisation d'origine, voire au-delà.

Dans le cas de l'INRA et du Génie des Procédés, la revisite de la structure des connaissances tend à aller à l'encontre d'un effet miroir en privilégiant un effet de type splitting : les modifications de la base de connaissances tendent en effet à supprimer les modularités et les déterminismes existant au sein de la structure de connaissances initiale. Elles privilégient des concepts ne pouvant être adressés que par le regard croisé de plusieurs disciplines et de plusieurs métiers. L'organisation splitting des acteurs consiste finalement elle aussi à casser les interactions modulaires et déterministes entre acteurs, ces derniers devenant ainsi fortement dépendants les uns des autres s'ils souhaitent atteindre des effets génératifs. En revanche, il est également nécessaire de tenir compte des avantages offerts par la modularité et le déterminisme pour la conception : ils rendent en effet la conception réglée particulièrement efficace. Toute structure souhaitant concevoir en s'appuyant sur la générativité du phénomène de K-preordering devra donc chercher à articuler ce phénomène à la performance de l'effet miroir. Afin d'améliorer ses capacités de conception, une telle structure pourra ainsi mener une réflexion sur le juste équilibre à trouver entre effet miroir et effet splitting.

Conclusion générale : une pré-structuration générative des connaissances pour la conception innovante

Si le parfumeur Jean-Claude Ellena confie avoir préféré la figue plutôt que les agrumes comme point de départ de la conception d'*Un jardin en Méditerranée*, c'est avant tout parce ce choix lui permettait de réinventer ses propres imaginaires. Ne pas céder à la facilité en refusant d'inclure dans sa composition le fruit qui était pour lui le plus emblématique de la Méditerranée lui permettait d'envisager de nouvelles associations. Ces nouveaux liens apporteraient alors de l'inattendu, redéfiniraient fondamentalement la structure de ses connaissances et permettraient ainsi la création d'un nouveau parfum, d'un nouvel emblème de la Méditerranée. Les découvertes comme les redécouvertes permettent ainsi, à l'instar de l'odeur de la feuille de figuier d'Ellena, de modifier en profondeur nos bases de connaissances, de réaliser des associations inattendues et de changer les règles du jeu de la conception. Le parfumeur confie en effet que la « créativité est aussi liée à l'oubli » : pour concevoir, il n'est pas nécessaire de chercher à mobiliser le plus de connaissances possibles, mais plutôt de chercher à mobiliser les « bonnes » connaissances, celles qui seront capables de changer notre propre perception et de rediscuter nos automatismes de conception. Concernant les croisements entre connaissances, nous pouvons ainsi affirmer, à l'instar Ellena, que « les associations les plus espacées sont souvent les plus intéressantes ». Les connaissances les plus génératives sont en effet celles qui, malgré leur étrangeté, possèdent la capacité de restructurer profondément les connaissances acquises afin de mieux s'y

intégrer. Une telle restructuration est alors source de générativité et de création.

C'est sans doute d'ailleurs cette capacité à intégrer des connaissances restructurantes qui caractérise la sérendipité. L'invention de la Pénicilline par Alexander Fleming n'est pas le fruit d'un simple hasard : c'est parce que ses études portaient sur les propriétés des bactéries que Fleming fut capable d'identifier la valeur des moisissures ayant envahi, en son absence, ses boîtes de Pétri. Un autre que lui aurait peut-être jeter les boîtes de Pétri en question. En intégrant cette connaissance surprenante à sa base de connaissances, Fleming a su restructurer son savoir et ainsi imaginer une nouvelle stratégie pour lutter contre les bactéries : utiliser des levures plutôt qu'un antiseptique. Aussi la sérendipité n'est-elle pas l'invention « par hasard » : elle est l'art d'observer, de repérer dans son environnement les connaissances pertinentes et restructurantes, et de savoir utiliser à bon escient ces connaissances pour la déduction - tels les princes de Serendip - ou pour la création, tel Alexander Fleming. On peut même aller plus loin que la sérendipité : plutôt que de se contenter d'être attentif à la présence fortuite de connaissances restructurantes dans l'environnement, on pourrait très bien, comme le fait Jean-Claude Ellena, partir à leur recherche. La restructuration générative des connaissances, loin d'être uniquement fortuite, peut en effet se provoquer.

Au cours de nos travaux de recherche, nous avons ainsi investigué le pouvoir génératif de la structuration des connaissances en conception. Dans les sections suivantes, nous présentons les principaux résultats obtenus au cours de la thèse, les limites de notre étude, les implications managériales de nos résultats ainsi que les perspectives de recherche future.

1. Résumé des principaux résultats de l'étude

La thèse compte cinq résultats principaux : (1) la mise en évidence d'un phénomène génératif basé sur la structuration des connaissances : le K-preordering, (2) la proposition d'un modèle prenant en compte l'évolution de la structure des connaissances lors de la conception, (3) l'identification de trois conditions nécessaires à la performance restructurante du non-verbal en conception collective, (4) la proposition d'une méthode de conception intégrant le K-preordering en parallèle de la génération de concepts, et (5) l'identification de trois facteurs organisationnels favorisant la restructuration générative des connaissances.

(1) Mise en évidence d'un phénomène génératif basé sur la structuration des connaissances : le K-preordering

En réalisant une première étude centrée sur le dessin d'architecte, nous avons pu mettre en évidence un phénomène génératif original : le K-preordering. À travers les dessins étudiés, nous avons montré en effet que la stratégie de conception de l'architecte consiste, non pas en un travail dans l'espace des concepts (noté C), mais en un travail portant sur la base de connaissances (notée K). L'architecte formule ainsi très peu de concepts : il s'attache en revanche à organiser sa base de connaissance de façon minutieuse, en éliminant les éléments qui ne lui semblent pas pertinents et en y intégrant les éléments qu'il juge intéressants (voir figure ci-après). Cette stratégie consistant à structurer de façon minutieuse la base de connaissances afin de favoriser la génération d'un concept original correspond ainsi à un « Knowledge preordering ».

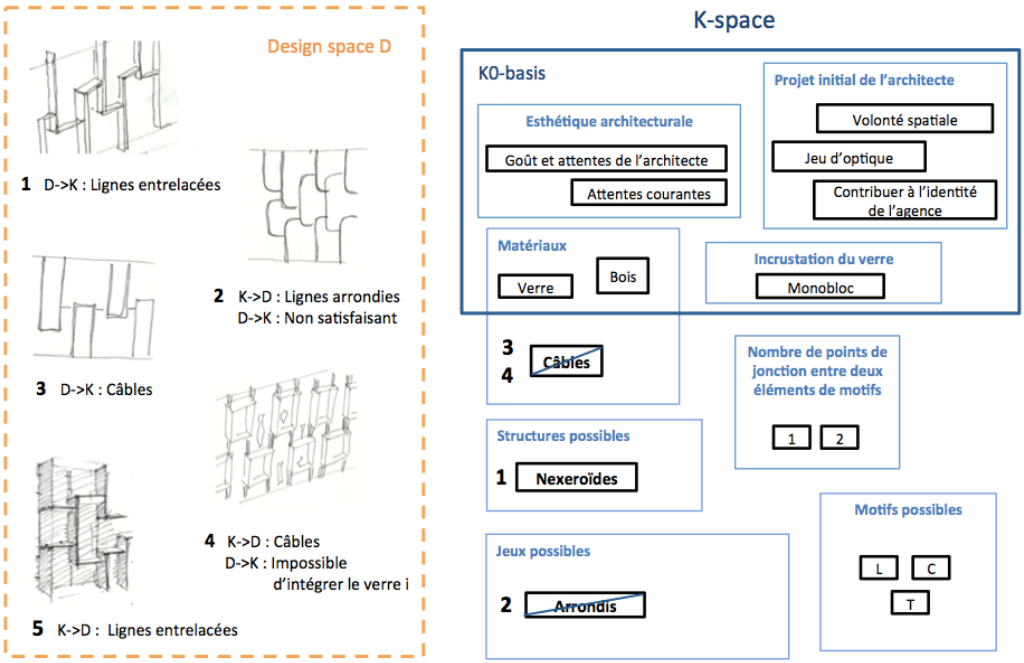


Figure 78. Effets du dessin sur l'organisation de l'espace K. À gauche : Dessins de la séquence de la bibliothèque. À droite : Effets de ces dessins sur l'espace K de l'architecte.

Afin de générer de nouveaux concepts, il est en effet possible d'utiliser une connaissance nouvelle selon de deux types de mécanismes : mobiliser directement cette connaissance dans la formulation d'un concept, ou alors, exploiter cette connaissance pour réorganiser la structure des connaissances acquises, permettant ainsi l'ouverture de nouvelles voies conceptuelles (voir figure ci-après). L'exemple de l'architecte a ainsi montré qu'il était possible de concevoir en travaillant presque exclusivement au sein de l'espace des connaissances via des mécanismes de restructuration générative de la base de connaissances.

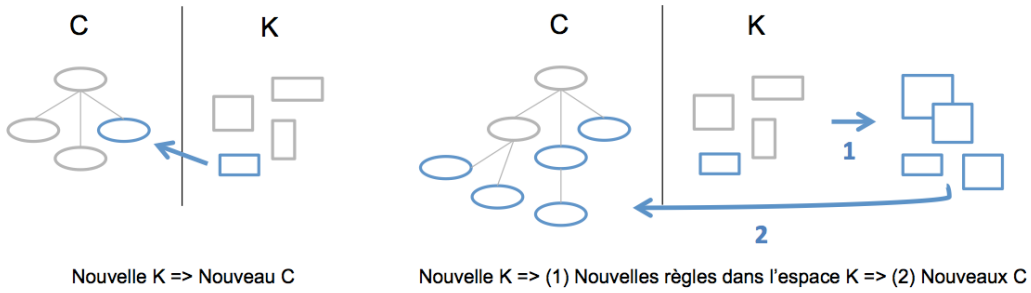


Figure 79. Deux façons de générer des concepts : utilisation directe des nouvelles connaissances (à gauche) et K-preordering (à droite)

(2) Proposition d'un modèle prenant en compte l'évolution de la structure des connaissances lors de la conception

Afin de rendre compte du phénomène de K-preordering, nous avons proposé d'étendre le modèle canonique de la conception en y incluant la structure des connaissances R(K) (voir figure ci-après). Considérer les relations existant au sein de la base de connaissance permet en effet d'en représenter l'évolution au cours de la conception.

Modèle canonique étendu

- **X, R** : l'espace des objets à concevoir doté de l'ensemble des relations entre objets
- **K(X), R(K) :** l'espace des connaissances **doté de l'ensemble des relations R entre connaissances**
- **D(X) :** espace des décisions sur X
- **P(X)** : espace des propriétés portant sur les objets de X

Figure 80. Modèle canonique étendu, prenant en compte la structure de l'espace des connaissances

Nous avons par ailleurs montré qu'en conception réglée, la conception tend à transformer la structure de connaissances pour la rendre parfaitement

modulaire et déterministe. En conception innovante en revanche, la théorie du Forcing de Cohen prédit qu'une transformation de la base de connaissance tendant à éliminer la modularité et le déterminisme entre connaissances favorisera la générativité (voir figure ci-après). Une structure parfaitement non déterministe et non modulaire est alors appelée structure splitting : ce type de structure s'avère ainsi particulièrement intéressante pour la conception innovante.

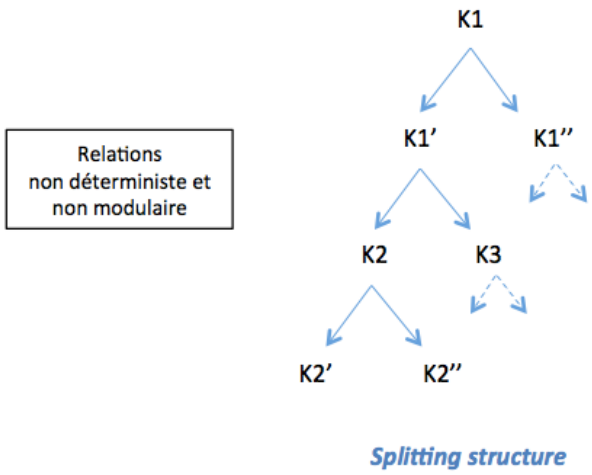


Figure 81. Structure de connaissances splitting i.e. « splittée »

Dans le cas des dessins d'architecte, nous avons pu montrer que la structuration réalisée par le concepteur tendait précisément à éliminer les rapports déterministes ou modulaires entre connaissances. L'architecte construit ainsi une base de connaissance splitting qui favorisera l'émergence d'un concept original.

(3) Identification de trois conditions nécessaires à la performance restructurante du non-verbal en conception collective

Afin de mieux contrôler la restructuration générative des connaissances, nous nous sommes ensuite intéressés à la façon dont les structures non-verbales (telles que le dessin ou encore le parfum) pouvaient être mobilisées afin de piloter le K-preordering en conception collective. Quatre cas d'usage du non-verbal ont alors été comparés afin de déterminer les conditions d'usage favorisant la générativité, et plus particulièrement, la restructuration générative des connaissances. Nous avons pu ainsi identifier trois conditions nécessaires à la performance générative du non-verbal pour le K-preordering (voir encadré ci-après). Par ailleurs, nous proposons que le leader créatif incarne la figure d'acteur chargée de mettre en place ces conditions favorables à la restructuration générative des connaissances reposant sur le non-verbal.

Conditions nécessaires à la performance générative du non-verbal en session collective

CN1 : l'effet produit par le non-verbal est cohérent avec les attentes du leader créatif ;

CN2 : les participants peuvent interpréter facilement le média non-verbal utilisé pendant la session et en extraire des informations nouvelles (concepts et connaissances) ;

CN3 : les médias non-verbaux produits en session possèdent un fort pouvoir génératif.

(4) Proposition d'une méthode de conception intégrant le K-preordering en parallèle de la génération de concepts

Par la suite, nous avons cherché à proposer des méthodes de conception basées sur le K-preordering et pouvant être appliquées au-delà du cas des structures de connaissances non-verbales. Nous avons ainsi testé, dans le domaine du Génie des Procédés, une méthode intégrant un travail de restructuration générative des connaissances en parallèle d'un travail de génération de concepts (voir figure ci-après). Un tel processus a permis de rediscuter un certain nombre de paradigmes du Génie des Procédés et a ainsi ouvert de nouvelles perspectives d'exploration au sein de la discipline.

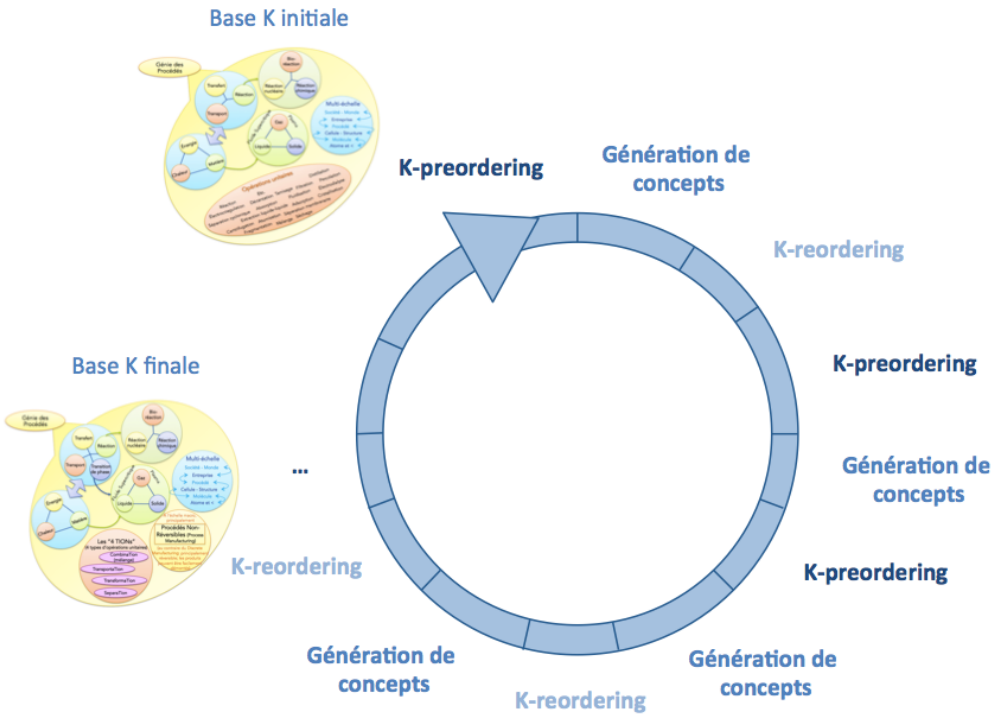


Figure 82. Cycle de conception intégrant l'opération de K-reordering

(5) Identification de trois facteurs organisationnels favorisant la restructuration générative des connaissances

Enfin, afin d'enrichir notre modélisation, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques organisationnelles favorisant le pilotage du K-preordering à l'échelle d'une ou plusieurs organisations. Dans le cas de structures de connaissances établies et partagées à grande échelle, il apparaît en effet délicat de mener une restructuration des connaissances à impact génératif. Pouvoir mettre en place des conditions organisationnelles favorisant une telle restructuration est alors important. À l'aide d'une recherche-intervention menée au sein d'un réseau de recherche de l'INRA qui avait pour objectif de concevoir des programmes de recherche transdisciplinaires, nous avons ainsi pu identifier trois caractéristiques organisationnelles permettant de promouvoir un K-preordering génératif à grande échelle (voir encadré ci-après).

Caractéristiques organisationnelles favorables à la restructuration générative des connaissances : Caractéristiques des structures splitting

C1 : une capacité à s'affranchir des frontières relatives à l'organisation ou aux organisations d'origine ;

C2 : une bonne flexibilité i.e. une capacité à faire évoluer son mode de fonctionnement;

C3 : une bonne capacité de transfert et de transformation des acquis, au sein de l'organisation d'origine et au delà.

Une structure organisationnelle réunissant ces trois facteurs a ainsi été nommée « structure splitting ». Ces structures permettent notamment de créer un cadre organisationnel dépassant le traditionnel effet miroir – aussi appelé Mirroring – opérant souvent en industrie et générant des produits dont l'architecture reflète celle de l'organisation qui les conçoit. Les conclusions de notre étude soulignent enfin que, s'il est important pour ces structures splitting de favoriser les effets de restructuration afin de promouvoir la générativité, il est également important de savoir exploiter à bon escient les effets miroirs, ceux-ci se révélant particulièrement intéressants pour les phases de conception réglée.

2. Limites de l'étude

Les limites de notre étude concernent, d'une part, le cadre choisi pour étudier les structures de connaissances non-verbales, et d'autre part, le cadre relatif à l'application du processus génératif intégrant le K-preordering.

Concernant l'étude du non-verbal, les observations rapportées dans la thèse font uniquement intervenir deux types de médias non-verbaux : tout d'abord, les dessins avec les séquences de dessins de T/E/S/S, l'illustrateur du KCP à la RATP ou encore la session de brainsketching chez Renault ; mais aussi les images (photographies, pictogrammes et dessins numériques) avec le cas d'une session animée chez Renault par un designer. Notre étude des effets génératifs du dessin pourrait être cependant répétée pour d'autres types de médias non-verbaux, comme par exemple les essences de parfum (non-verbal olfactif) ou encore les mouvements d'une chorégraphie (non-verbal visuel et haptique). La méthodologie développée pour étudier les effets génératifs portés par le dessin d'architecte, puis l'impact du dessin et des images en session de créativité, peut en effet être appliqué à d'autres situations de conception reposant sur des structures non-verbales. Une telle

étude suppose néanmoins d'être capable d'expliciter verbalement le raisonnement de conception associé au non-verbal. Au cours de nos recherches, nous avions également interrogé deux concepteurs manipulant quotidiennement le non-verbal dans un but génératif : un élève en dernière année d'étude aux Beaux-Arts, ainsi qu'une maroquinière ayant déposé plusieurs brevets et lauréate des Talents des Cités. Dans les deux cas, le média non-verbal utilisé était également du dessin, dessin exploité ensuite pour devenir un prototype d'objet. Les effets génératifs mis en évidence dans ces deux cas se sont révélés cohérents avec les conclusions des études détaillées dans la thèse.

En ce qui concerne l'application du processus de conception proposé dans la thèse et intégrant le K-preordering, les études menées en recherche-intervention ont permis de tester sa performance sur des cas de conception relatifs au monde de la recherche. Ce choix d'application provenait d'une volonté de tester la possibilité de réorganiser une structure de connaissances stabilisée, largement partagée et susceptible d'être plus difficile à revisiter : le découpage des sciences en différentes disciplines. On peut cependant imaginer que le processus proposé dans la thèse puisse être appliqué à d'autres structures de connaissances établies et partagées au sein d'une organisation, mais cette fois dans le domaine de l'industrie ou des services. Les grandes entreprises sont en effet susceptibles de présenter des effets de fixation relatifs à la structure des connaissances portées par leur organisation et pourraient constituer un nouveau terrain d'application du processus proposé dans la thèse. Par ailleurs, les cas étudiés en recherche-intervention correspondaient tous deux à une activité de conception innovante et n'intégraient, à ce stade, que très peu de réflexions concernant la conception réglée. Notre étude pourrait ainsi être étendue par l'analyse d'un cas de conception présentant à la fois des phases de conception innovante et des phases de conception réglée.

3. Des implications managériales pour le pilotage de la conception

La thèse comporte deux types d'implications managériales : la première concerne la façon de mobiliser les connaissances pour la générativité, la seconde, la façon d'utiliser le non-verbal en session de créativité collective.

Au cours de nos travaux de recherche, nous avons montré que la restructuration des connaissances peut se révéler particulièrement générative. Plus particulièrement, l'introduction de connaissances tendant à éliminer les modularités et les déterminismes existant au sein de la base de connaissances initiale favorise l'émergence d'un concept original. Les connaissances entraînant une restructuration de l'espace des connaissances ont été appelées « restructurantes ». Une structure de connaissances ne comportant ni déterminisme ni modularité a été appelée « structure splitting ». Pour favoriser la générativité, notre étude a ainsi montré qu'il est intéressant de chercher à mobiliser des connaissances restructurantes tendant à rendre la structure des connaissance splitting. Du point de vue managérial, cela possède deux types d'implications dépendant de l'échelle à laquelle on se situe. À l'échelle de l'équipe, un manager souhaitant renforcer la créativité de son groupe pourra s'attacher à lui apporter, non pas le plus grand nombre possible de connaissances, ni le plus grand nombre possible de connaissances originales, mais un certain nombre de connaissances restructurantes qui permettront d'ouvrir des voies conceptuelles qui n'auraient pas été accessibles sans restructuration. Par ailleurs, un bon levier d'action de la restructuration générative consiste en l'introduction de connaissances venant casser les rapports déterministes ou modulaires présents dans la base de connaissances mobilisée par l'équipe. Changer les perspectives de son équipe à l'aide de telles connaissances nécessite cependant d'accompagner le groupe dans la restructuration des connaissances et la génération de concepts, ces dernières s'avérant

particulièrement coûteuses cognitivement. Cet accompagnement peut par exemple passer par la recherche de nouvelles connaissances qui aideront à donner un sens aux nouveaux paradigmes, ainsi qu'à explorer les nouvelles voies ouvertes par le changement de structure. À l'échelle de l'organisation, on peut également encourager l'introduction de connaissances à visée restructurante dans le but de garder en mouvement perpétuel la structure des connaissances établies et partagées au sein de l'organisation. Cela permettrait d'éviter certains effets de fixation organisationnels et de promouvoir ainsi la conception innovante. En revanche, à l'échelle de l'organisation, la restructuration générative des connaissances peut supposer de créer une structure organisationnelle spécifique. Une telle structure dédiée à la restructuration devra alors s'attacher à présenter les caractéristiques organisationnelles rappelées précédemment.

La thèse présente également des résultats intéressants concernant l'usage des médias non-verbaux en session de créativité. Ces résultats sont étroitement liés aux résultats relatifs au pouvoir génératif de la restructuration des connaissances et à l'importance de mobiliser des connaissances restructurantes. Notre recherche a ainsi montré que les médias non-verbaux permettent de superposer à la fois des concepts et des connaissances, et même le plus souvent, plusieurs concepts et plusieurs connaissances. Par ailleurs, nous avons montré que la générativité du non-verbal tient, d'une part, à sa capacité à apporter au concepteur des connaissances restructurantes, d'autre part, au fait qu'il offre à ce dernier un espace pour concevoir une base de connaissances de structure splitting. Enfin, concernant l'usage du non-verbal en session de créativité collective, nous avons pu identifier trois conditions nécessaires à la performance générative des médias non-verbaux (ces conditions sont rappelées en section 1). Nous proposons qu'une figure d'acteur incarnée par le leader créatif s'attache à mettre en place et à maintenir ces conditions en cours de session afin d'améliorer la générativité de son équipe et d'optimiser l'usage des

médias non-verbaux, usage dont le potentiel n'est pas toujours pleinement exploité.

Dans la section suivante, nous ouvrons quelques perspectives de recherche. Parmi les pistes restant à explorer, on compte notamment la possibilité de tester l'intégration du K-preordering et du non-verbal au sein de processus de conception déjà largement utilisés en industrie, comme par exemple le processus KCP. Dans une perspective plus large, nous posons également la question de l'application du K-preordering à la gouvernance d'entreprise.

4. Questions et perspectives de recherche

Pour conclure, nous proposons quelques perspectives de recherche portant sur la restructuration générative des connaissances pour la conception innovante.

Tout d'abord, le processus de restructuration générative des connaissances proposé dans la thèse a été testé pour deux situations de conception, toutes deux relatives au monde de la recherche (LRGP et INRA). La modélisation d'un processus mêlant K-preordering et génération de concepts pourrait être enrichie par des applications expérimentales menées en entreprise, qu'il s'agisse de l'industrie ou du monde des services. Cela pourrait notamment aider à explorer certaines questions relatives à la mise en place du processus KCP, processus de conception inspiré de la théorie C-K. En particulier, l'intégration d'une réflexion relative au K-preordering permettrait de raffiner les méthodes de choix des connaissances à présenter en phase K : ce choix est aujourd'hui largement basé sur le souci de mobiliser à la fois des connaissances relatives à l'état de l'art et des connaissances expansives, et à la fois des connaissances maîtrisées en interne et des connaissances extérieures à l'entreprise. À ce souci, on pourrait ainsi

ajouter celui d'anticiper l'impact des connaissances présentées en phase K sur la structure de connaissances relative à l'exploration : un certain nombre de connaissances restructurantes pourraient ainsi être mobilisées afin de favoriser les effets de restructuration. De la même façon, une réflexion relative au K-preordering pourrait être menée en phase C : les animateurs de la phase C pourraient s'attacher à identifier les effets de restructuration intervenant en cours de session, et veiller à apporter aux participants, en plus d'un certain nombre de connaissances expansives, quelques connaissances impactant la structure de connaissances. Comme nous l'avons vu dans la thèse, cette introduction de connaissances restructurantes nécessite de développer des méthodes destinées à soutenir l'effort cognitif qu'elle requière des participants. Cela constitue un exemple de projet d'expérimentation.

Par ailleurs, la thèse s'est essentiellement intéressée aux effets génératifs de la restructuration des connaissances en conception innovante. Comprendre comment ces effets de restructuration impactent par la suite les phases de conception réglée, pourrait également constituer une perspective de recherche intéressante : comment la réorganisation des connaissances pour la conception innovante impacte-t-elle par la suite le développement des concepts générés en conception réglée ? Un tel projet de recherche pourrait par exemple s'appuyer sur les travaux menés sur le modèle R-I-D (Hatchuel, Le Masson & Weil, 2001), travaux qui étudient précisément l'articulation entre conception réglée et conception innovante. Une telle problématique de recherche pourrait également amener à réfléchir sur l'équilibre à trouver entre des effets génératifs de type splitting et des effets d'optimisation de type miroir déjà étudiés par la théorie des organisations (Colfer & Baldwin, 2010 ; MacCormack, Rusnak & Baldwin, 2012).

Enfin, de nouvelles perspectives de recherche pourraient être ouvertes pour la gouvernance d'entreprise, et ce, afin d'étendre notamment

les études portant sur le pouvoir génératif des missions d'entreprise (Levillain, 2015). Si une distinction a déjà été opérée entre mission d'entreprise restrictive et mission d'entreprise générative, on pourrait imaginer étudier le cas particulier des missions d'entreprises venant restructurer - volontairement ou involontairement - la structure des connaissances portée par l'organisation. De la même façon qu'il est possible de générer des concepts selon deux mécanismes (génération directe par utilisation d'une connaissance surprenante ou bien restructuration des connaissances), une mission d'entreprise pourrait en effet se révéler générative de deux façons distinctes : soit parce qu'elle constitue un intitulé expansif venant apporter une perspective de conception nouvelle à l'entreprise (Levillain, 2015), soit parce que le fait de se donner une mission d'entreprise vient restructurer les connaissances stabilisées et partagées au sein de l'organisation. Ces missions génératives restructurantes ouvriraient ainsi des voies d'exploration qui étaient jusqu'à présent inatteignables au regard de la structure de connaissances portée par l'entreprise.

Listes des publications associées à la thèse

Brun, J., Ezzat, H., & Weil, B. (2015). Managing the impacts of non-verbal devices on idea generation: a new challenge for creative leaders. *European Academy of Management Conference*, Warsaw, Poland.

Brun, J., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Designing with sketches: the generative effects of knowledge preordering. *Design Science, 2*.

Brun, J., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). Analyzing the generative effects of sketches with design theory: sketching to foster knowledge reordering. *International Conference on Engineering Design*, Milan, Italy.

Potier, O., Brun, J., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). How innovative design can contribute to Chemical and Process Engineering development? Opening new innovation paths by applying the C-K method. *Chemical Engineering Research and Design, 103*, 108-122.

Références bibliographiques

Agogué, M. (2012). *Modéliser l'effet des biais cognitifs sur les dynamiques industrielles : innovation orpheline et architecte de l'inconnu.* Thèse de doctorat, Sciences de Gestion, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Agogué, M., Hooge, S., Arnoux, F., & Brown, I. (2014). *An Introduction to Innovative Design, Elements and Applications of C-K theory*. Presses des Mines.

Agogué, M., Kazakçi, A., Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., Poirel, N., & Cassotti, M. (2013). The impacts of examples on creative design: explaining fixation and stimulation effects. *Journal of Creative Behavior, 48*(1), 1-12.

Agogué, M., Le Masson, P., Dalmasso, C., Houdé, O., & Cassotti, M. (2015). Resisting classical solutions: The creative mind of industrial designers and engineers. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 9*(3), 313-318.

Agogué, M., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., & Cassotti, M. (2014). The impact of age and training on creativity: A design-theory approach to study fixation effects. *Thinking Skills and Creativity, 11*, 33-41.

Anderson, R. E., & Helstrup, T. (1993). Visual discovery in mind and on paper. *Memory and Cognition, 21*(3), 283-293.

Atilola, O., Tomko, M., & Linsey, J. S. (2016). The effects of representation on idea generation and design fixation: A study comparing sketches and function trees. *Design studies, 42*, 110-136.

Bass, B. (1985). *Leadership and performance beyond expectations*. New York: The Free Press.

Bass, B. (1991). From transactional to transformational leadership: Learning to share the vision. *Organizational dynamics, 18*(3), 19-31.

Brann, E. T. (1991). *The World of Imagination.* Maryland: Rowman & Littlefield Publishers Inc.

Bruce, A., Lyall, C., Tait, J., & Williams, R. (2004). Interdisciplinary integration in Europe: the case of the Fifth Framework programme. *Futures, 36*, 457-470.

Bürgi, P., & Roos, J. (2003). Images of Strategy. *European Management Journal, 21*(1), 69-78.

Camacho, L. M., & Paulus, P. B. (1995). The role of social anxiousness in group brainstorming. *Journal of personality and social psychology*, *68*(6), 1071-1080.

Camargo, M., Morel, L., Fonteix, C., Hoppe, S., Hu, G. H., & Renaud, J. (2011). Development of new concepts for the control of polymerization processes: Multiobjective optimization and decision engineering. II. Application of a Choquet integral to an emulsion copolymerization process. *Journal of Applied Polymer Science*, *120*(6), 3421-3434.

Catellin, S. (2014). *Sérendipité. Du conte au concept*. Le Seuil.

Charpentier, J. C. (2010). Among the trends for a modern chemical engineering, the third paradigm: The time and length multiscale approach as an efficient tool for process intensification and product design and engineering. *Chemical Engineering Research and Design*, *88*(3), 248-254.

Cherti, M., Kégl, B., & Kazakçi, A. (2016). Out-of-class novelty generation: an experimental foundation. In *Neural Information Processing Systems*.

Chevance, A., Moulin, G., Chauvin, C., & Gay, E. (2012). La consommation des antibiotiques à usage vétérinaire en France entre 1999 et 2010. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*, (53), 3-6.

Civaschi, M., & Milesi, G. (2014). Pictologies 150 films en bref. Éditions Prisma.

Cohen, P. J. (1966). *Set Theory and the Continuum Hypothesis*. New-York: W. A. Benjamin.

Cohen, P. J. (2002). The discovery of Forcing. *Rocky Mountain Journal of Mathematics, 32*(4), 1071-1100.

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: the two faces of R & D. *The economic journal*, *99*(397), 569-596.

Colfer, L., & Baldwin, C. Y. (2010). The mirroring hypothesis: Theory, evidence and exceptions. *Harvard Business School Finance Working Paper*, (10-058).

Davenport, T. H., De Long, D. W., & Beers, M. C. (1998). Successful Knowledge Management Projects. *Sloan Management Review, 39*(2), 43-57.

De Bono, E. (1989). *Six thinking hats*. London: Penguin.

Dewulf, A., François, G., Pahl-Wostl, C., & Taillieu, T. (2007). A Framing Approach to Cross-disciplinary Research Collaboration: Experiences from a Large-scale Research Project on Adaptative Water Management. *Ecology and Society, 12*(2).

Diehl, M., & Stroebe, W. (1987). Productivity Loss in Brainstorming Groups: Towards the solution of a riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, *53*, 497-509.

Drucker, P. F. (1995). The information executives truly need. *Harvard business review*, *73*(1), 54-62.

Ellena, J-C. (2015). *Le parfum*. «Que sais-je?» n° 1888. Presses Universitaires de France.

Favre, E., Marchal-Heusler, L., & Kind, M. (2002). Chemical product engineering: research and educational challenges. *Chemical Engineering Research and Design*, *80*(1), 65-74.

Felk, Y., Le Masson, P., Weil, B., Cogez, P., & Hatchuel, A. (2011). Designing patent portfolio for disruptive innovation – a new methodology based

on CK theory. *International Conference on Engineering Design*, Lyngby/Copenhagen, Denmark.

Ferguson, E. S. (1977). The Mind's Eye: Non verbal thought in technology. *Science, 197,* 827-836.

Ferguson, E. S. (1992). *Engineering and the Mind's eye.* MIT Press.

Fish, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the mind's eye: Sketching and visual cognition. *Leonardo, 23*(1), 117-126.

Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. MIT Press.

Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal, 4*(2), 123-143.

Goldschmidt, G. (2003). The Backtalk of self-generated sketches. *Design issues, 19*(1), 72-88.

Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist, 5*(9), 444-454.

Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.

Haner, U. E. (2005). Spaces for Creativity and innovation in Two Established Organizations. *Creativity and Innovation Management, 14*(3), 288-298.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2001). *From R&D to R-I-D: Design strategies and the Management of "Innovation fields"*. *International Product Development Management Conference*, Enschede.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2004). C-K theory in practice: lessons from industrial applications. *International Design Conference*, Dubrovnik.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2005). The Development of Science-Based Products: Managing by Design Spaces. *Creativity and innovation management*, *14*(4), 345-354.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2009). Design theory and collective creativity: a theoretical framework to evaluate KCP process. *International conference on Engineering Design*, Palo Alto, USA.

Hatchuel, A., & Weil, B. (2003). A new approach to innovative design: an introduction to C-K theory. *International Conference on Engineering Design*, Stockholm, Sweden.

Hatchuel, A., & Weil, B. (2009). C-K design theory: An advanced formulation. *Research in Engineering Design, 19*(4), 181-192.

Hatchuel, A., Weil, B., & Le Masson, P. (2013). Towards an ontology of design: lessons from C-K theory and forcing. *Research in Engineering Design, 24*(2), 147-163.

Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard business review*, *57*(1), 133-140.

Herder, P. M., Turk, A. L., Subrahmanian, E., & Westerberg, A. W. (2000). Challenges for process systems engineering in infrastructure design. *Computers & Chemical Engineering*, *24*(2), 1775-1780.

Hernon, P., & Rossiter, N. (2006). Emotional intelligence: which traits are most prized?. *College & Research Libraries*, *67*(3), 260-275.

Hill, M. (2009). Chemical product engineering - the third paradigm. *Computers & Chemical Engineering*, *33*(5), 947-953.

Hooge, S., Agogué, M., & Gillier, T. (2012). A new methodology for advanced engineering design: Lessons from experimenting C-K Theory driven tools. *International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia.

Horlick-Jones, T., & Sime, J. (2004). Living on the border: knowledge, risk and transdisciplinarity. *Futures*, *36*(4), 441-456.

Horn, R. E. (1998). *Visual Language: Global Communication for the 21st Century*. Bainbridge Island, Washington: MacroVU.

Itten, J. (1961). *The Art of color*. John Wiley & Sons.

Itten, J. (1975). *Design and Form, the Basic Course at the Bauhaus and Later*. Revised edition (first edition 1963) edn. John Wiley and Sons, Inc., London

Jansson, D. G., & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design studies*, *12*(1), 3-11.

Karniouchina, E., Victorino, L., & Verma, R. (2006). Product and Service Innovation: Ideas for future Cross-Disciplinary Research. *The Journal of Product Innovation Management, 23*, pp. 273-280.

Kazakçi, A., Cherti, M., & Kégl, B. (2016). Digits that are not: Generating new types through deep neural nets. *International Conference on Computational Creativity*.

Kelley, T., & Littman, J. (2001). *The Art of Innovation: Lessons in Creativity from IDEO America's Leading Design Firm*. New York: Currency Doubleday.

Klee, P. (1922). Beiträge zur bildnerischen Formlehre ("contribution to a pictorial theory of form", part of Klee 1921-2 lectures at the Bauhaus).

Klee, P. (1966). *On modern Art*. Faber and Faber Limited.

Klee, P. (2005). Cours du Bauhaus, Weimar 1921-1922. Contributions à la théorie de la forme picturale. Hazan.

Kohn, N. W., & Smith, S. M. (2010). Collaborative Fixation: Effects of Others' Ideas on. *Applied Cognitive Psychology*, *25*(3), 359-371.

Kostoff, R. N. (1999). Science and technology innovation. *Technovation, 19*, 593-604.

Kristensen, T. (2004). The Physical Context of Creativity. *Creativity and Innovation Management, 13*(2), 89-96.

Landais, É. (1998). Agriculture durable: les fondements d'un nouveau contrat social?. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, *33*(33), 5-22.

Le Lann, J. M., & Negny, S. (2007). Management of innovation and process systems engineering. *Computer Aided Chemical Engineering*, *2*, 319-320.

Le Masson, P., Hatchuel, A., Kokshagina, O., & Weil, B. (2015). Generic technique and the dynamics of technologies: using matroid and design theory to design techniques with systemic impact. *International Conference on Engineering Design*.

Le Masson, P., Hatchuel, A., & Weil, B. (2016). Design theory at Bauhaus: teaching "splitting" knowledge. *Research in Engineering Design, 27*(2), 91-115.

Le Masson, P., & Weil, B. (2010). La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : les expériences oubliées aux origines des bureaux d'étude. *Entreprises et Histoire, 58*, 51-73.

Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2014). *Théorie, méthodes et organisations de la conception*. Paris, France: Presse des Mines.

Lenfle, S., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). When project management meets design theory: revisiting the Manhattan and Polaris projects to characterize radical innovation and its managerial implications. *Creativity and Innovation Management, 25*(3), 378-395.

Levillain, K. (2015). *Les entreprises à mission: Formes, modèle et implications d'un engagement collectif.* Thèse de doctorat, Sciences de Gestion, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Lewis, M., & Moultrie, J. (2005). The Organizational Innovation Laboratory. *Creativity and Innovation Management, 14*(1), 73-83.

Li, J., & Kwauk, M. (2003). Exploring complex systems in chemical engineering - the multi-scale methodology. *Chemical Engineering Science*, *58*(3), 521-535.

MacCormack, A., Baldwin, C., & Rusnak, J. (2012). Exploring the duality between product and organizational architectures: A test of the "mirroring" hypothesis. *Research Policy*, *41*(8), 1309-1324.

McGown, A., Green, G., & Rodgers, P. A. (1998). Visible ideas: information patterns of conceptual sketch activity. *Design studies, 19*(4), 431-453.

Michalko, M. (2010). *Thinkertoys: A handbook of creative-thinking techniques*. Ten Speed Press.

Moggridge, G. D., & Cussler, E. L. (2000). An introduction to chemical product design. *Chemical Engineering Research and Design*, *78*(1), 5-11.

Mueller, J., Goncalo, J. & Kamdar, D. (2011). Recognizing creative leadership: Can creative idea expression negatively relate to perceptions of leadership potential?. *Journal of Experimental Social Psychology, 47*(2), 494-498.

Mullen, B., Johnson, C., & Salas, E. (1991). Productivity loss in brainstorming groups: a meta-analytic integration. *Basic and Applied Social Psychology*, *12*, 3-23.

Negny, S., & Le Lann, J. M. (2008). Case-based reasoning for chemical engineering design. *Chemical Engineering Research and Design. 86* (6), 648-658.

Nelson, R. R., & Winter, S. G. (2009). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press.

Nonaka, I., Umemoto, K., & Senoo, D. (1996). From information processing to knowledge creation: a paradigm shift in business management. *Technology in society, 18*(2), 203-218.

Osborn, A. F. (1957). *Applied Imagination*. New-York: Charles Scribner's sons.

Ozman, M. (2006). Knowledge integration and network formation. *Technological Forecasting and Social Change, 73*(9), 1121-1143.

Palladio, A. (1980). *Les quatre livres de l'architecture*. De l'imprimerie d'Edme Martin.

Palus, C. & Horth, D. (2005). Leading Creatively: The art of making sense. *Ivey Business Journal*, 69(7), 1-8.

Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge, towards a post-critical epistemology*. University of Chicago Press.

Potier, O., Brun, J., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). How innovative design can contribute to Chemical and Process Engineering development? Opening new innovation paths by applying the C–K method. *Chemical Engineering Research and Design*, *103*, 108-122.

Potier, O., & Camargo, M. (2012). Innovation in chemical engineering industries. *Process Engineering and Industrial Management*, 371-399.

Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design issues, 19*(4), 389-430.

Quintas, P., Lefrere, P., & Jones, G. (1997). Knowledge Management: a Strategic Agenda. *Long Range Planning, 30*(3), 385-391.

Ramadier, T. (2004). Transdisciplinarity and its challenges: the case of urban studies. *Futures, 36*(4), 423-439.

Robles, G. C., Negny, S., & Le Lann, J. M. (2009). Case-based reasoning and TRIZ: A coupling for innovative conception in Chemical Engineering. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *48*(1), 239-249.

Rodgers, P. A., Green, G., & McGown, A. (2000). Using concept sketches to track design progress. *Design studies, 21*(5), 451-464.

Roos, J., & Victor, B. (1999). Towards a new model of strategy-making as serious play. *European Management Journal, 17*(4), 348-355.

Rosenfield, P. L. (1992). The potential of transdisciplinary research for sustaining and extending linkages between the health and social sciences. *Social science & medicine*, *35*(11), 1343-1357.

Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How professionals Think in Action*. Basic Books.

Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in

designing. *Design studies, 13*(2), 135-156.

Smith, G. F. (1998). Idea-generation techniques: A formulary of active ingredients. *Journal of Creative Behavior, 32*(2), 107-133.

Smith, S. M., Ward, T. B., & Schumacher, J. S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory & Cognition 21*(6), 837-845.

Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms, *Handbook of creativity*, *1*, 13-15.

Stokols, D. (2006). Toward a science of transdisciplinary action research. *American journal of community psychology*, *38*(1-2), 63-77.

Stroebe, W., & Diehl, M. (1994). Why groups are less effective than their members: on productivity losses in idea-generating groups. *European Review of Social Psychology, 5*, 272-303.

Suh, N. P. (1990). *The principles of design* (Vol. 990). New York: Oxford university press.

Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design*. New York: Oxford university press.

Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their sketches? A protocol analysis. *Design studies, 18*, 385-403.

Suwa, M., Tversky, B., Gero, J., & Purcell, T. (2001). Seeing into sketches: regrouping parts encourages new interpretations. *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Australia.

Torrance, E. P. (1962). *Guiding creative talent*. Englewood cliffs: Prentice Hall.

Torrance, E. P. (1966). *The Torrance Test of Creative Thinking - Norms - Technical Manual Research Edition - Verbal Tests, Forms A and B, Figural tests, Forms A and B*. Princeton: Personnel Press.

Tversky, B. (1999). What does drawing reveal about thinking ? *Visual and spatial reasoning in design*. Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Australia

Ulrich, K. (1995). The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm. *Research Policy, 24*, 419-440.

Utterback, J. M., & Abernathy, W. J. (1975). A dynamic model of process and product innovation. *Omega, 3*(6), 639-656.

Van der Lugt, R. (2000). Developing a graphic tool for creative problem solving in design groups. *Design studies, 21*(5), 505-522.

Van der Lugt, R. (2002). Brainsketching and How it differs from brainstorming. *Creativity and innovation management, 11*(1), 43-54.

Van der Lugt, R. (2005). How sketching can affect the idea generation process in design group meetings. *Design Studies, 26*(2), 101-122.

Van Vugt, M., Jepson, S., Hart, C., & De Cremer, D. (2004). Autocratic leadership in social dilemmas: A threat to group stability. *Journal of Experimental Social Psychology*, *40*(1), 1-13.

Verstijnen, I.M., Heylighen, A., Wagemans, J., & Neuckermans, H. (2001). Sketching, analogies and creativity. *Visual and spatial reasoning in design*. University of Sydney, Australia.

Verstijnen, I. M., Van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., & Hennessey, J. M. (1998). Creative discovery in imagery and perception: combining is relatively easy, restructuring takes a sketch. *Acta psychological, 99 (2),* 177-200.

Vincent, J. F., & Mann, D. L. (2002). Systematic technology transfer from biology to engineering. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *360*(1791), 159-173.

Weiss, L. (2002). Developing tangible strategies. *Design Management Journal, 13*(1), 33-38.

Westmoreland, P. R. (2014). Opportunities and challenges for a Golden Age of chemical engineering. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, *8*(1), 1-7.

Woodward, J. (1980). *Industrial organization: Theory and practice*. New York: Oxford University Press.

ANNEXES

Annexe 1 : Séquences de dessins étudiées chez T/E/S/S

Annexe 2 : Analyse CKD des séquences de dessins 2 et 3

Annexe 3 : Images utilisées par le designer pour favoriser la génération de concepts sur le thème de la recharge communautaire

Annexe 4 : Raisonnement suivi pour établir la correspondance entre images et concepts

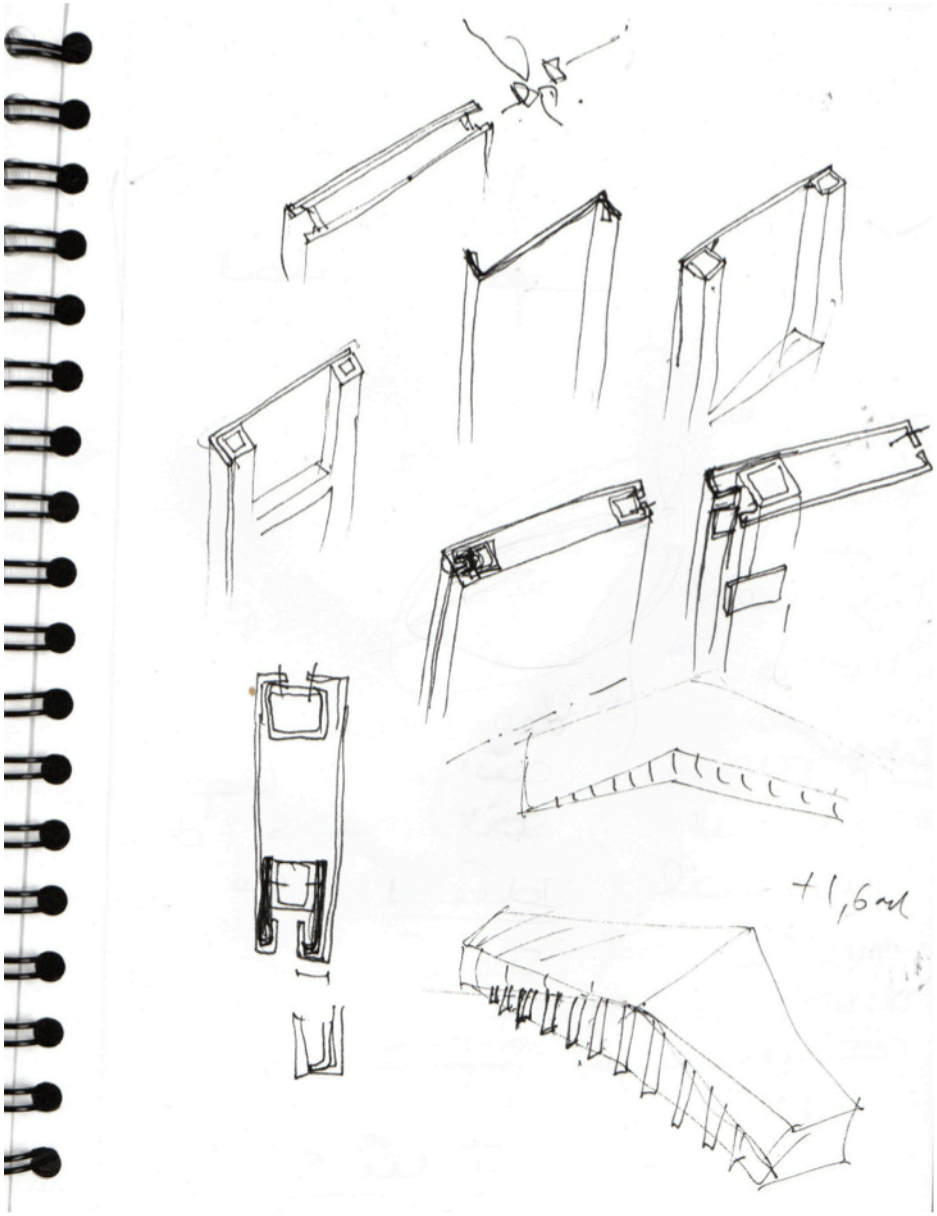
Annexe 5 : Détail des arbres CK développés sur les thèmes « La station d'épuration optimisée » et « Innover en Génie des Procédés » - Extrait de l'article de Potier, Brun, Le Masson & Weil (2015)

Annexe 6 : Résultats de l'enquête réalisée auprès des membres du réseau R2A2

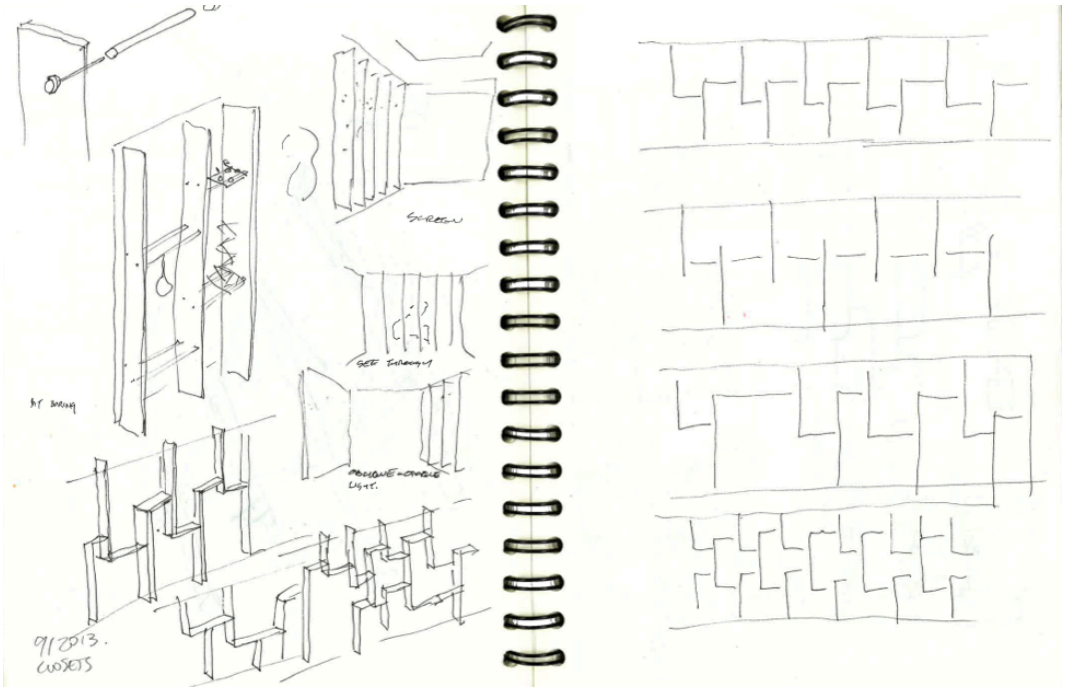
— Annexe 1 —

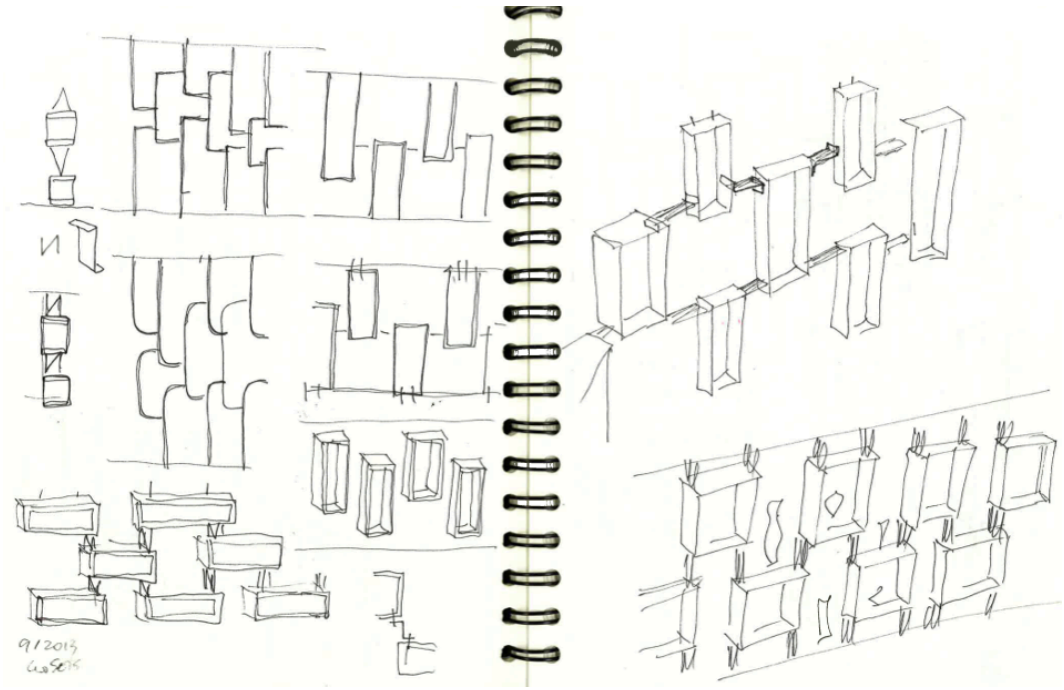
Séquences de dessins étudiées chez T/E/S/S

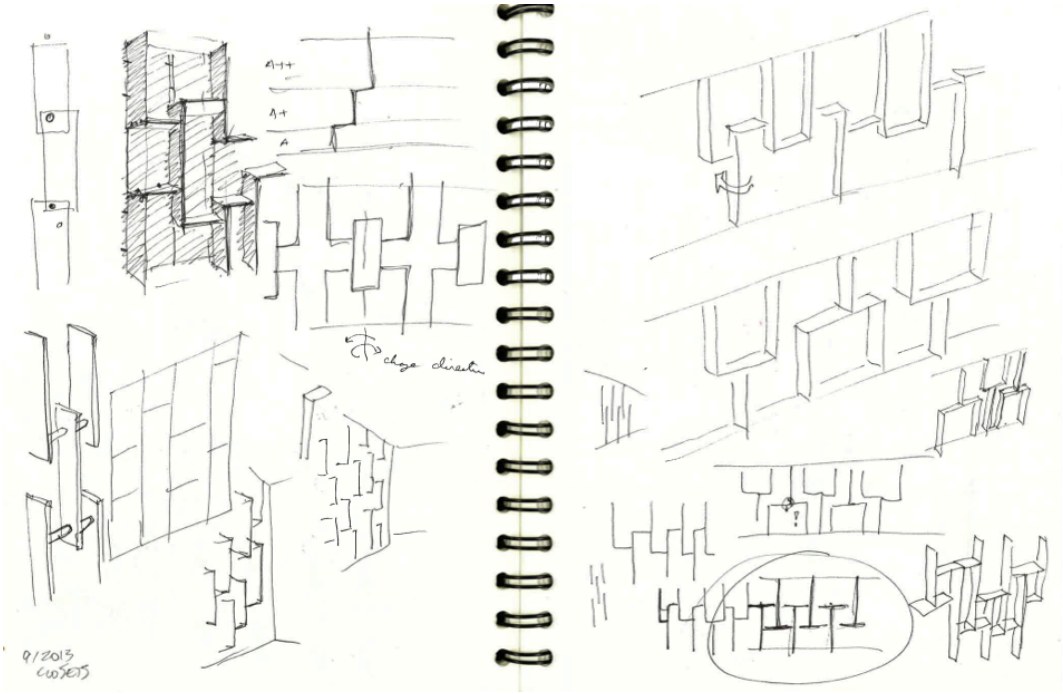
Séquence 1 : Brise soleil pour le Musée Palestine



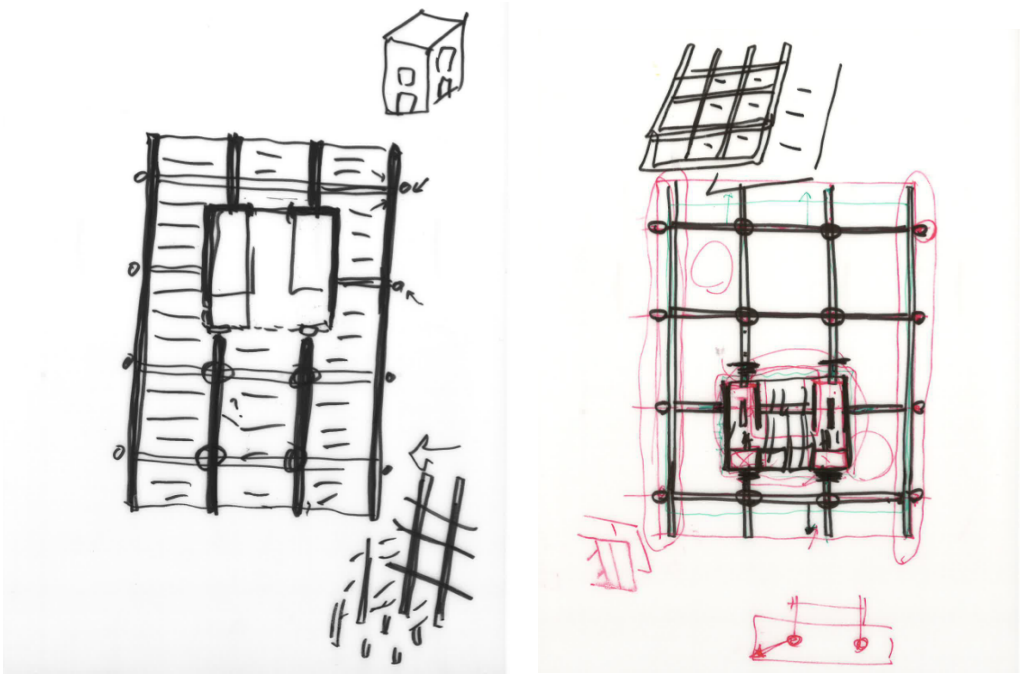
Séquence 2 : Bibliothèque pour l'agence T/E/S/S

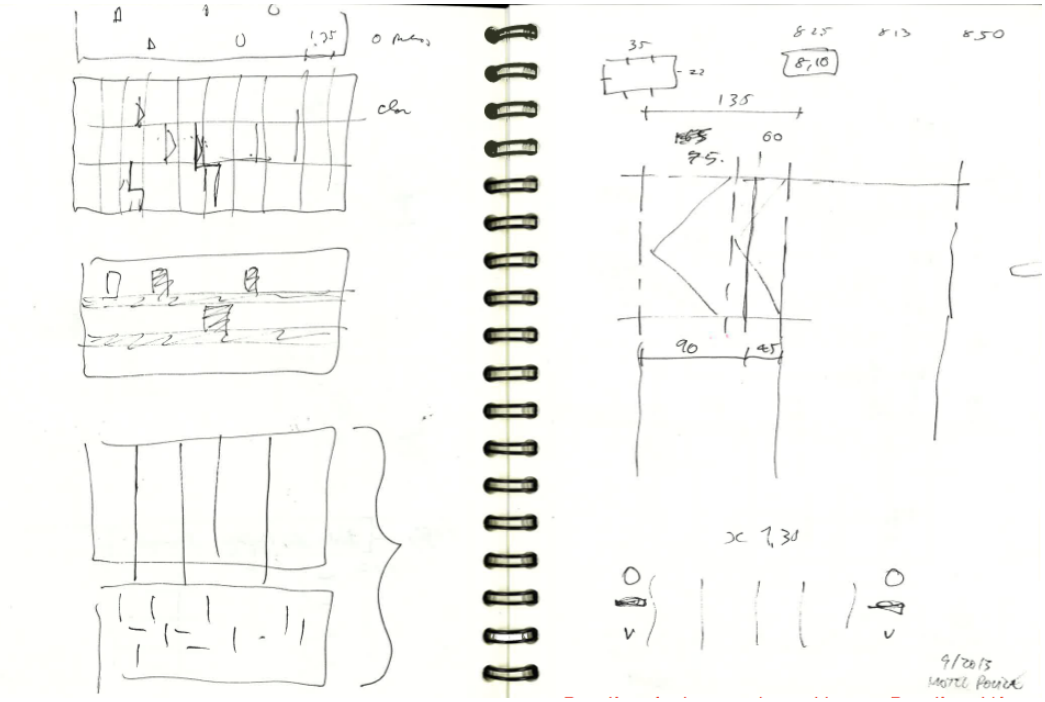


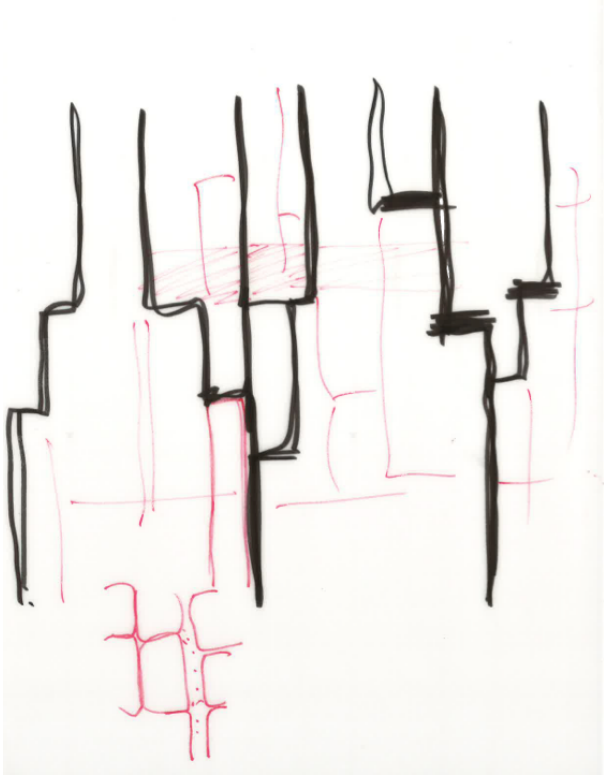


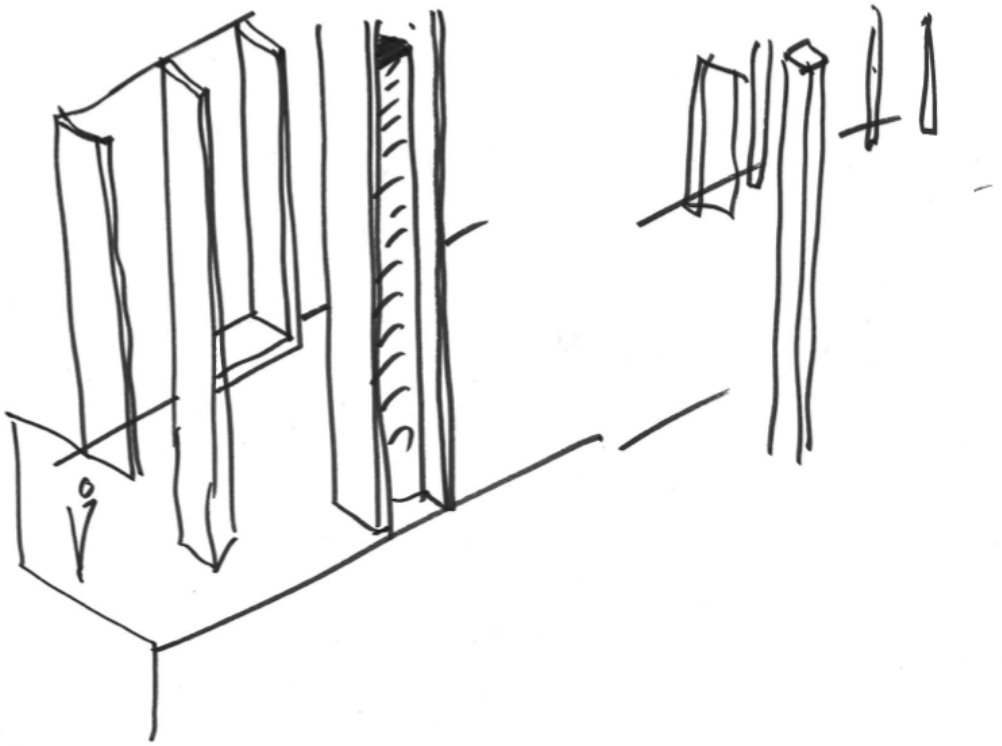


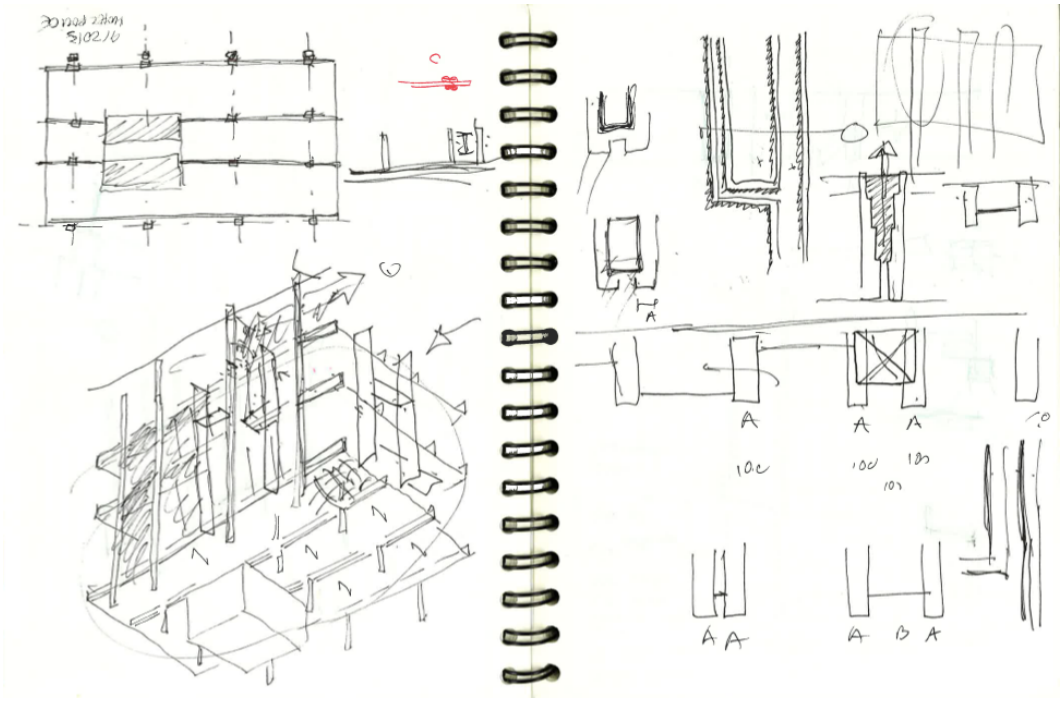
Séquence 3 : Hôtel de Police

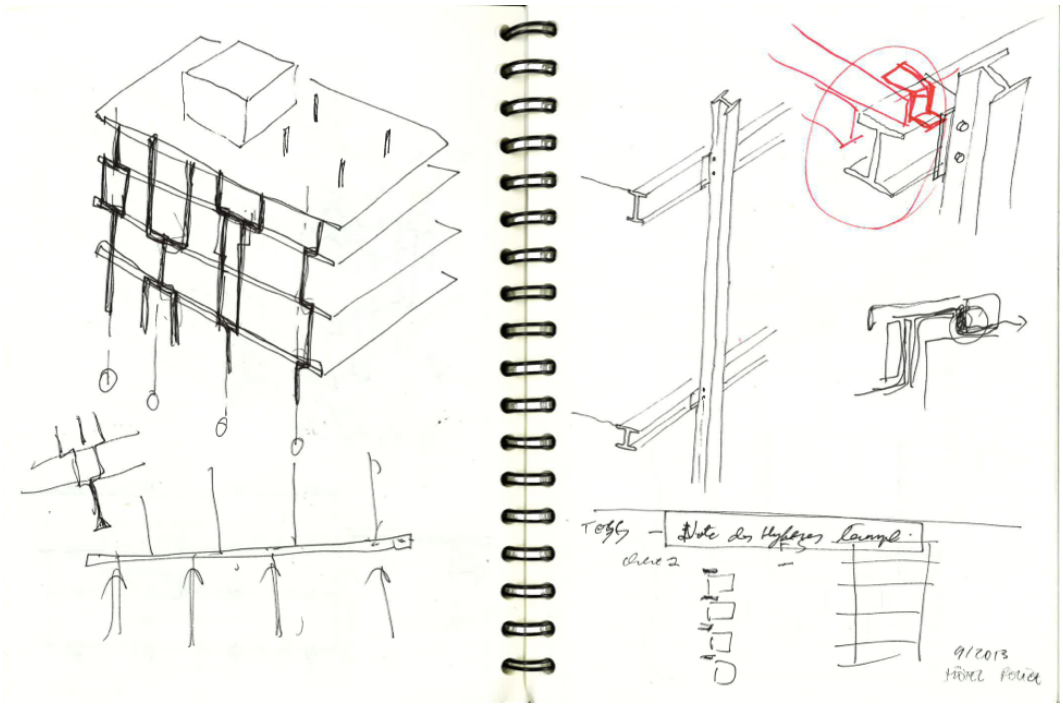


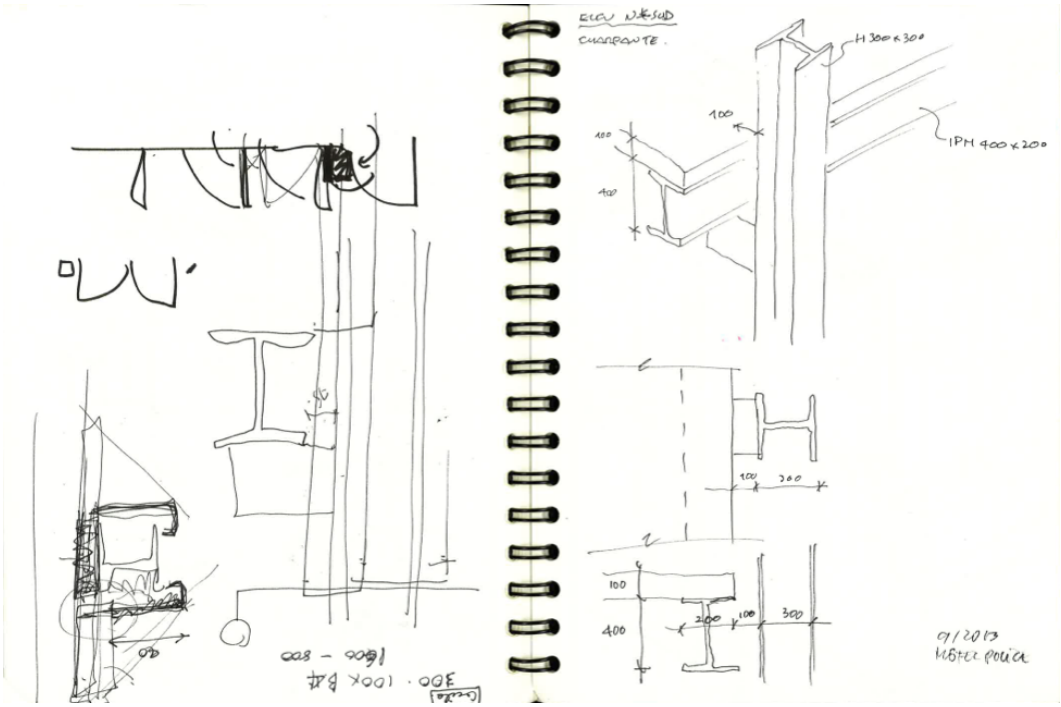

35
135
60
90
9/2013

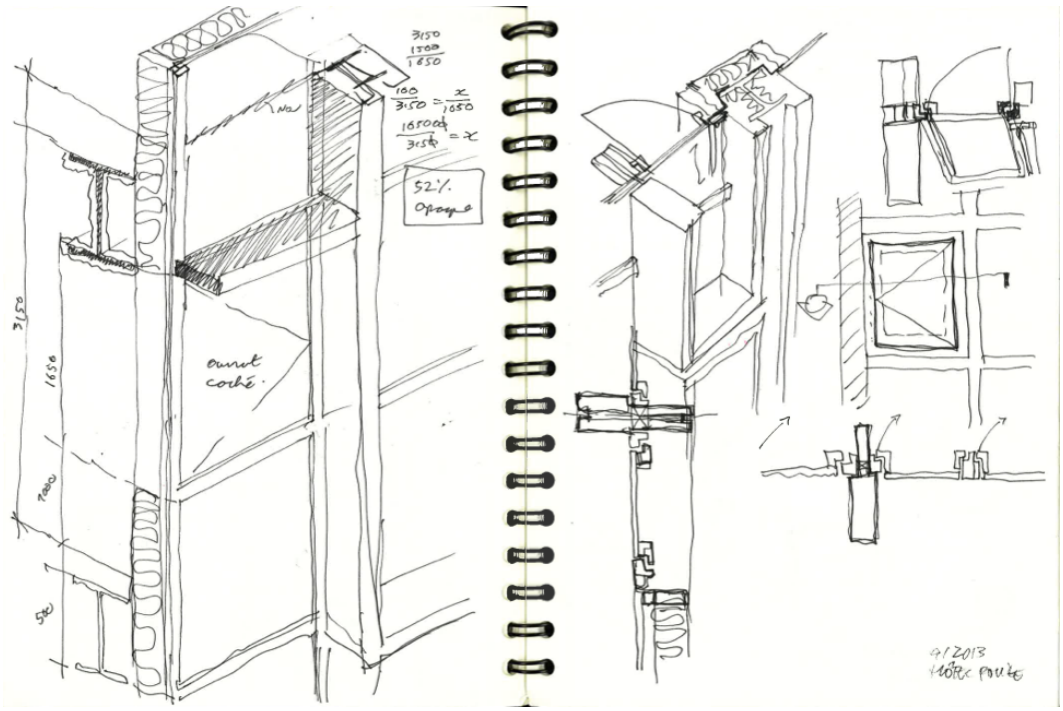


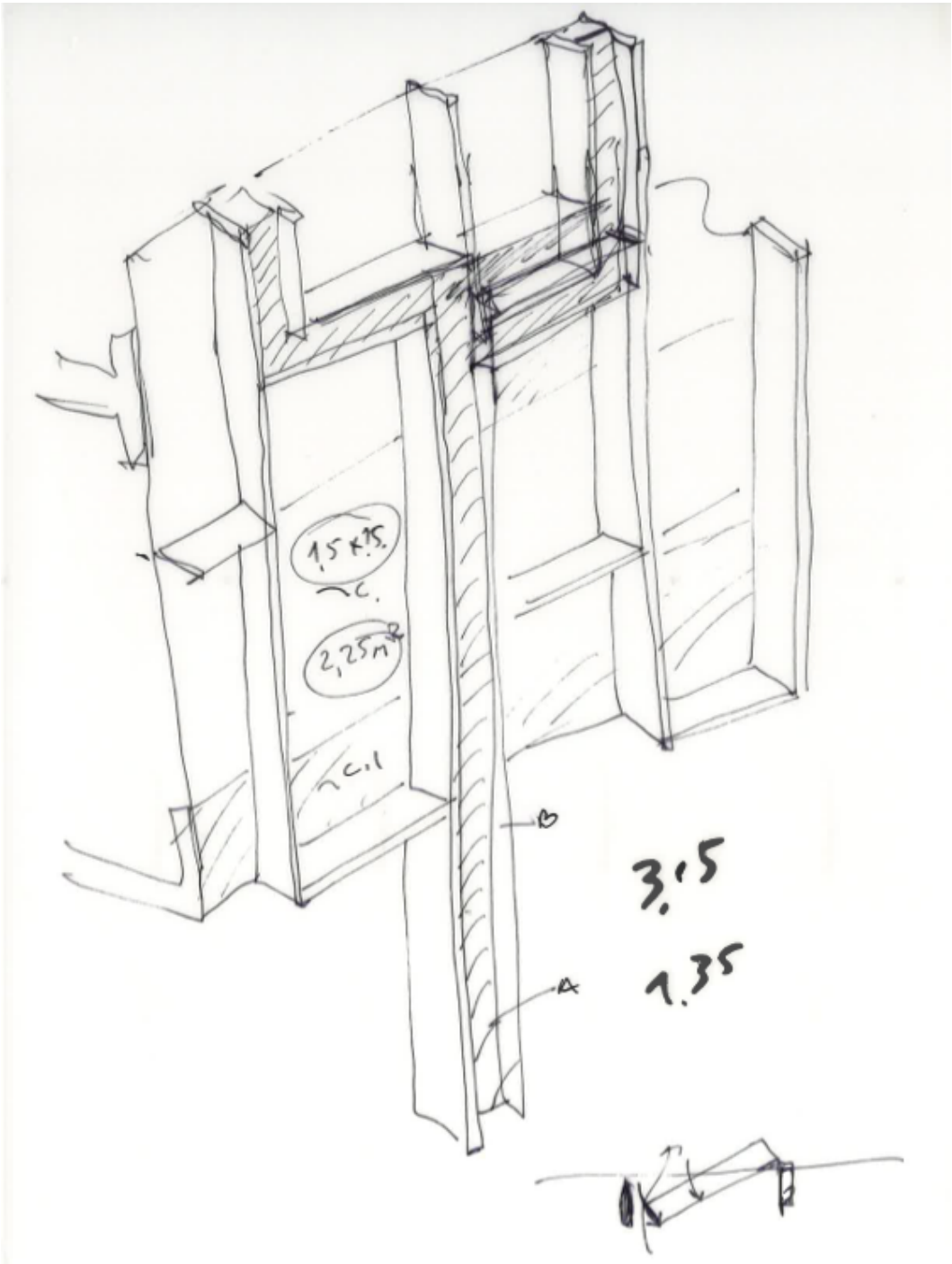


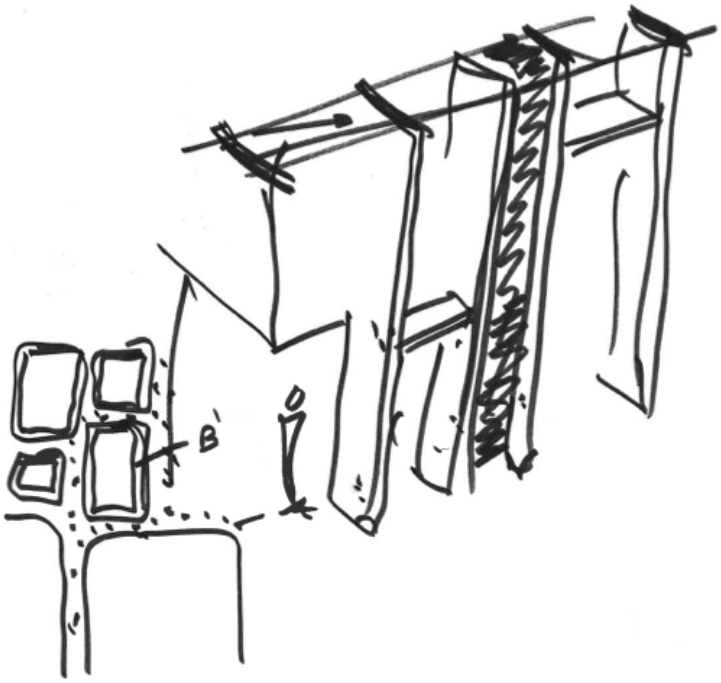

A
A A
A A
A B A

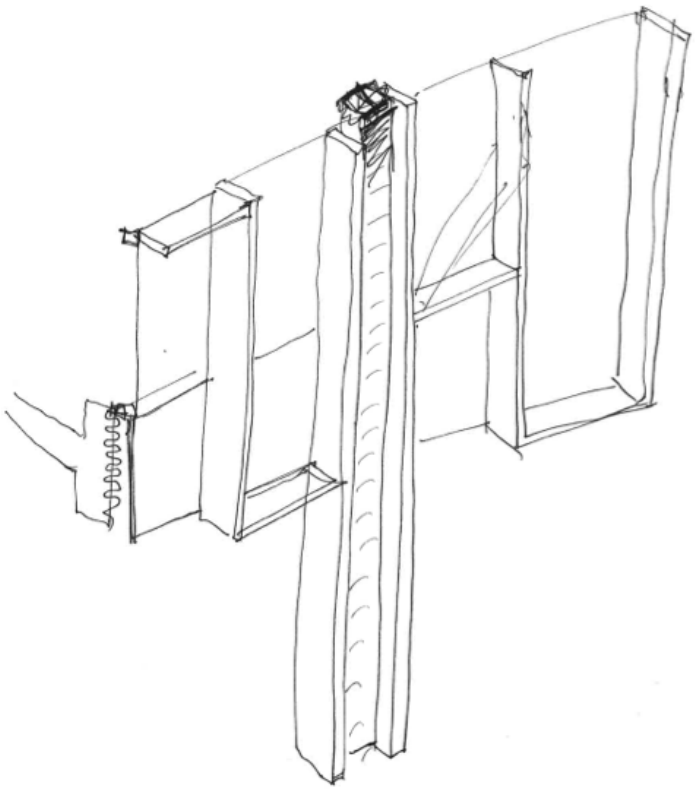

9/2013


ECLAT NORD
CHARPENTE
H 300 x 300
IPN 400 x 200
100
400
100
300
100
400
200
100
300
9/2013
HÔTEL POLICE


3150
1500
1650
100/3150 = x/1650
165000/3150 = x
52%
Opaque
ouvert
corbé
3150
1650
7800
500
9/2013
HÔTEL POLICE


1,5 x 1,5
2,25m²
3,15
1,35


B'



— Annexe 2 —

Analyse CKD des séquences de dessins 2 et 3

Séquence 2 : Bibliothèque pour l'agence T/E/S/S

K->D	Le rendu spatial que je souhaite est le suivant
K->D	Je souhaite un jeu d'optique avec le verre et le bois
K->C	Comment réaliser un système innovant qui respecte ces contraintes ?
K-K	Un architecte souhaitait accrocher des maquettes
K-D	Des barres suffisent
D-K	C'est ennuyeux
D-K	Cela me donne une base en L
K-C	Quel système moins ennuyeux avec une base en L
K-D	On peut jouer avec les L
D-K	Cette option ressemble à un motif chinois
K-K	Cette structure est stable car il s'agit d'une nexeroïde
K-C	Comment faire un système original avec un motif nexeroïde ?
K-D	Je peux introduire de l'irrégularité
K-D	Je reprends mon motif de base
K-D	Introduction d'indépendance entre les modules
K-D	On peut jouer sur l'irrégularité
K-D	C'est une variante de nexeroïde
D-K	J'obtiens un nouveau motif
K-D	Je peux introduire des arrondis
D-K	C'est trop design
K-D	Une variante du motif possible : jeu avec le motif en C
D-K	Les câbles me font penser à des baguettes
K-C	Comment créer un système original avec des câbles ?
K-D	La suspension par câblé pourrait se faire par le haut
K-D	Avec les câbles en position 1, c'est souple mais instable
K-D	Avec les câbles en position 2, c'est souple mais stable
K-D	Voilà ce que j'obtiens avec les câbles en position 2
K-D	Voici ce que j'obtiens avec une jonction à la verticale
D-K	Il est impossible de mettre du verre
K-C	Quelle structure pour intégrer le verre ?
K-D	Je retourne aux nexeroïdes

D-K	Ce n'est toujours pas satisfaisant, je ne peux pas mettre le verre
K-C	Comment introduire de l'originalité et satisfaire la contrainte du verre ?
K-D	Voici une variante
D-K	Cela introduit un nouveau motif pour la nexeroïde : un carré
K-C	Que puis-je faire avec ce carré ?
K-D	Voici une variante du motif carré
D-K	C'est instable
D-K	Ce n'est plus vraiment une nexeroïde
K-C	Comment rendre ce système stable ?
K-D	Retour aux nexeroïdes pour la stabilité
D-K puis K-D	Je peux rendre stable le dessin précédent avec deux points d'appuis
D-K	Je peux mettre le verre et ça satisfait à tous mes critères

Séquence 3 : Hôtel de Police

K->C	Le brief du concours est de faire une façade qui permette la ventilation naturelle
K->C	Pour cette façade, il faut partir de l'existant
K->D	Le bâtiment est constitué d'un ensemble de poteaux principaux qui supportent la structure
D-K	L'espace central, où il y a les escaliers et les ascenseurs, est un espace important
K-C et D-C	On peut agrandir l'espace central pour satisfaire à la réglementation
D-K	Les flux de personnes sont importants
K-D et D-K	Certaines poutres sont plus importantes que d'autres
D-K	Les poutres ici à la verticale sont plus importantes pour la structure
D-K	Les poutres ici à l'horizontale sont moins importantes, plus fines
K-D et D-K	Il y a des contraintes sur la façade, notamment les accès pompier
K-D et D-K	Il est important de voir de toutes les couches contenues dans cette façade : la couche statique (poteaux), la couche de la réglementation (accès pompiers), la couche des éléments opaques et vitrés
K-C	Il faut trouver un équilibre avec ces couches interdépendantes
K-D	L'architecte avait déjà commencé un jeu avec des baguettes
K-C	On peut jouer avec les verticales pour faire des brise-soleils
D-K puis K-D et K-C	On peut faire une alternance 90-45
D-K	Cela permet d'avoir une ventilation de confort
C-K et K-D	Je montre le projet des étagères pour montrer comment on peut faire de l'esthétique et de l'original avec de la structure
K-D	C'est une application de l'alternance 90-45
K-D et D-C	On introduit des horizontales pour casser la verticalité

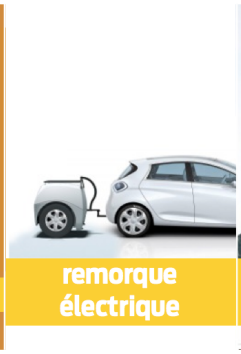
D-C	On pourrait imaginer cacher le poteau dans le système de brise-soleils
K-C et K-D	Dans le très esthétique, en reprenant les étagères, on peut aussi faire ça
K-K	Je donne les règles aux architectes, à eux de trouver l'esthétique
K-K	C'est la partie haute du bâtiment qui est la plus éclairée
K-C et C-D	On peut densifier en haut
D-K	Cela fait comme des arbres
K-D	En rouge, je représente le plancher
D-C	On peut imaginer voir un second système, moins visible que le premier
D-K	On peut voir cela comme des cellules
D-K	Je vois qu'il y a un cas de rupture de charges
K-C	Jusqu'où peut-on aller dans la rupture de charge ?
C-D	Je fais un dessin pour tester la rupture de charge
C-D et D-K	En fait on a un système A et un système B
D-K	On voit plus finalement qu'un système
K-C	On peut englober les poteaux principaux pour ne plus voir qu'un système
K-D	Je réalise une axonométrie pour comprendre la structure
K-D	Je fais apparaître l'entrée, les portées et la circulation qui doit être permise sous l'arcade
K-D	J'étudie l'accrochage du système A
K-D	Je fais référence à un projet avec Patrick Berger, où l'on avait réalisé une cheminée habillée de verre pour tirer l'air
K-C	En reprenant l'idée de la cheminée, on pourrait faire la même arborescence que pour les brise-soleils, mais à l'envers, pour la ventilation naturelle
K-D	Je teste la rupture de charge
C-D	Qu'est-ce que cela donne si je casse les poteaux principaux à différents niveaux ?
C-D et D-K	Je teste la distribution de charges et ça ne va pas
K-D	J'étudie l'accrochage des poteaux au plancher
K-D	J'étudie encore la façon dont sont faits le plancher et la structure
K-D	J'étudie encore la façon dont sont faits le plancher et la structure
K-D	J'essaye de me rendre compte de ce que serait la réalité de la structure du bâtiment, en rentrant dans les détails pour faire apparaître la couche isolante et anti-incendie (flocage sur les poutres)
K-K	Les architectes de Mikou&Mikou ne connaissaient pas non plus les détails
D-K	Je leur dis qu'il y a un jeu pour la position des horizontales au-dessus ou en dessous du plancher
K-C	On peut se servir de ce jeu pour varier le motif
C-D	C'est un aperçu de ce que donne le système de brise-soleils avec rupture de charge
K-C et C-D	On peut profiter du jeu avec les poteaux principaux pour créer de la dissymétrie
C-D	Je propose un système sans rupture de charge des poteaux principaux

D-K et K- D	On peut le construire avec le système de cellules
K-D	C'est la solution finale
D-K	On cache les poteaux principaux dans un autre système qui restera le seul apparent
D-K	On peut mettre ou non de la rupture de charge. Je trouve cette dernière plus intéressante
D-K et K-K	Ici, le jeu de brise-soleils ne va pas jusqu'au sol. Les architectes préféraient qu'il aille jusqu'au sol mais ça ne me plaisait pas

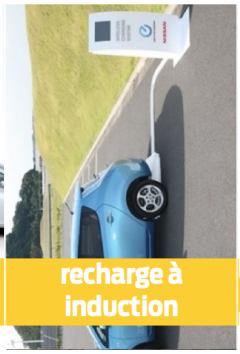
— Annexe 3 —

Images utilisées par le designer pour favoriser la génération de concepts sur le thème de la recharge communautaire

1



2

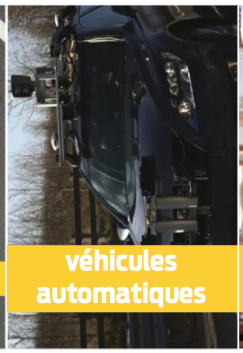


3

4

5

6



7

8

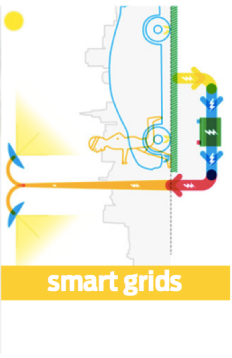
9

10

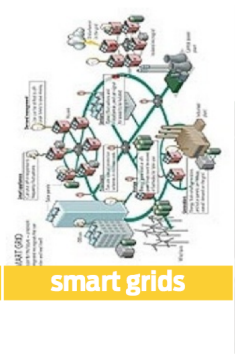
11

12

13

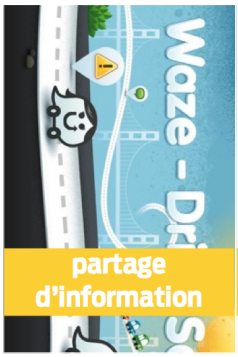


14



15

16

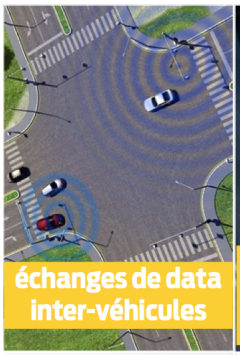


21

22

23

24



25

26

27

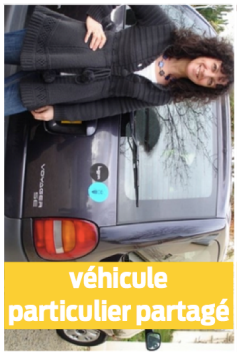
28

29

30

31

32



33

34

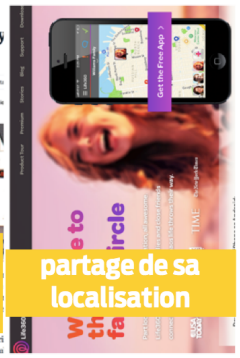
35

36

37

38

39



40

41

42

43

44

45

46

47

48

— Annexe 4 —

Raisonnement suivi pour établir la correspondance entre images et concepts (extrait d'un working paper portant sur le cas des images)

Idea number	Idea formulation	Generated from the pictures
A	Inclusion in a clean energy network as smartgrids	Yes
B	Exchange of EVs between private individuals	Yes
C	Roads with induction charging system allowing to charge when driving	Yes
D	Energy exchange between EVs via the road	Yes
E	~~Standardized charging system (standardized charging points)~~	**No**
F	Charging system funded by neighborhood residents	Yes
G	~~Car sharing with EVs~~	**No**
H	An electric "fountain" on the village square	Yes
I	Charging by connection to street-lamps	Yes
J	Solar-park, parking and charging with solar energy	Yes
K	Exchange of data concerning the location and condition of charging points while driving (vehicle to vehicle)	Yes
L	Electricity production trough collective events (concert, sport)	Yes
M	A common space in the neighborhood: a free zone being the meeting point between the public and private spaces	Yes
N	Using a hobby to charge an EV at someone else's home (meeting point between an existing community and EV users)	Yes
O	Battery exchange by exchange of trailers containing batteries	Yes
P	Home exchange with EV parking (homes with a private charging point)	Yes
Q	~~Energy truck: mobile charging point~~	**No**
R	~~"EV friendly city" label~~	**No**
S	~~A charging point outside the house (on the sidewalk)~~	**No**
T	A "respected" charging point (no degradation)	Yes
U	Permanent energy supply from the outside of the car (no internal battery, no internal power source)	Yes

Table 3. List of the ideas generated during the session with pictures

Each idea was then associated with one or several concepts, which allowed analyzing whether a picture had generated a restrictive concept or an expansive one. Pictures were then placed on the C-K tree to visualize the respective impacts of group G1 and G2 on creativity.

Results

Association Pictures/Ideas

The Tables 4 and 5 present the pictures of groups G1 and G2 that generated ideas during the session. In the group G1, 17 pictures (among 36) allowed generating 13 ideas.

Picture number	Picture title	Associated ideas
2	Electric trailer	**O, U**
5	Induction while driving	**C**
13	Solar tree	**H, J**
14	Smart grids	**A, I**
21	Information sharing (1)	**K**
22	Information sharing (2)	**K**
24	Information sharing (4)	**K**
25	Exchange of data between vehicles	**K**, **D**
26	Real-time information sharing	**K**
33	Shared private vehicle (1)	**B**
34	Shared private vehicle (2)	**B**
35	Shared private vehicle (3)	**B**
36	Parking place sharing	**P**
39	Collaborative energy production	**F**
44	Electricity production - dance	**L**
45	Electricity production - sport	**L**
48	Electricity production - sport	**L**
	17 pictures out of a total of 36	**13 different ideas**

Table 4. Ideas associated with pictures of group G1

In the group G2, 2 pictures out of a total of 11 pictures allowed generating 3 ideas.

Picture number	Picture title	Associated ideas
38	Point of Interest (POI) sharing (2)	**N**
43	Piano made available to train stations users	**T, M**
	2 pictures out of a total of 11	**3 different ideas**

Table 5. Ideas associated with pictures of group G2

Association Ideas/Concepts

The table below (Table 6) presents the correspondence between the ideas generated by a picture and the concepts of the CK tree. Each idea has been related to one or several concepts discussed by the team when explaining or commenting this idea. The association between ideas and concepts is therefore strongly influenced by the original intention of the team: sometimes, an idea could have been related to other concepts in the CK tree, even if the team did not formulate them. However, we stick to the intention of the team and associate the ideas only with concepts discussed by the team.

Idea number	Related concept	Expansive or restrictive nature
A	- To drive in an EV in a flexible manner	- Restrictive
B	- Access to a charged vehicle through a loan (from the point of view of the individual borrowing an EV) - For a financial benefit, through rents linked to occasional troubleshooting (from the EV owner point of view)	- Restrictive - Restrictive
C	- To drive as if you were in a combustion-powered vehicle and unaware of the charging points location - To drive in an EV in a flexible manner	- Restrictive - Restrictive
D	- To distribute electricity later on via a mobile energy storage system - To drive in an EV in a flexible manner	- Restrictive - Restrictive
F	- For a financial benefit concerning charging costs and involving charging in a common space	- Expansive
H	- Providing a social value and bringing people closer together	- Expansive
I	- To drive in an EV in a flexible manner	- Restrictive
J	- To drive in an EV in a flexible manner	- Restrictive
K	- To drive as if you were in a combustion-powered vehicle, aware of the charging points location, for an unplanned drive with good driving range	- Restrictive
L	- Bringing people together and encouraging meetings	- Expansive
M	- Optimizing space and offering a free zone - For a social value (in the neighborhood) and bringing people together	- Expansive - Expansive
N	- Bringing people together, encouraging meetings by affinities	- Expansive

O	- To drive in an EV in a limited way (limited drive: charging depending on other vehicles location) - To distribute electricity later on via a mobile energy storage system	- Restrictive - Restrictive
P	- For a financial benefit, by rental of private charging point in case of long-term absence (from the EV owner point of view) - Bringing people closer together, encouraging meetings in a climate of confidence (from both points of view)	- Expansive - Expansive
T	- A social value, enhancing respect for the environment and the neighborhood (from the community point of view) - A financial benefit thanks to the absence of degradation (financial benefit for the owner of the charging point)	- Expansive *(to be added to the frame of reference)* - Expansive *(to be added to the frame of reference)*
U	- To drive in an EV in a flexible manner without internal power source	- Expansive *(to be added to the frame of reference)*

Table 6. Association between ideas and concepts

— Annexe 5 —

Détail des arbres CK développés sur les thèmes « La station d'épuration optimisée » et « Innover en Génie des Procédés » - Extrait de l'article de Potier, Brun, Le Masson & Weil (2015)

4. Results

4.1. Results presentation

At the end of the meetings, two C-K trees have been developed: a first C-K tree on the optimized wastewater treatment plant, and a second C-K tree on innovation in Chemical and Process Engineering.

The first C-K tree begins with a distinction between innovation involving new plants and innovation involving existing plants (Figure 7). On the one hand, a completely new design could allow optimizing wastewater treatment quality, costs, security or environmental impact. These different concepts were explored through several paths.

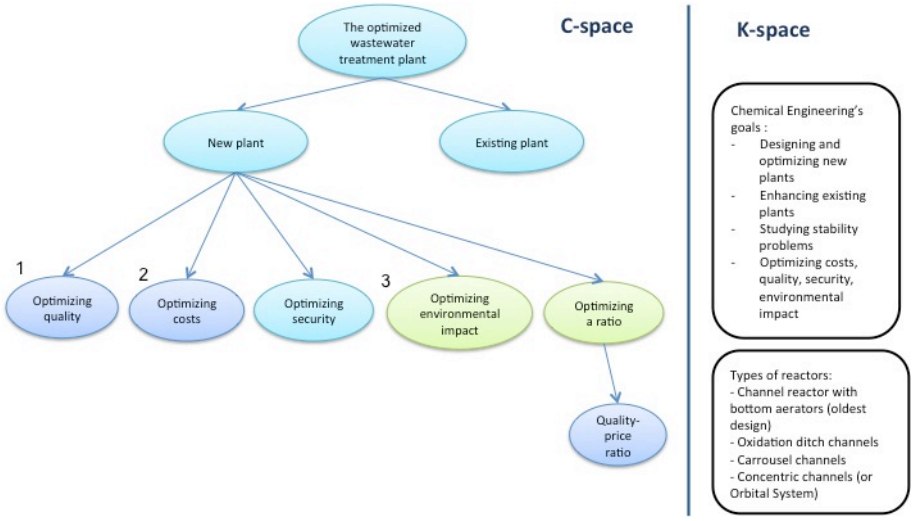


Fig 7. Initial partition for the "optimized wastewater treatment plant" concept

The concept of quality optimization was associated to an improvement of reactor operation. This could involve existing reactor designs (Figure 8): a better quality of operation could then come from improvement of prediction and simulation capacities. Enhancing reactor operation could also involve completely new designs (Figure 9). This part was tackled from the point of view of bacteria activities. In the activated sludge process, bacteria achieve wastes degradation and many kinds of bacteria may coexist in the sludge. However, the development of some bacteria has to be avoided. Especially, filamentous bacteria do not settle properly. Therefore, enhancing reactor operation could involve a design either limiting the development of filamentous bacteria (in comparison to non-filamentous bacteria) or enhancing non-filamentous bacteria activities, for example thanks to a better aeration or reactor shape optimization. The latter leads to the issue of reactor

design and new possibilities offered by additive manufacturing (macro 3-D printing).

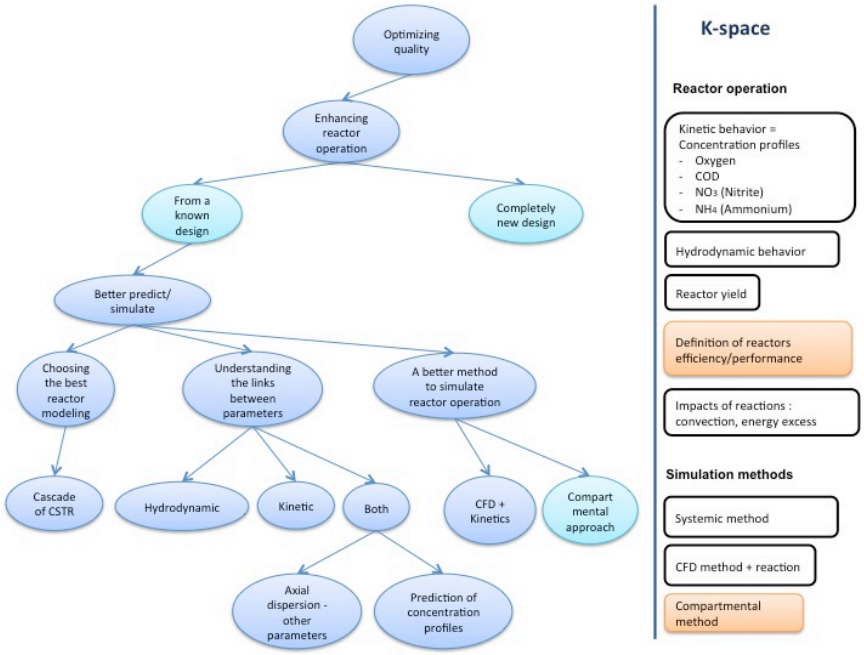


Fig 8. Optimizing quality from a known reactor design

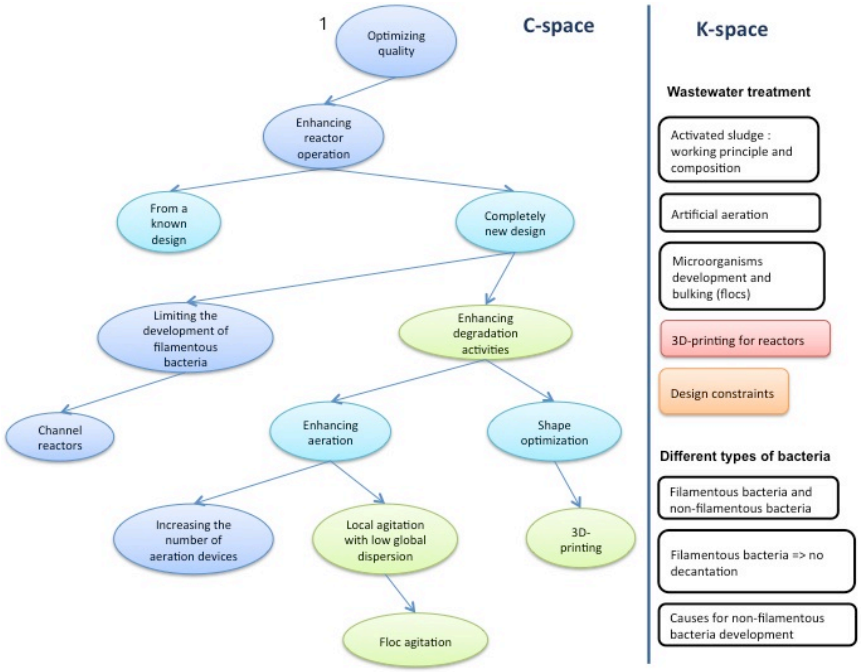


Fig 9. Optimizing quality with a new reactor design

The concept of costs optimization was associated to two paths (Figure 10): a first path on upstream preparation for some treatment steps and a second path on processes without operational costs. The upstream preparation could be led for degradation (secondary treatment), odor treatment or maintenance activities. Maintenance could be prepared in advance thanks to complementary bacteria enhancing degradation (and thus reducing clogging risk) or directly protecting some reactor elements from clogging (for example, thanks to endogenous respiration). Processes without operational costs could be achieved through self-aeration, self-recirculation or self-disposal of the sludge: these last concepts are highly expansive and require further knowledge to find associated achievable systems.

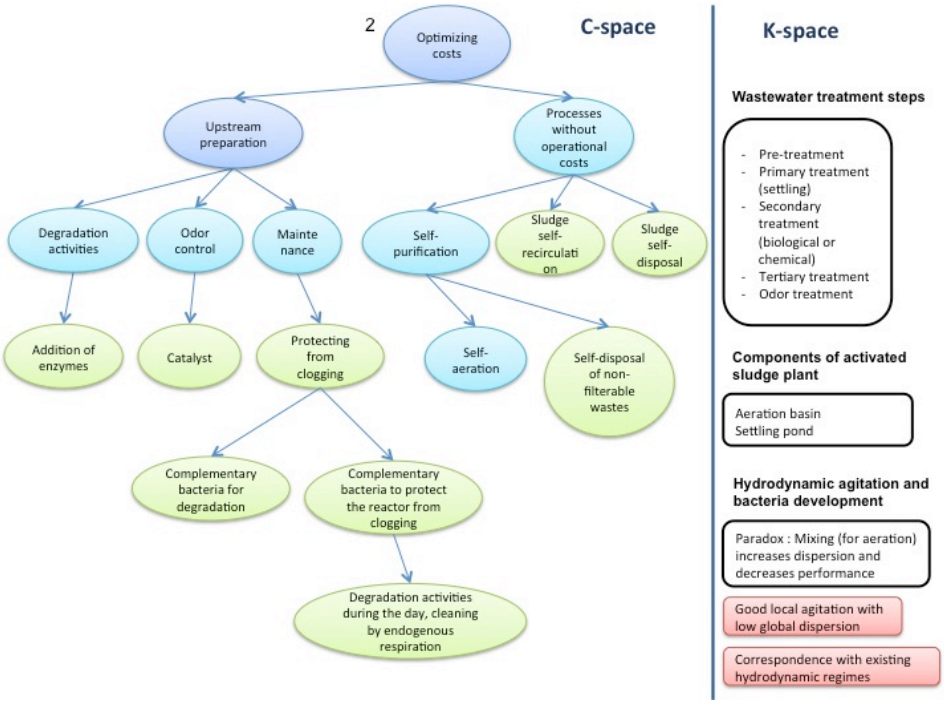


Fig 10. Optimizing costs

The issue of environmental impact was tackled through two perspectives: reducing of existing impact and aiming for zero impact (Figure 11). No sanitary or environmental impact would involve no odor and no macro/micropollutants (no nitrates/phosphorus, and no pesticides, no antibiotics and no brominated derivatives). Exploring this concept, it was pointed out that wastewater treatment plant could be an important place of resistance gene transfer, which is also a form of environmental impact that could be better controlled.

The optimization of wastewater treatment could also involve working from existing plants, by enhancing their results in terms of efficiency, selectivity or

stability (Figure 12). To enhance efficiency, some actions on bacteria were proposed such as the expansive concept of filamentous bacteria performing as non-filamentous bacteria, especially in terms of settling. Regarding stability, instabilities could be controlled or suppressed and, in a more disruptive way, variability could be used through transitory regimes.

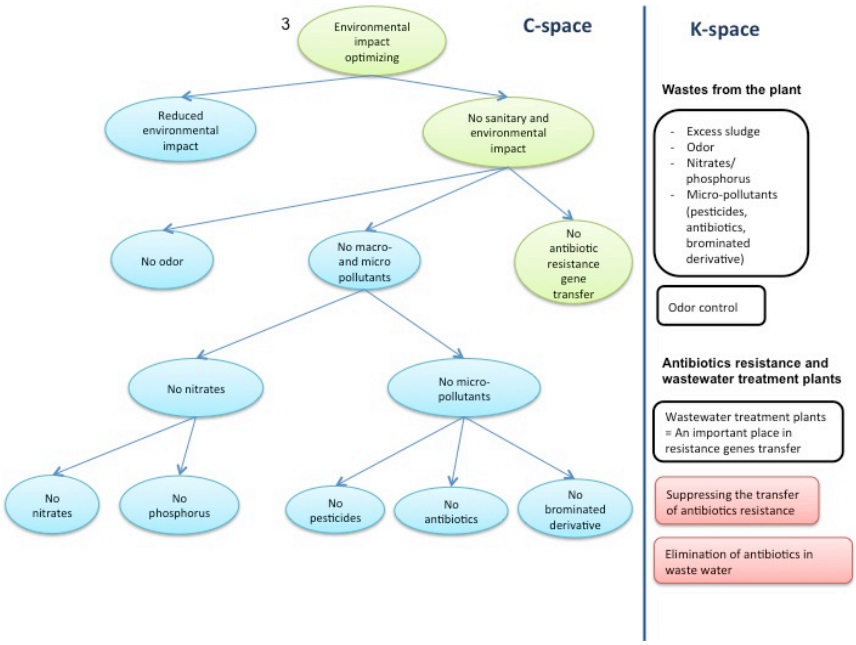


Fig 11. Optimizing environmental impact

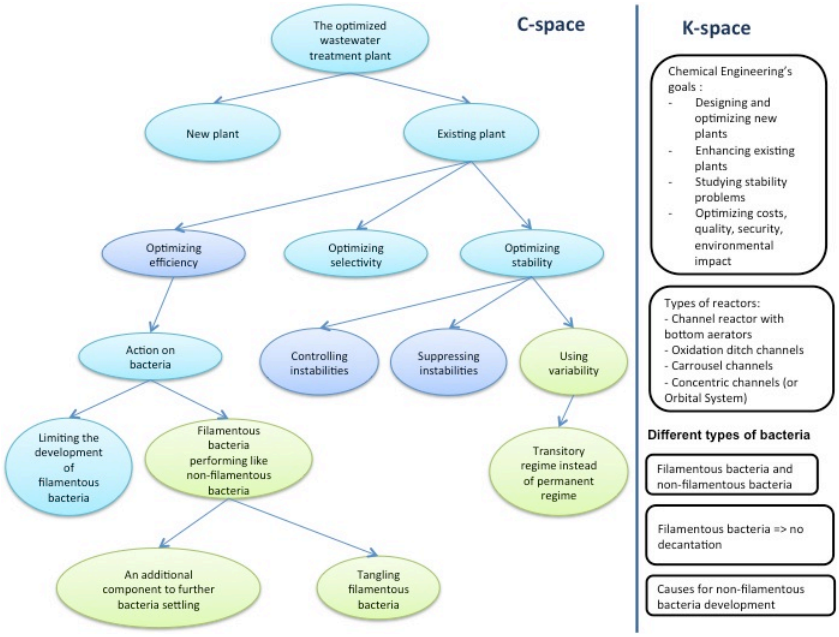


Fig 12. Enhancing existing plants

Thanks to the learning accumulated through the first exploration, a second C-K tree was built on innovation in Chemical Engineering. The dominant design of Chemical and Process Engineering was established (Figure 13). Today, Chemical Engineering is dealt from a chemistry/biology and physics perspective, where physics notably refers to hydrodynamics and thermodynamics. Moreover, the logic of unit operations is well established: a global process is divided into several steps independent from one another. At small scales, a distinction is made between the reaction, transfer and transport phenomena. Each property of this dominant design can be challenged. Other perspectives than a chemistry/biology and physics perspective may be considered. Adopting the logic of unit operations, one can imagined thinking simultaneously the reaction, transfer and transport phenomena rather than distinguishing them. Other representations than reaction, transfer and transport phenomena could also be considered.

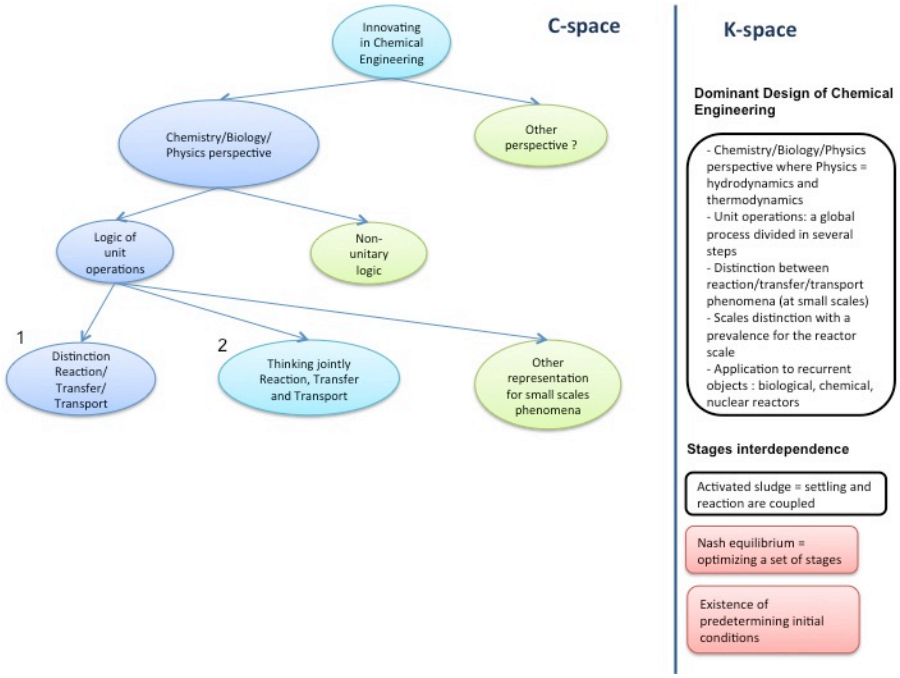


Fig 13. Challenging the distinction between reaction, transfer and transport phenomena

Pursuing the dominant design description (Figure 14), Chemical Engineering distinguishes several scales, even if the reactor scale prevails in general. The applications of Chemical Engineering concern recurrent objects: mainly biological, chemical and nuclear reactors. Therefore, applications to other objects could be considered such as rivers or mini-processes (washing machines or cyclones vacuums already use Chemical Engineering methods but new applications could be imagine to design completely new mini-processes). Concerning scales, new scales could be considered, such as flocs (cell-structure scale), molecules and even smaller scales. Actions in favor of a

dialog between scales could be envisaged: this part was not developed but should encourage further work.

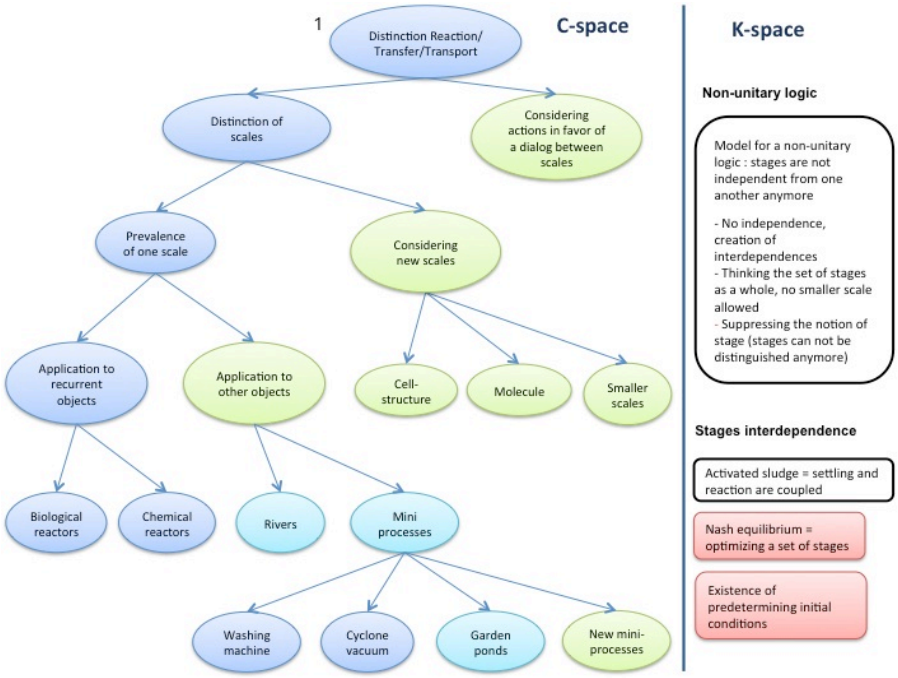


Fig 14. Alternatives to current representations in Chemical Engineering

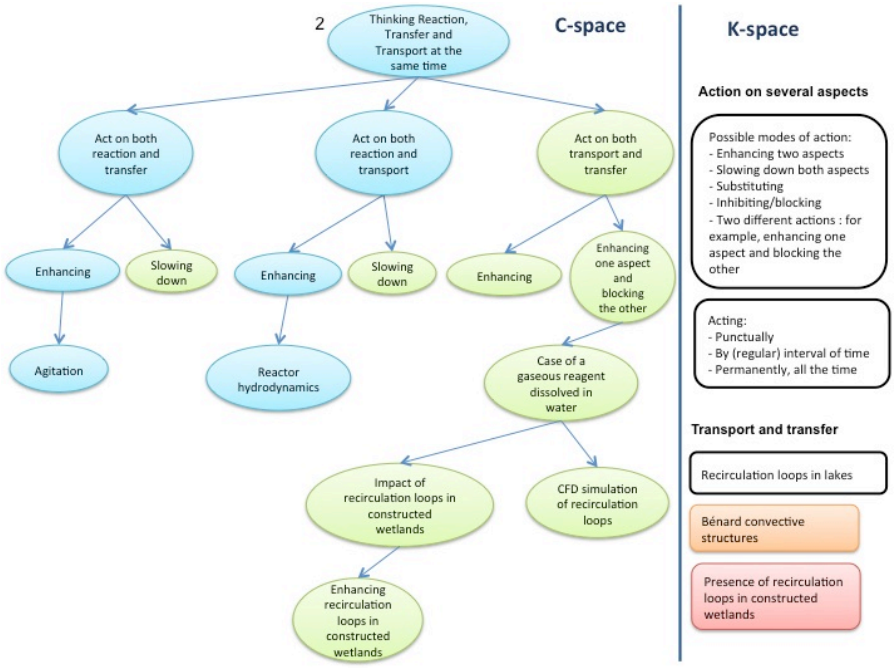


Fig 15. Thinking simultaneously reaction, transfer and transport

Thinking simultaneously reaction, transfer and transport could mean acting on both reaction and transfer or on both reaction and transport (Figure 15). Acting on both transfer and transport was also considered and led to a reflection about recirculation loops in lakes and the possibility of recirculation loops in constructed wetlands with a day/night alternating. Research programs could be launched such as CFD simulation of recirculation loops - in order to identify recirculation loops properties - or studies on the actual presence of recirculation loops in constructed wetlands.

Finally, the logic of unit operations was challenged (Figure 16). Alternative concepts could be to suppress independence among stages, to optimize a set of stages or to suppress the very notion of stage (or step). Suppressing the independence of stages could consist in coupling two stages or more, whereas suppressing the notion of step could involve soft transitions between stages.

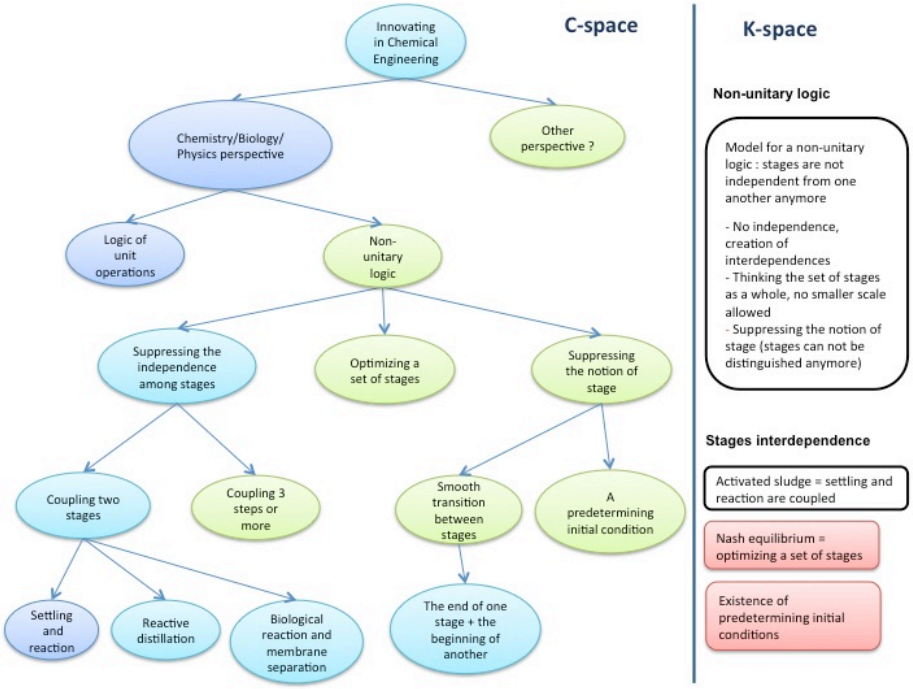


Fig 16. Towards a non-unitary logic

— Annexe 6 —

Résultats de l'enquête réalisée auprès des membres du réseau R2A2

Fil conducteur des interviews approfondies (entretien semi-directif)

0/ Comment avez-vous intégré le réseau R2A2 ?

1/ Que venez-vous chercher dans le réseau R2A2 ?

- *Des contacts (networking) ?*
- *Un financement pour un projet déjà existant ?*
- *Un projet interdisciplinaire pour un financement via le métaprogramme ?*

- *Une mise à jour des connaissances sur votre sujet ?*
- *De nouvelles compétences sur un sujet (un besoin de transdisciplinarité pour traiter une question de façon plus globale, pour valider un projet dans un domaine plus large)*

- *Une nouvelle façon de voir votre sujet ? Des connaissances éloignées qui permettraient d'avoir une nouvelle vision du sujet ? De nouvelles idées originales ?*

1bis/ Il est possible que des personnes soient venues avec un certain besoin et repartent avec une autre vision des bénéfices principaux du réseau, est-ce votre cas ?

2/ Que vous a apporté le réseau R2A2 ? Qu'a-t-il permis de faire émerger ?

2bis/ Si vous avez participé au développement d'un ou plusieurs projets, les projets sont-ils réellement de nature transdisciplinaire ou restent-ils tout de même ancrés au sein d'une discipline ? En quoi le projet a-t-il bénéficié d'un éclairage transdisciplinaire au départ ? Ou à l'inverse, comment ce projet pourrait-il être valorisé dans d'autres disciplines ?

3/ Certaines choses vous ont-elles surpris dans le fonctionnement du réseau ?

3bis/ En quoi la façon dont fonctionne le réseau vous a-t-elle permis d'obtenir les résultats évoqués précédemment ? Quels atouts du réseau vous ont permis d'obtenir ces résultats ?

4/ S'il fallait recommencer, que changeriez-vous dans la façon dont fonctionne le réseau R2A2 ?

4bis/ Que pensez-vous de l'évolution du format des réunions ? (*Evolution due notamment à l'introduction de la conception innovante au sein des ateliers de l'après-midi*) Quelle est votre opinion sur l'atelier de l'après-midi ?

4ter/ Le réseau a mûri et a maintenant un fonctionnement assez différent de celui qu'il avait au départ : quelles suggestions pouvez-vous faire afin d'améliorer la qualité de votre interaction avec le réseau ?

Questionnaire diffusé auprès des membres du réseau

Questionnaire R2A2

Vous avez participé au réseau R2A2 (Réseau Recherche Antibiotiques Animal). Dans la perspective d'un retour d'expérience, nous vous invitons à répondre aux questions ci-dessous :

1. **Précisez la nature de votre activité**
   Une seule réponse possible.
   - ◯ Recherche
   - ◯ Développement - terrain
   - ◯ Industrie
   - ◯ Autre : _____

2. **A combien de réunions du réseau avez-vous participé ?**
   _____

3. **Les réunions du réseau mettent en relation des connaissances ou des disciplines qui n'étaient pas mises en relation auparavant**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

4. **Ce dernier aspect est important pour progresser dans l'exploration de la thématique du réseau**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

5. **Ma participation au réseau a fait évoluer mon regard sur la thématique du réseau**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

6. **Ma participation au réseau fait évoluer mon regard sur ma propre discipline**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

7. **Ma participation au réseau a favorisé le financement de mes projets de recherche**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

8. **Les réunions du réseau présentent un bon renouvellement des exposés, des thèmes d'ateliers et du format des ateliers**
   Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

9. **Ce renouvellement répond aux idées et aux souhaits exprimés par les participants au cours des réunions précédentes**
Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

10. **Cette flexibilité est importante pour progresser dans l'exploration de la thématique du réseau**
Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

11. **Je mobilise des connaissances ou des idées abordées en réunion à l'extérieur du réseau**
Une seule réponse possible.

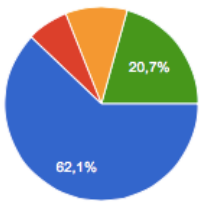
	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

12. **Ce dernier aspect est important pour moi**
Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	◯	◯	◯	◯	◯	Tout à fait d'accord

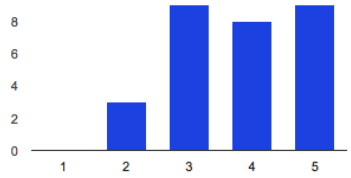
Interprétation graphique des réponses au questionnaire en ligne (sur la base de 29 participants)

Précisez la nature de votre activité



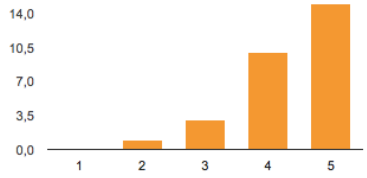
Recherche	**18**	62.1 %
Développement - terrain	**2**	6.9 %
Industrie	**3**	10.3 %
Autre	**6**	20.7 %

Les réunions du réseau mettent en relation des connaissances ou des disciplines qui n'étaient pas mises en relation auparavant



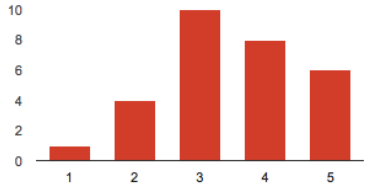
Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**3**	10.3 %
3	**9**	31 %
4	**8**	27.6 %
Tout à fait d'accord : 5	**9**	31 %

Ce dernier aspect est important pour progresser dans l'exploration de la thématique du réseau



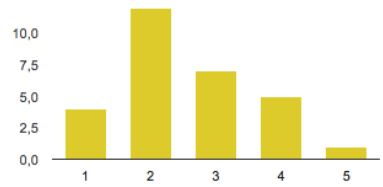
Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**1**	3.4 %
3	**3**	10.3 %
4	**10**	34.5 %
Tout à fait d'accord : 5	**15**	51.7 %

Ma participation au réseau a fait évoluer mon regard sur la thématique du réseau



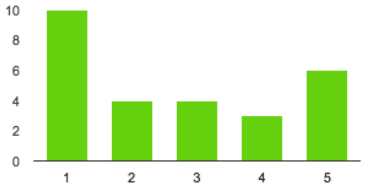
Pas du tout d'accord : 1	**1**	3.4 %
2	**4**	13.8 %
3	**10**	34.5 %
4	**8**	27.6 %
Tout à fait d'accord : 5	**6**	20.7 %

Ma participation au réseau fait évoluer mon regard sur ma propre discipline



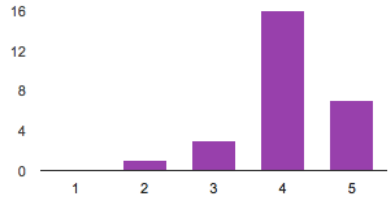
Pas du tout d'accord : 1	**4**	13.8 %
2	**12**	41.4 %
3	**7**	24.1 %
4	**5**	17.2 %
Tout à fait d'accord : 5	**1**	3.4 %

Ma participation au réseau a favorisé le financement de mes projets de recherche



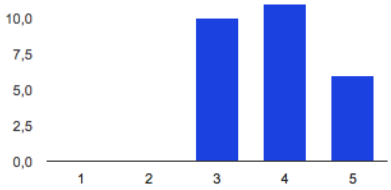
Pas du tout d'accord : 1	**10**	37 %
2	**4**	14.8 %
3	**4**	14.8 %
4	**3**	11.1 %
Tout à fait d'accord : 5	**6**	22.2 %

Les réunions du réseau présentent un bon renouvellement des exposés, des thèmes d'ateliers et du format des ateliers



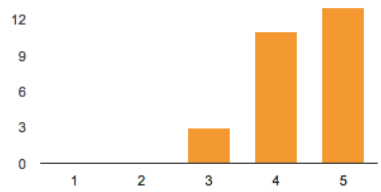
Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**1**	3.7 %
3	**3**	11.1 %
4	**16**	59.3 %
Tout à fait d'accord : 5	**7**	25.9 %

Ce renouvellement répond aux idées et aux souhaits exprimés par les participants au cours des réunions précédentes



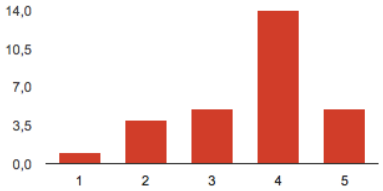
Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**0**	0 %
3	**10**	37 %
4	**11**	40.7 %
Tout à fait d'accord : 5	**6**	22.2 %

Cette flexibilité est importante pour progresser dans l'exploration de la thématique du réseau



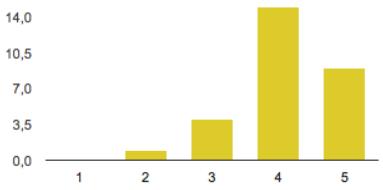
Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**0**	0 %
3	**3**	11.1 %
4	**11**	40.7 %
Tout à fait d'accord : 5	**13**	48.1 %

Je mobilise des connaissances ou des idées abordées en réunion à l'extérieur du réseau



Pas du tout d'accord : 1	**1**	3.4 %
2	**4**	13.8 %
3	**5**	17.2 %
4	**14**	48.3 %
Tout à fait d'accord : 5	**5**	17.2 %

Ce dernier aspect est important pour moi



Pas du tout d'accord : 1	**0**	0 %
2	**1**	3.4 %
3	**4**	13.8 %
4	**15**	51.7 %
Tout à fait d'accord : 5	**9**	31 %

Résumé

La thèse étudie le pouvoir génératif de la structuration des connaissances pour la conception innovante. Partant d'une analyse de la générativité des structures de connaissances non-verbales, et notamment du dessin d'architecte, elle identifie un nouveau mode de conception en montrant comment une revisite des rapports entre connaissances favorise la génération de nouveaux concepts. En particulier, une restructuration des connaissances visant à rendre la structure splitting, c'est-à-dire, sans rapports modulaires ou déterministes entre connaissances, possède un fort pouvoir génératif. En session collective, les médias non-verbaux, tels que le dessin, les images ou encore le prototypage 3D, se révèlent ainsi particulièrement favorables à la restructuration des connaissances : trois conditions nécessaires présentées dans la thèse doivent cependant être réunies afin de garantir la performance du non-verbal en session collective. Par ailleurs, ce phénomène de restructuration générative - aussi appelée K-preordering – diffère de l'exploration classique par génération de concepts alternatifs. Les deux modes de conception ne sont pas pour autant incompatibles : la thèse propose ainsi un processus de conception alternant phases de K-preordering et phases de génération de concepts. Ce processus est notamment testé à travers deux cas de recherche-intervention visant à provoquer la réorganisation des structures de connaissances stabilisées et partagées à l'échelle de l'organisation. Ces deux cas montrent en particulier comment un tel processus favorise la conception de programmes de recherche transdisciplinaires.

Mots Clés

Conception innovante, Structuration de la connaissance, Conception non-verbale, Théorie C-K, Recherche transdisciplinaire

Abstract

The thesis investigates the generative power of knowledge structuration for innovative design. Analyzing the generativity of non-verbal knowledge structures - especially, architectural drawings -, this work identifies a new design method by showing that the transformation of links between knowledge bases fosters concept generation. In particular, a restructuration that aims to design a splitting structure - a structure avoiding modular and deterministic links between knowledge bases - has a strong generative power. During collective creativity sessions, non-verbal tools such as sketches, pictures or 3D-printing, can enhance knowledge restructuration: however, three necessary conditions, which are presented in the thesis, have to be met in order to ensure performance of the non-verbal tools used during the session. Moreover, this generative restructuration - also called K-preordering - differs from the classic design exploration by alternative concepts generation. But the two design modes are not mutually exclusive: the thesis proposes a design process that alternates K-preordering and concept generation. This process is applied in two studies, which were led as action research and intended to foster the reorganization of knowledge structures that were both stabilized and shared at the organizational level. In particular, these studies show how such a process helps enhancing the design of transdisciplinary research programs.

Keywords

Innovative design, Knowledge reordering, Non-verbal design, C-K theory, Transdisciplinary research