



HAL
open science

Relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel : comment les entreprises s'y prennent-elles pour tirer parti de la fabrication additive ?

Benoit Tezenas Du Montcel

► To cite this version:

Benoit Tezenas Du Montcel. Relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel : comment les entreprises s'y prennent-elles pour tirer parti de la fabrication additive ?. Gestion et management. Conservatoire national des arts et metiers - CNAM, 2019. Français. NNT : 2019CNAM1231 . tel-04368440

HAL Id: tel-04368440

<https://theses.hal.science/tel-04368440>

Submitted on 1 Jan 2024

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.

ÉCOLE DOCTORALE Abbé Grégoire

Laboratoire interdisciplinaire de recherche en sciences de l'action

THÈSE présentée par :

Benoit TEZENAS du MONTCEL

soutenue le : 14 mai 2019

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline/ Spécialité : Sciences de Gestion spécialité « Prospective, innovation, stratégie, organisation »

**Relations inter-firmes pour l'exploration
d'un nouveau paradigme techno-industriel
Comment les entreprises s'y prennent-elles pour tirer
parti de la fabrication additive ?**

THÈSE dirigée par :

Monsieur DURAND Thomas

Professeur du Cnam, Chaire de Management Stratégique

RAPPORTEURS :

**Madame STRIUKOVA Ludmila
Monsieur TORSET Christophe**

Professeure, SKEMA Business School
Professeur des Universités, iaelyon School of Management

PRESIDENT du jury :

Monsieur DUMEZ Hervé

Directeur de recherche au CNRS, Ecole Polytechnique

EXAMINATEURS :

Monsieur DOZ Yves

Professeur émérite, INSEAD Business School

Remerciements

Les idées et les savoirs ont ceci de plaisant que ce qu'on partage et échange grandit bien souvent à mesure justement qu'on le partage. Une formation intellectuelle est donc un parcours de partage et d'échange. Ces quelques lignes pour remercier ceux avec qui j'ai partagé des idées, des savoirs, et souvent beaucoup plus.

Mes premiers mots vont à mon directeur de thèse, le Professeur Thomas Durand. Merci à vous pour avoir été un soutien sans faille depuis le début et tout au long de cette thèse. J'ai grandi intellectuellement et humainement à vos côtés. Merci pour votre exigence toujours bienveillante, pour avoir été toujours présent et disponible sans jamais mordre sur ma liberté, pour vos conseils toujours judicieux et accompagnée de confiance et d'écoute. Merci aussi pour votre sens de l'humour, et (surtout !) de l'apologue. Ce parcours de thèse n'aurait pas été tout à fait le même sans votre talent à faire passer des messages en racontant des histoires.

J'adresse ensuite mes remerciements aux membres de mon jury de thèse, les Professeurs Hervé Dumez, Yves Doz, Ludmila Striukova, et Christophe Torset. Un mot spécial au deux derniers pour avoir accepté la tâche d'être les rapporteurs de cette thèse. Merci à Christophe Torset d'avoir fait partie de mon comité de suivi de thèse en 2017. Nos échanges à cette occasion furent un moment charnière de mon parcours de thèse. Merci à Ludmila Striukova dont les travaux sur l'impression 3D ont été un point d'entrée et de repère structurant dans le sujet, ainsi que pour ses conseils et nos échanges tout au long de cette thèse. La lecture des travaux d'Yves Doz et d'Hervé Dumez fut stimulante et féconde. Les travaux d'Yves Doz sur les alliances ont été essentiels à ma compréhension des enjeux de ce mode d'interaction inter-firmes. La profondeur des démarches méthodologiques et la finesse avec laquelle les études de cas sont narrées et théorisées font de ces travaux des lectures passionnantes et des modèles de recherche qualitative. La lecture de l'ouvrage d'Hervé Dumez sur la *méthodologie de la recherche qualitative* fut littéralement édifiante. Quel bonheur de lire un ouvrage qui met si précisément en mots les questions – parfois brûlantes – que se pose le doctorant adoptant une démarche qualitative, puis qui les éclaire par des réflexions et des conseils toujours intelligibles et pratiques. Pour leurs rôles dans mon cheminement intellectuel, ce fut une chance de rencontrer ces professeurs, et de lire leurs travaux durant mon parcours de thèse. C'est aujourd'hui une joie et un honneur qu'ils constituent mon jury de thèse. Je leur en suis très reconnaissant.

Les graines de cette thèse ont été semées par les professeurs que j'ai eu la chance d'avoir durant mon année de Master à Dauphine. Je souhaite exprimer toute ma gratitude aux Professeurs Stéphanie Dameron, Pierre Romelaer, Bernard de Montmorillon, et Jean-François Chanlat. Les enseignements de ce quatuor d'illustres Professeurs m'ont donné le goût de la recherche en gestion. Ils ont un rôle clé dans mon parcours.

Les mois passés à l'Institute for Manufacturing (IfM) de l'université de Cambridge au printemps 2017, furent aussi formateurs que plaisants. Je souhaite remercier le Professeur Tim Minshall qui m'a accueilli à ainsi que Charles Featherston avec qui nous avons travaillé. Ils sont les co-auteurs du second article de cette thèse. Je leur suis reconnaissant de m'avoir fait confiance, d'avoir rendu possible cette formidable expérience, ainsi que pour nos réflexions communes qui se poursuivent aujourd'hui. Un mot aussi pour Letizia Mortara et Frank Tietze qui jouèrent aussi un rôle dans ma venue puis lors de mon séjour sur place.

Les échanges et le travail avec les collègues doctorants sont aussi ce qui fait un parcours de thèse. Je remercie spécialement mon camarade et ami Benjamin Le Pendeven pour tous nos échanges et pour l'aventure passionnante qu'a été la création des *Journées de l'Innovation Abbé Grégoire*. Merci aussi à tous mes collègues de bureau et doctorants du Cnam pour leur toutes nos riches discussions. Merci à Lucas et William, Fabien G., Fabien I., Marwa, et Riad et les autres. J'ai également une pensée pour les doctorants et anciens doctorants de Dauphine, pour certains anciens camarades de Master, que j'ai toujours plaisir à retrouver en conférence ou ailleurs : Alexis, Elise, Guillaume, Julie, Marie, Oriane, Pierre, et Romain ; ainsi que pour les doctorants et autres collègues avec lesquels j'ai eu la chance de tisser des liens durant mon séjour à Cambridge, notamment Denis et Heiner.

Je souhaite aussi remercier mes autres collègues du Cnam. J'ai eu beaucoup de plaisir à travailler à nos enseignements communs qui furent une dimension essentielle de ce parcours de thèse. Merci donc à l'équipe de la *Team Strategy*, au sein du département MIP puis de l'EPN Strategies : Sakura Shimada, Hadrien Coutant, David Santana, Emmanuelle Pigalle, Timea Csaszar, et Florence Guiliani. Merci également à Alexandra Carl et à Mouna Tazi pour leur gentillesse et leur efficacité et toutes circonstances.

Plus largement, le Cnam est une institution extraordinaire au sein de laquelle je suis heureux d'avoir passé ces années de thèses. Merci donc à l'institution et à l'ensemble de ses enseignants et personnels que j'ai eu la chance de côtoyer. Parmi eux, je souhaite particulièrement remercier Olivier Basso et Benjamin Taupin qui furent membres de mes comités de suivi de thèse en 2017

et 2018, ainsi qu'Anne Berthinier-Poncet, Gilles Garel, Sylvain Lenfle, Jean-Michel Raicovitch et bien d'autres qui furent toujours ouverts et amicaux. Je suis également reconnaissant envers les membres du bureau du LIRSA au sein duquel j'ai eu l'honneur de siéger, merci à Madina Rival, à Stéphanie Chatelain-Ponroy, et à tous les autres. Merci également à Virginie Moreau et à Adrien Toreau pour leur efficacité et leur invariable aménité. Merci, enfin, à mes auditeurs, ils ont joué un rôle important dans ce parcours.

Je souhaite également remercier Thierry Rayna pour nos nombreux échanges autour de notre intérêt partagé pour la fabrication additive et plus largement pour sa bienveillance et son soutien. Merci à Stéphanie Dameron, Julie Mayer, et Emilie Canet pour leur confiance et la possibilité qu'elles m'ont offerte d'enseigner à Dauphine.

Une thèse adoptant une démarche qualitative doit toujours beaucoup au terrain sur lequel elle se fonde, et donc aux personnes qui acceptent d'ouvrir des portes et de répondre aux questions lors des interviews. J'adresse donc ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de documenter ce travail de thèse notamment en acceptant de se prêter au jeu des interviews.

Comme le savoir et la connaissance, l'amitié grandit de l'échange et du partage. Je remercie mes amis qui – ils le savent – sont si importants pour moi. Merci à Alexandre, Alice, Carl, Charles, Clara, Clément, Elise, Erwan, Julia, Laurène, Lionel, Luca, Lucas, Nemo, Neil, Quentin, Radouan, Raphaël, Timothée, Victor, et Yaniv. Une pensée aussi pour mes amis Clairissiens. Je pense à Anthony, Benjamin, Raphaël, Thomas, et à tous les autres. Un petit mot à mon colocataire Alexandre avec qui c'est une chance de partager un appartement, notamment en cette période de fin de thèse. Je ne peux omettre de mentionner mes camarades de football. Nos matchs hebdomadaires sont d'irremplaçables récréations. Merci donc à tous mes coéquipiers des Tuileries et du FC ASU.

Constance, merci de rendre la vie plus belle à chaque instant.

Un mot aussi pour les tiens qui m'ont si chaleureusement accueilli l'été dernier.

Pour finir, j'exprime mon infinie gratitude à ma famille. Pour leur présence, leur indéfectible soutien, leur intelligence, et leur amour. Merci Thibault d'être depuis toujours un grand frère exemplaire et un formidable ami. Merci Maman pour tant de choses que quelques lignes (et même quelques pages !) ne suffiraient pas. Merci, enfin, à Papa et à Grégoire, ce qu'ils m'ont apporté m'accompagne chaque jour. Cette thèse leur est dédiée.

Résumé

Titre Relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. Comment les entreprises s'y prennent-elles pour tirer parti de la fabrication additive ?

Mots clés Relations inter-firmes, paradigme technologique, fabrication additive, capacités dynamiques, alliances.

La fabrication additive désigne un ensemble de technologies dont les caractéristiques uniques ouvrent des perspectives de conception et de production radicalement innovantes. Certains ont imaginé qu'elle permettrait un jour la fabrication décentralisée et en petites séries d'objets personnalisés aux formes complexes, grâce à des machines flexibles capables de tout fabriquer ou presque, ce qui déclencherait une nouvelle révolution industrielle. Néanmoins, pour l'heure, nous sommes encore dans la phase d'exploration de ce nouveau paradigme techno-industriel.

Les travaux évolutionnistes sur l'évolution technologique postulent que les choix et les compétences des acteurs parties prenantes jouent un rôle clé dans l'exploration du nouveau paradigme, construisant ainsi les trajectoires technologiques. Inspirée par l'approche de l'économie évolutionniste, l'approche par les capacités dynamiques en management stratégique met en avant l'importance de l'adaptation des compétences des entreprises aux changements technologiques. Elle souligne notamment que les relations inter-firmes sont un vecteur essentiel de l'accès aux nouvelles compétences requises par le nouveau paradigme.

Ainsi, les relations inter-firmes apparaissent comme fondamentales dans cette phase d'exploration du nouveau paradigme techno industriel de la fabrication additive. Nous étudions ce sujet au travers de trois instanciations particulières de ces relations inter-firmes.

Nous nous intéressons d'abord à des cas où la mise en œuvre des nouvelles technologies s'est déjà opérée. Nous observons alors la transformation des chaînes de valeur où se jouent de nouvelles relations clients-fournisseurs, avec de la désintermédiation. Nous donnons ainsi à voir une reconfiguration concurrentielle des chaînes de valeur sous l'effet de la mise en œuvre par les acteurs des usages permis par la nouvelle technologie. Les acteurs les moins adaptés sont exclus des relations clients-fournisseurs par la désintermédiation causée par la mise en œuvre des fonctions de la fabrication additive. Néanmoins, la capacité de certains acteurs à transformer leurs compétences, ainsi que les spécificités des relations clients-fournisseurs dans

le secteur étudié permettent à certains de capter de la valeur et de tirer parti du nouveau paradigme.

Nous étudions ensuite des alliances multipartenaires au travers desquelles les acteurs mènent une réflexion stratégique collective pour se préparer à la fabrication additive. Si les acteurs travaillent collectivement, ils pensent et développent aussi leur propre stratégie. Dans ce contexte, le groupe adopte des pratiques relationnelles spécifiques pour permettre la coopération d'un grand nombre d'acteurs autour d'un sujet vaste. Si ces alliances multipartenaires permettent de créer un cadre collectif, elles sont inadaptées à la mise en œuvre d'actions concrètes.

Enfin, nous nous penchons sur des alliances dyadiques qui visent à combiner des compétences technologiques et des compétences métier afin de rapprocher la technologie et ses applications potentielles, et donc de permettre aux acteurs de mettre en œuvre la fabrication additive pour de nouveaux usages. Contrairement aux alliances multipartenaires essentiellement exploratoires, il s'agit ici de préparer le passage à l'acte. Alors que ces alliances ont vocation à hybrider exploration (développements technologiques, recherche de cas d'applications...) et exploitation (utilisations opérationnelles, commercialisation), la difficulté de passer effectivement le cap vers l'exploitation peut poser des difficultés pour coopérer. Les acteurs doivent alors avoir adopté un mode de coopération qui permet de surmonter ces difficultés, ou s'adapter à des nouvelles conditions pour poursuivre leurs efforts de développement, conjointement ou séparément. Ils s'efforcent ainsi d'explorer le foisonnement des besoins qui peuvent désormais trouver une solution technologique spécifique, grâce au potentiel du nouveau paradigme.

A partir de ces trois plongées dans des instanciations typées des relations inter-firmes à différents stades d'exploration d'un nouveau paradigme, nous proposons un cadre intégrateur qui théorise le processus itératif et entremêlé par lequel les acteurs explorent et tirent parti du nouveau paradigme techno-industriel, façonnant ainsi les trajectoires technologiques. Ce faisant, notre cadre théorique éclaire et relie (1) la vision des paradigmes et trajectoires technologiques à la Dosi et (2) la perspective des capacités dynamiques avec son triptyque « sensing-seizing-reconfiguring » à la Teece, en donnant voir comment le jeu des acteurs façonne les trajectoires technologiques autant, sinon plus que la dynamique propre à la technologie. La contribution théorique est donc celle d'un cadre intégrateur présentant comment des instanciations des relations inter-firmes influencent et façonnent le processus d'évolution technologique au cours de l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel.

Cette thèse contribue à la littérature sur le management stratégique des nouvelles technologies, et éclaire l'interaction entre l'évolution technologique et les stratégies visant à accéder à de nouvelles compétences au travers de relations inter-firmes.

Résumé en anglais

Title Inter-firm relationships for the exploration of a new techno-industrial paradigm. How firms manage to capture value from additive manufacturing?

Keywords Inter-firm relationships, technological paradigm, additive manufacturing, dynamic capabilities, alliances.

Additive manufacturing designates a set of technologies whose unique features open radically innovative design and production possibilities. Some early authors imagined that it would eventually allow decentralized and customized production of objects with complex shapes and in small quantities, thanks to flexible machines that could manufacture about everything. This could, in turn, triggers a new industrial revolution. However, at the present time, we are still in the exploration phase of this new techno-industrial paradigm.

Research on technological evolution postulates that choices and capabilities of the players involved highly influence the exploration of the new paradigm, thus shaping the technological trajectories. Building on evolutionary economics, the dynamic capabilities approach in strategic management emphasizes the importance of adaptation of firms' capabilities to technical change. This approach highlights inter-firm relationships as an essential means to gain access to new capabilities.

Thus, inter-firm relationships appear to be crucial in the exploration of the additive manufacturing new techno-industrial paradigm. We study this exploration processes through the lenses of three specific types of inter-firm relationships.

We first focus on value chain relationships. We look at a sector where the implementation of new offerings is already effective. The competitive battle to capture value is raging. Less adapted players are excluded from the supplier-customer relationships through disintermediation caused by the implementation of additive manufacturing functions. However, the ability of some other players to transform their capabilities, as well as the particular features of the supplier-customer relationships in the industry limit disintermediation, helping some of the players to position themselves in the new value chains.

Then, we study multipartner alliances where companies engage in a collective strategic exercise to prepare themselves for additive manufacturing. If players work collectively, they also think

and develop their own strategy along the way. In this context, the group adopt specific relational practices to allow an important number of players to collaborate around a complex multiform topic. If these multipartner alliances create a shared cognitive frame, they prove inadequate to implement concrete projects.

Finally, we look at dyadic alliances implemented to combine technological and industry capabilities to connect the technologies and potential needs that previously could not be properly served. These alliances allow players to implement additive manufacturing for a few specific applications. Either the alliance can cope with these difficulties or players will try to adapt to pursue the developments jointly or on their own. In doing so, they struggle to explore the wide diversity of needs that can now be more properly addressed by a specific new technological solution made possible in the wake of the new paradigm.

Based on these three sets of empirical observations on three different types of inter-firm relationships at three different stages of the exploration of the new paradigm, we present and discuss an integrative theoretical framework that models the exploration of a new techno-industrial paradigm as an iterative and intricate evolution process : the combined actions of the players involved in the exploration of the new paradigm in fact contribute to shape the technological trajectories as they aim at benefitting from the new opportunities offered. As a result, our framework brings light on and interconnects (1) Dosi's vision of technological paradigms and technological trajectories and (2) Teece's perspective with the Dynamic capabilities and the « sensing-seizing-reconfiguring » scheme, thus offering a better understanding of how the players, through their exploration of the new paradigm, in fact shape the trajectories. The theoretical contribution is thus that of an integrated framework showing how via various instantiations of interfirm relations, a new techno-industrial paradigm is being explored to form technological trajectories.

This thesis contributes to the literature on strategic management of new technology, and emphasize the reciprocal interaction between technological change and strategies aimed at capturing value by gaining access to new capabilities through inter-firm relationships.

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	6
Résumé en anglais	9
Liste des tableaux	16
Liste des figures	17
Introduction	18
1. Qu'est-ce que la fabrication additive ?	25
1.1. Définition et principe	25
1.2. Sept procédés de fabrication additive	27
1.3. Trois grandes caractéristiques et des avantages associés	30
1.3.1. <i>The additive nature and new design freedoms</i>	30
1.3.2. <i>The digital nature and direct manufacturing from a 3D model</i>	31
1.3.3. <i>The tool-free nature and flexible manufacturing</i>	32
1.4. Onze fonctions stratégiques	32
1.5. Limites et obstacles actuels	37
1.6. Sept exemples de secteurs utilisateurs	40
1.6.1. Aéronautique et spatial	41
1.6.2. Médical	42
1.6.3. Automobile	43
1.6.4. Construction	44
1.6.5. Habillement	44
1.6.6. Biens de consommation	44
1.6.7. Art	45
Synthèse du chapitre 1 : Qu'est-ce que la fabrication additive ?	45
2. Perspectives sur la fabrication additive	48
2.1. Points de repère sur les développements des procédés et des usages	48
2.2. La perspective d'une révolution industrielle	53
2.2.1. Le « buzz » de la révolution industrielle	55
2.2.2. De la fabrication personnelle à a vision « Makers »	61
2.2.3. La vision industrielle : industrie 4.0 et révolution pan-industrielle	68
2.3. Des enjeux stratégiques et organisationnels divers et profonds	70
2.3.1. Organisation industrielle	72
2.3.2. Stratégie des entreprises	75

2.3.3.	Organisation	76
2.3.4.	Opérations et chaînes logistiques	77
2.3.5.	Chaîne de valeur et écosystèmes	78
2.3.6.	Activités de conception	79
2.3.7.	Propriété intellectuelle.....	80
	Synthèse des chapitres 1 et 2 : la fabrication additive une réalité complexe, stratégique et en développement.....	80
3.	L'évolution technologique	84
3.1.	Qu'est-ce qu'une technologie.....	84
3.2.	La vision évolutionniste du changement technologique.....	86
3.3.	Paradigmes technologiques et trajectoires technologiques	88
3.4.	Facteurs d'évolution des trajectoires technologiques	90
3.4.1.	Les cadres technologiques organisationnels et inter-organisationnels.....	90
3.4.2.	Facteurs sociaux et économiques influençant l'évolution technique.	93
3.4.3.	Les interactions entre niveaux de l'évolution technologique.....	95
	Synthèse du chapitre 3 : un processus évolutionniste et cyclique, influencé par des logiques d'acteurs.....	97
4.	Approches de la technologie en management stratégique	99
4.1.	Premières approches	99
4.2.	Actifs complémentaires et capacités dynamiques	101
4.2.1.	Éléments de base du cadre des capacités dynamiques	101
4.2.2.	Nature et microfondations des capacités dynamiques.....	104
4.2.3.	Le management des complémentarités	105
4.3.	Stratégies de coopération inter-firmes	108
4.3.1.	Des alliances aux alliances technologiques.....	108
4.3.2.	Alliances technologiques.....	110
4.3.3.	Le management des alliances	112
4.3.4.	Ecosystèmes, réseaux, alliances multipartenaires	115
	Synthèse du chapitre 4 : Des compétences en évolution et leur mise en commun dans des relations inter-firmes.....	116
	Synthèse des quatre premiers chapitres et problématisation	118
5.	Démarche et design de la recherche.....	123
5.1.	Démarche générale	123
5.2.	La construction abductive de l'objet de recherche	124
5.3.	Présentation et articulation des articles de la thèse.....	127
5.3.1.	Justification et réflexion sur le format « sur article » de la thèse.....	127

5.3.2.	Les trois articles	129
5.3.3.	Articulation des articles de la thèse.....	130
5.4.	La collecte et l'analyse des données.....	133
5.4.1.	La collecte des données.....	133
5.4.2.	L'analyse des données.....	137
	Synthèse du chapitre 5 : démarche et design de la recherche.....	140
6.	Premier article : Disintermediation factors in the wake of the digitization of manufacturing: Evidence from the French dental industry.....	143
6.1.	Introduction	144
6.2.	Literature review.....	146
6.2.1.	Digitization of manufacturing and operations management	146
6.2.2.	Quality.....	146
6.2.3.	Mass customization.....	147
6.2.4.	Reducing customer lead time by producing close to the customer	148
6.2.5.	Digitization of manufacturing and transformation in the supply chain	149
6.3.	Methodology.....	151
6.3.1.	Research methodology	151
6.3.2.	Data collection and analysis.....	152
6.4.	Empirical findings: Disintermediation in the wake of the digitization of manufacturing.....	153
6.4.1.	Industry context.....	153
6.4.2.	Players in the supply chain.....	154
6.4.3.	Within-case description.....	155
6.4.4.	Factors of disintermediation.....	160
6.4.5.	Supply chain configurations and factors of disintermediation.....	166
6.5.	Implications and discussion.....	170
6.6.	Conclusion	175
6.7.	References	177
6.8.	Appendix	183
6.9.	Discussion du premier article	185
6.9.1.	Les modalités en jeu dans l'article	185
6.9.2.	Relations inter-firmes	188
7.	Second article : A Comparison of Relational Practices in Additive Manufacturing Multipartner Alliances in France and the UK	190
7.1.	Introduction	191
7.2.	Conceptual framework	193

7.2.1.	Multipartner alliances.....	193
7.2.2.	Relational view of alliances	194
7.2.3.	Multipartners relational practice	195
7.3.	Methodology.....	197
7.4.	Findings	199
7.4.1.	Uk additive manufacturing national strategy case study.....	199
7.4.2.	Additive manufacturing initiative of the French Alliance for the Industry of the future case study	202
7.4.3.	Comparative analysis	207
7.4.4.	A common process	211
7.5.	Conclusion	212
7.6.	References	214
7.7.	Appendix	218
7.8.	Discussion du second article.....	219
7.8.1.	Les modalités en jeu dans l'article	219
7.8.2.	Relations inter-firmes	222
8.	Troisième article : Alliances hybrides en situation d'innovation radicale : quatre cas d'alliance pour la fabrication additive, une révolution industrielle qui se fait désirer	224
8.1.	Introduction	225
8.2.	Revue de littérature : Alliances d'exploration et alliances d'exploitation.....	227
8.3.	Méthode.....	232
8.4.	Présentation des résultats.....	234
8.4.1.	Analyse intra-cas	234
8.4.2.	Analyse inter-cas	250
8.5.	Discussion et conclusion	254
8.6.	Références	256
8.7.	Discussion du troisième article.....	259
8.7.1.	Les modalités en jeu dans l'article	259
8.7.2.	Relations inter-firmes	261
9.	Synthèse des résultats et construction d'un cadre intégrateur	263
9.1.	Synthèse des articles	263
9.1.1.	Premier article : la transformation des chaînes de valeur sous l'effet de la numérisation et de la transformation des compétences.....	263
9.1.2.	Second article : des alliances multipartenaires pour l'élaboration d'une stratégie collective	266

9.1.3. Troisième article : des alliances dyadiques pour développer l’usage de technologies	269
9.2. Construction d’un cadre intégrateur : relations inter-firmes pour l’exploration d’un paradigme techno-industriel	273
9.2.1. Modalités du paradigme techno-industriel et relations inter-firmes	273
9.2.2. Objectifs, problématiques et résultats des relations inter-firmes	276
9.2.3. Un processus itératif articulant les différents types de relations inter-firmes ..	278
9.2.4. Influence des relations inter-firmes sur les technologies : éléments d’une approche relationnelle de l’évolution technologique	285
10. Contributions, limites, et pistes pour des recherches futures	292
10.1. Contributions théoriques.....	292
10.2. Contribution empirique.....	295
10.3. Contribution managériale	296
10.4. Limites	298
10.5. Pistes de recherche.....	300
Bibliographie.....	304

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse du chapitre 1, « Qu'est-ce que la fabrication additive ? »

Tableau 2 : Synthèse de la section 2.3 sur les enjeux stratégiques et organisationnels de la fabrication additive

Tableau 3 : Synthèse des sous-sections 3.4.1 et 3.4.2 sur l'évolution technologique

Tableau 4 : Synthèse des données collectées

Table 5 : Details of data sources [article 1]

Table 6 : Disintermediation and factors involved in case studies

Table 7 : Relational Practice in MPA

Tableau 8 : A common process of MPA evolution

Tableau 9 : Détail des entretiens menés pour le cas français [article 2]

Tableau 10 : Détail des entretiens réalisés [article 3]

Tableau 11 : Synthèse de la réalité technologique de chaque cas [de l'article 4]

Tableau 12 : Types de relations inter-firmes selon l'étendue de palette de modalités et le degré de maturité de l'exploitation

Tableau 13 : Caractéristiques des types de relations inter-firmes observées

Liste des figures

Figure 1 : Les trois étapes du procédé complet de fabrication additive

Figure 2 : Comparaison de coût entre la FA et un procédé de moulage métallique

Figure 3 : La croissance du marché de la fabrication additive

Figure 4 : Comparatif des évolutions des résultats obtenus sur Factiva pour « fabrication additive » ou « impression 3D » et pour « Usinage »

Figure 5 : Evolution des publications scientifiques en lien avec la FA

Figure 6 : *Hype Cycle* du cabinet Gartner (2015) avec mise en lumière des procédés de FA

Figure 7 : *Hype Cycle* « fabrication additive » du cabinet Gartner (2017)

Figure 8 : Articulation des travaux de la thèse

Figure 9 : The traditional handcraft method

Figure 10 : Outsourcing by the prosthetist

Figure 11 : Industrialized and digitized prosthetist

Figure 12 : Disintermediation of the prosthetist by the dentist

Figure 13 : Digital design and services center

Figure 14 : Factors of disintermediation in the wake of the digitization of manufacturing.

Figure 15 : Relations inter-firmes en contexte de changement de paradigme techno-industriel

Introduction

Chuck Hull, inventeur de la fabrication additive, décrit ce procédé de fabrication comme « *an ideal path between the digital and physical worlds* » (Hull, 2012: 177).

Dans son court texte sur l'invention de la fabrication additive par stéréolithographie et la création de 3D system – la première entreprise spécialisée du secteur – l'inventeur raconte que c'est pour prototyper plus vite qu'il a commencé à imaginer ce qui deviendrait un des principaux procédés de fabrication additive (aussi appelée « impression 3D »). La solution qu'il avait trouvée à son besoin puis commercialisée a depuis très largement fait parler d'elle.

Barack Obama, alors président des Etats-Unis d'Amérique, a déclaré lors de son discours sur l'état de l'union le 12 février 2013, que la fabrication additive « *avait le potentiel de révolutionner la façon dont on fabrique quasiment tout* »¹. A la même période des universitaires (D'Aveni, 2013, 2015), des think tanks (Campbell *et al.*, 2012), ou des consultants (McKinsey & Company, 2014) ont qualifié la fabrication additive de « déclencheur de la prochaine révolution industrielle ».

Cette nouvelle technologie de production a en effet un certain nombre d'avantages sur d'autres modes de fabrication, et donc un certain nombre d'usages possibles, chacun avec des conséquences attendues sur l'organisation de la production au sein des entreprises et des industries. Dans un passage de leur récent article publié dans la *California Management Review*, Ben-Ner et Siemsen donnent une vision saisissante de l'effet transformateur que pourrait avoir la fabrication additive. D'après eux :

Whereas the first and second industrial revolutions ushered and consolidated the large corporation, the third industrial revolution will democratize, decentralize, and localize activities in small companies. Production capacity will become generic, thus owned and possibly traded by many different actors not necessarily tied to a particular industry.

(Ben-Ner et Siemsen, 2017: 19)

Néanmoins, comme le souligne l'OCDE (2015), la fabrication additive rencontre encore un certain nombre de limites technologiques. D'autres affirment que son utilisation n'est pertinente

¹<https://www.youtube.com/watch?v=Yw1jAdMgsW8> (consulté le 22/01/2019)

que pour certains types de productions (Holweg, 2015). En dépit d'annonces retentissantes, la révolution industrielle ne semble pas (encore ?) avoir eu lieu.

Nous sommes donc face à une transformation techno-industrielle potentiellement profonde et en train d'émerger, ce qui pose question. Que font les entreprises qui veulent en tirer parti, s'y adapter, voire la faire advenir ? C'est cette question générale qui a guidé notre travail de thèse.

Elle nous amène à mobiliser deux champs de littérature. Pour comprendre le phénomène de transformation technologique, nous mobilisons d'abord le champ de littérature sur l'évolution technologique. Nous mobiliserons ensuite le champ de recherche sur le management stratégique de l'innovation technologique.

L'approche évolutionniste du changement technologique théorise le changement technologique sous la forme d'un cycle marqué par des ruptures technologiques dont découle une phase de foisonnement durant laquelle les acteurs font des choix technologiques qui débouchent sur l'émergence d'un design dominant (Utterback et Abernathy, 1975; Tushman et Anderson, 1986; Anderson et Tushman, 1990; Tushman et Rosenkopf, 1992; Durand, 1992). Dans ce processus, les ruptures technologiques peuvent avoir pour effet de rebattre les cartes du jeu concurrentiel, elles sont donc une question essentielle pour le management stratégique (Tushman et Anderson, 1986; Durand, 1992; Hill et Rothaermel, 2003; Christensen, 2008; Cozzolino, Verona, et Rothaermel, 2018). L'importance des compétences et des savoirs dans les choix technologiques définissent des trajectoires technologiques le long desquelles les technologies évoluent dans un paradigme composé de problèmes à résoudre, de procédures de résolution, et de formes de solutions proposées (Dosi, 1982). Les compétences technologiques sont donc essentielles afin de se positionner dans, de s'adapter à, et d'influencer le contenu d'un nouveau paradigme qui émerge d'une rupture technologique. En plus des compétences, l'évolution technologique est marquée par plusieurs éléments en interactions, et relevant de différents niveaux d'analyse : les cadres de compréhension individuels et organisationnels, les jeux d'acteurs, les interactions inter-organisationnelles, ainsi que des facteurs sociaux, économiques, et institutionnels. Ces multiples facteurs et leurs interactions impliquent que les relations entre organisations sont centrales dans l'évolution technologique. Or les travaux sur l'évolution technologique, s'ils la constatent, n'analysent qu'assez peu cette influence.

La question des relations inter-firmes est au cœur du management stratégique, et notamment du courant qui s'intéresse au management stratégique du changement technologique. C'est le second champ de littérature que nous mobilisons dans cette thèse.

Ce courant du management stratégique met lui aussi en lumière l'importance des compétences technologiques dans l'avantage concurrentiel des entreprises. Repartant de cette idée et pour l'adapter à un contexte de changement technologique, le courant des capacités dynamiques propose un cadre théorique de la façon dont les entreprises peuvent transformer leurs compétences pour s'adapter au changement (Teece *et al.*, 1997; Teece, 2007). Au sein de ce cadre théorique, la question de la complémentarité des compétences est clé. L'idée est que l'exploitation d'une innovation technologique nécessite souvent la combinaison de compétences sur la nouvelle technologie et de compétences complémentaires, par exemple en marketing, ou en distribution ; une question essentielle est alors celle de l'accès à ces compétences complémentaires (Teece, 1986). L'intégration ou l'achat de compétences rares et/ou difficilement imitables étant par nature difficile, y accéder implique souvent de passer par des apprentissages internes, inévitablement longs, ou, pour aller plus vite, des stratégies partenariales. Les stratégies d'alliances sont alors essentielles dans un contexte de changement technologique (Teece, 1992; Dyer et Singh, 1998; Doz et Hamel, 1998). Le changement technologique nécessite notamment des alliances verticales, le long de la chaîne de valeur. Elles peuvent servir au développement de compétences communes et/ou à la commercialisation de nouveaux produits (Teece, 1992; Hagedoorn et Duysters, 2002). Néanmoins, le choix des alliances stratégiques comme mode d'accès aux compétences complémentaires posent des difficultés de gestion spécifiques (Doz, 1996; Das et Teng, 1998; Doz et Hamel, 1998). Le passage par les alliances stratégiques n'est donc pas simple ni évident. Les alliances multipartenaires (par opposition aux alliances dyadiques « classiques ») peuvent également permettre à différentes entreprises d'associer leurs compétences pour un projet commun. Néanmoins, ce type de relations inter-firmes pose également d'importantes difficultés de gestion (Zeng et Chen, 2003; Albers, Schweiger, et Gibb, 2015).

Ces champs de littérature fournissent des cadres pour comprendre les stratégies des entreprises face à la transformation techno-industrielle en cours, liée à la fabrication additive. Nous montrons en quoi la fabrication additive ouvre un nouveau paradigme, technologique et industriel à la fois, porteur de ruptures technologiques et de transformations industrielles. En ce sens, nous parlerons de paradigme techno-industriel. Cela implique que les entreprises doivent adapter leurs compétences, notamment en s'assurant l'accès à des compétences complémentaires aux leurs. Cet accès peut passer par différents types de relations inter-firmes.

Dans cette thèse, nous examinons différents modes de relations inter-firmes pour l'exploration et l'adaptation à un nouveau paradigme techno-industriel, nous montrons que leur émergence

s'articule avec des situations spécifiques au sein du paradigme, nous mettons en lumière leurs objectifs, problématiques et résultats, ainsi que le processus itératif selon lequel leur émergence s'articule et leur influence dans le cycle technologique. Tout cela permet de dessiner les éléments d'un modèle théorique des relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme technologique.

Pour aborder ce sujet complexe et riche, notre travail de thèse adopte une approche compréhensive et s'appuie sur une méthode qualitative (Dumez, 2016). Un processus de construction abductive de notre objet de recherche nous a conduits, par des allers-retours entre la littérature et le terrain, à nous pencher sur la question des relations inter-firmes dans le contexte d'émergence du paradigme technologique de la fabrication additive. Nous présentons ce travail de thèse dans un format de « sur article », ce format nous permet des plongées analytiques dans trois types d'instanciations des relations inter-firmes, chaque fois au travers de différentes études de cas. Les données analysées pour ce travail de thèse ont été collectées au travers d'entretiens, d'observation participante, auxquelles s'ajoutent des données secondaires internes et externes.

Les résultats montrent trois types de relations inter-firmes jouant des rôles différents en contexte d'émergence d'un nouveau paradigme technologique.

Le premier article de cette thèse (consacré au secteur des prothèses dentaires) donne à voir des relations inter-firmes le long d'une chaîne de valeur. Dans un contexte où l'exploitation de la technologie est stable, différentes chaînes de valeurs apparaissent et incarnent différents modes d'exploitation de la technologie. Dans ces chaînes de valeur, différents types d'acteurs jouent différents rôles selon leur capacité à intégrer de nouvelles compétences. Ces acteurs qui entretiennent des relations clients-fournisseurs sont également en concurrence pour capturer de la valeur au sein de la filière de fabrication de prothèses dentaires. Ce premier article montre comment la fabrication additive (FA) en arrive à transformer les chaînes de valeur dans un secteur précis.

Dans le second article (consacré à l'élaboration de stratégies technologiques nationales), on observe des relations inter-firmes sous forme d'alliances multipartenaires. Ces dernières sont mises en œuvre par des acteurs souhaitant individuellement affiner leur stratégie en détectant ou en créant des opportunités d'exploitation de la fabrication additive, et tout cela en lien avec la puissance publique. Collectivement, ces acteurs construisent une stratégie commune, la difficulté est alors de faire coopérer de nombreux acteurs ayant leurs objectifs propres. La mise

en œuvre des stratégies collectives n'est pas réalisée par l'alliance multipartenaires, mais au travers d'autres dispositifs organisationnels. Cet article compare les alliances multipartenaires mises en place en France et en Grande-Bretagne pour développer une stratégie et un écosystème pour la fabrication additive, en lien avec la puissance publique.

Enfin, le troisième article (consacré aux alliances dyadiques ciblées) permet de comprendre l'émergence d'alliances dyadiques dans le contexte d'émergence du nouveau paradigme techno-industriel qu'est la fabrication additive. Ces alliances dyadiques permettent à des acteurs ayant une compétence technologique en FA de s'associer avec des acteurs dont les compétences permettront de repérer des applications spécifiques, de conduire ensemble des développements technologiques ad hoc pour y répondre et d'exploiter commercialement ces développements technologiques de la fabrication additive dans de nouveaux secteurs. Dans ces alliances dyadiques, la difficulté est le passage de l'exploration à l'exploitation qui peut faire émerger une tension entre les partenaires de l'alliance. Un des enjeux essentiels de ces alliances est donc de gérer cette tension.

A la suite de ces trois articles, nous proposons une articulation entre les observations des différents articles de la thèse débouchant sur une intégration conceptuelle. Nous montrons que les types de relations inter-firmes dépendent des objectifs et les situations des acteurs, ainsi que de leurs compétences propres et de leurs possibilités d'accès à des compétences complémentaires. Nous analysons aussi les types d'interactions qui apparaissent selon l'ampleur de ce qui est exploré (que nous discutons au travers du concept de modalités de la FA), et la maturité de l'exploitation de la fabrication additive dans les différents contextes. Enfin, sur cette base, nous proposons une représentation intégrée du processus itératif d'évolution de ces relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme technologique.

Cette thèse est organisée en deux grandes parties qui au total comportent sept chapitres. Après cette introduction débute la première partie, avec le premier chapitre de cette thèse. Ce premier chapitre présente la fabrication additive : de quoi parlons-nous précisément ? Le second chapitre complète cette présentation discutant des perspectives à propos de cette nouvelle technologie. Les deux chapitres suivants constituent l'armature théorique de notre travail de thèse : le chapitre trois revient sur les recherches concernant le changement technologique et le chapitre quatre sur les approches du changement technologique en management stratégique. Dans le chapitre cinq, le dernier de cette première partie, nous revenons sur la démarche et le design de la recherche mise en œuvre durant ce travail de thèse. La seconde partie s'ouvre alors,

dont l'essentiel est composé des trois articles qui font l'objet des chapitres six, sept, et huit. Cette seconde partie se termine par une discussion d'ensemble des résultats de la thèse dans le chapitre neuf. Nous revenons finalement, dans le dixième chapitre, sur les contributions et limites de cette thèse, ainsi que sur les perspectives de recherche qu'elle ouvre.

Première partie

Partie introductive

1. Qu'est-ce que la fabrication additive ?

1.1. Définition et principe

D'après la norme ISO/ASTM 52900:2015(fr) sur les principes généraux et la terminologie de la fabrication additive, « *Le terme fabrication additive est le terme général utilisé pour les technologies qui, sur la base d'une représentation géométrique, créent des objets physiques par ajout successif de matériau.* »

Dans cette courte définition apparaissent trois éléments que nous développons dans cette section et la suivante, pour définir la fabrication additive. Dans un premier temps, nous revenons sur le fait que la fabrication soit faite par ajout de matériau, d'où le terme *additif*. Ensuite, nous développons ce que signifie une fabrication sur la base d'une représentation géométrique et proposons une présentation complète du processus. Finalement, le terme de FA est utilisé pour plusieurs [« les »] technologies : on classe souvent la fabrication additive en sept procédés que nous présentons synthétiquement dans la section suivante.

Reprenons le premier aspect, fabriquer des objets par ajout de matière constitue un profond changement en comparaison des techniques de fabrication dite traditionnelles. On peut classer les modes de fabrications traditionnels en quatre familles : la première est l'usinage qui consiste à soustraire de la matière d'une masse pour obtenir une forme finale (on taille, fraise, lime, perfore, découpe...), la seconde est la déformation de matière afin d'obtenir la forme désirée (on emboutit, forge, plie, thermoforme...), la troisième est le moulage dans lequel on place un matériau dans un état déformable (liquide, en poudre...) dans un moule, avant de le faire durcir (par séchage, réaction chimique...) pour qu'il prenne la forme du moule, enfin la quatrième est l'assemblage (on soude, colle...). Le caractère additif de la FA se différencie de ces quatre techniques traditionnelles. La FA consiste comme son nom l'indique à ajouter de la matière couche par couche afin d'obtenir la forme désirée. Cette particularité a des conséquences importantes sur lesquelles nous revenons dans les sections 1.3 et 1.4.

Le second aspect que nous avons noté dans la définition est le fait que la FA se fait à partir d'une représentation géométrique. Cette représentation géométrique existe sous forme numérique et conduit donc la fabrication additive à appartenir à la famille des technologies de *fabrication assistée par ordinateur (FAO)*, ou fabrication numérique. Concrètement, la

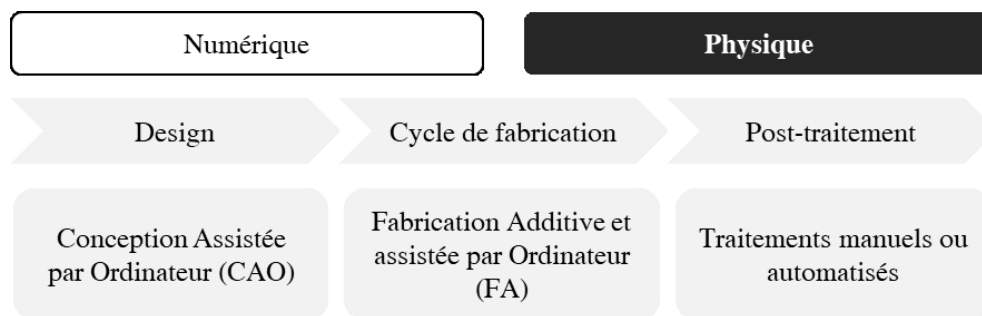
machine de FA est connectée à un ordinateur, à partir duquel un opérateur lui transmet une représentation numérique de la pièce à fabriquer. La machine de FA fabrique ensuite la pièce sur la base des instructions numériques, sans intervention humaine. La FAO va de pair avec la *conception assistée par ordinateur* (CAO), qui vient avant la fabrication et dans laquelle la conception d'une pièce est réalisée sur ordinateur. On appelle l'ensemble de ces étapes numériques allant de la conception à la fabrication d'un objet la *Chaîne numérique*.

Il convient de prendre en compte l'ensemble de cette chaîne (conception + fabrication) pour comprendre les implications de la FA. C'est ce qu'indique la mention de la représentation géométrique dans la définition normalisée de la fabrication additive. Par ailleurs, la norme susmentionnée définit le « *cycle de fabrication* », c'est-à-dire la fabrication proprement dite lors de laquelle « *un ou plusieurs composants sont accumulés* ». Cette distinction entre fabrication additive et « cycle de fabrication » indique bien qu'il existe une nuance : la FA au sens large comprend la conception assistée sur ordinateur.

Il convient d'ajouter à ces points issus de la définition normalisée la mention de l'étape appelée post-traitement, qui comme son nom l'indique se situe en aval du cycle de fabrication. La norme ISO/ASTM 52900:2015(fr) définit le post-traitement comme la ou les « *étape(s) de procédé exécutée(s) après un cycle de fabrication [...] de fabrication additive [...] afin d'obtenir les propriétés souhaitées du produit fini* ». Cette étape est quasiment toujours nécessaire, il est donc essentiel de la prendre en compte pour bien comprendre les fondements pratiques de la FA. A titre d'exemple, les différents types de post-traitements sont : le retrait manuel du support sur lequel repose la pièce, le nettoyage de la pièce pour supprimer le surplus de matière non « additionné » mais qui s'est aggloméré autour de la pièce durant le cycle de fabrication, des étapes de traitement de surface (usinage, polissage, peinture ou vernissage...) pour obtenir l'aspect désiré, l'infiltration des pièces avec un liquide durcissant. Le terme de parachèvement est parfois utilisé comme synonyme du post-traitement.

Cette première approche de la FA conduit à une vision schématique du procédé en trois étapes :

Figure 1 : Les trois étapes du procédé complet de fabrication additive (Source : auteur)



Afin de compléter cette première présentation, il est utile de mentionner un potentiel élément complémentaire à la phase de CAO. Alors que la FA permet de transformer un modèle numérique 3D en objet physique, l'opération inverse peut être réalisée via les techniques de numérisation 3D. L'objectif de ces techniques est de recueillir (en la « scannant ») la forme d'objets physiques pour en construire le modèle numérique en trois dimensions. La numérisation 3D peut se faire sans contact, en quelque sorte en « prenant en photo » un objet sous différents angles pour ensuite le reconstituer par des calculs mathématiques. La numérisation 3D est complémentaire à la fabrication additive. En amont du procédé de FA présenté ci-dessus, elle permet de générer le modèle numérique d'un objet pour le reproduire à l'identique, ou en l'ayant modifié par CAO.

Cette première section dessine les grandes lignes de ce qu'est la fabrication additive. Derrière ce principe commun, il existe néanmoins différents procédés. Nous présentons ces procédés dans la section suivante.

1.2. Sept procédés de fabrication additive

Les grands principes de la FA établis, il convient de présenter un peu plus en détail les différents procédés de fabrication additive. La norme ISO/ASTM déjà citée plus haut classe les procédés en sept familles différentes, qui sont reprises par Barlier et Bernard, (2015). Cette section les présente de manière synthétique ainsi que les matériaux associés à chacun.

- Polymérisation d'une résine sous l'action d'un laser

Une couche de résine liquide photopolymère (qui subit une transformation sous l'effet de la lumière) d'une épaisseur prédéfinie est balayée par un laser qui dessine la forme choisie. La couche de résine durcit sous l'effet de la lumière du laser, une forme se dessine et constitue une

couche de l'objet à fabriquer. Ensuite, la couche fabriquée est recouverte d'une nouvelle couche de résine liquide dans laquelle est fabriquée la couche suivante en suivant le même procédé.

Matériaux : essentiellement plastiques, parfois composites.

- Projection de gouttes de matériau

Une tête d'impression se déplace dans la largeur et la longueur et dépose des gouttes de matériau sur un plateau afin de fabriquer une couche de la forme souhaitée. Les gouttes se solidifient alors par refroidissement ou par le passage d'une lampe UV (photopolymérisation). Une tête de fraisage vient ensuite aplanir la surface de la couche juste fabriquée. Puis le plateau s'abaisse de la hauteur d'une couche, pour que la tête d'impression dépose la couche suivante.

Matériaux : cires de modelage, plastiques, parfois composites.

- Projection d'un liant sur un substrat de type poudre

Une tête d'impression vient déposer un liant liquide sur une couche de matériau en poudre (placée dans un bac appelé « lit de poudre ») selon la forme choisie. La couche est alors solidifiée. Le lit de poudre s'abaisse puis est recouvert d'une nouvelle couche de poudre pour que soit fabriquée la couche supérieure de l'objet.

Matériaux : poudres de plastique, d'amidon, de plâtre, métallique, ou minéral (sable...).

- Solidification de poudre par fusion sous l'action d'un laser

Un faisceau laser balaye une couche de poudre (dans un « lit ») pour la fritter ou la fusionner (dans les deux cas, faire se souder les grains de poudre entre eux) selon la forme choisie. Après chaque couche, le lit de poudre de fabrication descend, une nouvelle couche de poudre est déposée, et la couche suivante de la pièce peut être fabriquée.

Matériaux : poudres plastiques, poudres métalliques diverses, sable, verre

- Projection de poudre (ou fusion de fil) dans un flux d'énergie concentrée

La matière est envoyée au moyen d'un embout (la buse) dans un faisceau d'énergie thermique (laser ou plasma) qui la fait entrer en fusion. Cette projection de matière en fusion se fait sur le support de fabrication, les couches précédentes de la pièce en cours de construction, ou une pièce déjà existante. La matière en fusion déposée se solidifie et est liée à la matière existante (ou au support dont on la séparera).

Matériaux : poudres métalliques (titanes, aciers, inox...)

- Extrusion de fil au travers d'une buse chauffante

Délivré depuis une bobine, un fil plastique traverse une buse d'extrusion qui chauffe, comprime, et dépose du plastique en fusion. Le plastique refroidit et durcit pour former l'objet à fabriquer. La buse se déplace dans la largeur et la longueur pour déposer une couche de matière selon la forme choisie. La première couche est déposée sur un plateau qui s'abaisse d'un niveau après chaque couche, pour que la buse dépose la suivante dessus.

Matériaux : plastiques, cires, parfois substances naturelles (amidon, algues...)

- Assemblage de couches à partir de feuilles ou de plaques découpées

Des feuilles de matériau sont découpées suivant la coupe transverse du modèle 3D, par exemple à l'aide d'un laser. Puis les couches sont assemblées.

Matériaux : selon les technologies, papier ou d'autres nombreux matériaux

Dans chacun des procédés, il y a également des variantes, propre à chaque modèle de machine. D'autres typologies avec une granularité plus large (voir par exemple Lipson et Kurman, 2013: 68) ou plus fine ont été proposées (Hopkinson, Hague, et Dickens, 2006). Par ailleurs, ces procédés peuvent être utilisés avec différents matériaux. Pour chaque procédé, les résultats varient en fonction du matériau utilisé (par exemple en termes de qualité de la pièce). Une analyse précise et opérationnelle de l'opportunité d'utilisation de la FA nécessitera donc de s'intéresser au couple procédé/matériau utilisé. Sans entrer dans ce niveau de détail, il apparaît déjà que le phénomène de la fabrication additive recouvre des réalités variées (plusieurs sous-étapes, plusieurs procédés), ce qui pose la question de la pertinence d'un tel ensemble. La section suivante présente les caractéristiques communes aux différents procédés qui sont à la source des avantages de la FA. Ces caractéristiques et avantages donnent une cohérence au phénomène « Fabrication Additive » qui rassemble les différentes étapes et variantes de procédé tels que décrits ci-dessus.

1.3. Trois grandes caractéristiques et des avantages associés

Nous l'avons vu, la FA est une famille de procédés de fabrication additifs et numériques. Ces deux caractéristiques se retrouvent dans la synthèse suggérée par Ford, Mortara, et Minshall (2016). D'après cette synthèse, les trois caractéristiques de la fabrication additive fondent ses trois avantages : « *The additive nature of AM allows new design freedoms; its digital nature means that direct manufacturing from 3D models is possible; and its tool-free nature enables more flexible manufacturing.* » (Ford *et al.*, 2016: 156). Nous consacrons cette section à une explication détaillée des trois caractéristiques et avantages associés de la FA, nous détaillerons ensuite les limites qu'elle rencontre encore.

1.3.1. *The additive nature and new design freedoms*

Comme nous l'avons expliqué dans la section 1.1, la FA se distingue d'autres procédés de fabrication par son caractère additif (« *additive nature* »). Ce dernier permet au procédé de s'affranchir des contraintes de conception (« *design* »)² rencontrées par des procédés de fabrication plus traditionnels (Hopkinson *et al.*, 2006; Conner *et al.*, 2014; D'Aveni, 2015a, 2018a: 514). Par exemple, l'usinage ou le moulage ne permettent pas de fabriquer une forme dans laquelle du vide est complètement recouvert de matière (pensez à une sphère creuse). En effet, l'usinage implique de creuser un trou « en surface » avant de retirer de la matière à l'intérieur et le moulage implique de pouvoir retirer le moule de la pièce fabriquée. En d'autres termes, ils se limitent aux formes extérieures. Cette contrainte limite la fabrication de formes complexes, par exemples avec des cavités (Barlier et Bernard, 2015). Il est certes possible d'assembler des pièces usinées (ou moulées), par exemple en les soudant, mais cela pose alors des problèmes de solidité, de forme, et impose de fortes contraintes sur la production. En permettant de s'affranchir des limites des procédés traditionnels, la nature additive de la FA offre une « liberté de conception ». Ainsi, des pièces peuvent être conçues pour la FA via la méthode d'optimisation topologique. Cette méthode consiste à utiliser des calculs mathématiques pour trouver la répartition de matière optimale afin de concevoir une pièce composée du moins de matière possible, mais pouvant résister aux contraintes qu'imposent leurs fonctions (forces exercées, température...). Un des avantages de cette forme optimisée est

² Le terme de *design* peut recouvrir plusieurs acceptions et est en cela problématique. En anglais, *design* signifie à la fois l'activité de conception (« to design ») et la forme d'un objet (« the design »). En français, il signifie plutôt l'esthétique ou l'adaptation d'une forme à une fonctionnalité. Néanmoins, il arrive qu'il soit utilisé en français dans une de ses acceptions anglaises. Pour éviter les confusions, nous nous en tiendrons aux termes de « conception » et de « forme ». Nous utiliserons le mot *design* – avec parcimonie – au sens précis de l'esthétique et de l'adaptation d'un objet à une fonction, ou au sein d'expression en anglais.

que moins de matière signifie une pièce moins lourde et donc moins consommatrice de carburant lorsqu'il s'agit d'une voiture, mais encore plus d'un avion ou même d'une fusée (cf. sous-section 1.6.1). Par ailleurs, le caractère additif de la FA est souvent considéré comme permettant une complexité sans coût supplémentaire. Dans les modes de fabrication traditionnels, plus une pièce est complexe, plus sa fabrication est coûteuse. En FA, fabriquer une pièce complexe ne demande, en principe, pas plus de ressources (temps, coût, compétences) que fabriquer une pièce simple. De plus, le caractère additif permet de fabriquer en un seul processus des pièces emboîtées, sans nécessiter d'étape d'assemblage (Lipson et Kurman, 2013: 20-21). Comme nous l'avons dit, n'étant pas soumise aux contraintes des procédés traditionnels, la FA peut permettre de fabriquer des formes qui jusqu'à maintenant étaient impossibles à fabriquer. Un peu d'imagination permet de voir que cette liberté de conception ouvre la voie à des possibilités considérables (Lipson et Kurman, 2013: 22).

1.3.2. *The digital nature and direct manufacturing from a 3D model*

La FA a également un caractère numérique (« *digital nature* ») : le fait que la fabrication est directement effectuée à partir d'un modèle numérique ; ce qui implique que la FA profite des avantages de la conception numérique (la représentation 3D est plus facile sur un logiciel que sur une feuille de papier) et de ceux liés à la facilité de stockage, de partage, et de copie du modèle 3D sous forme de fichier numérique. La nature numérique de la FA est partagée par de nombreux procédés de fabrication de la famille de la FAO : machines de découpe ou d'usinage commandées numériquement ou divers types de robots industriels. Néanmoins, l'idée est que la fabrication additive réduit la distance entre le monde numérique et le monde physique. Chuck Hull, inventeur majeur de la fabrication additive et fondateur de l'actuel leader du secteur (3D System) exprime cela en décrivant la fabrication additive comme « *an ideal path between the digital and physical worlds* » (Hull, 2012). De manière simplifiée, il suffit de cliquer sur le bouton « imprimer » de son logiciel pour voir la pièce imprimée sous ses yeux par la machine (Berman, 2012). Si le numérique entre en jeu dans de nombreux processus de fabrication depuis des années, la FA est vue comme la technologie qui permettra de combler l'écart qui existe toujours entre les deux (Lipson et Kurman, 2013). Le caractère numérique profite également tout particulièrement à la fabrication additive du fait de sa combinaison avec la nature numérique et sans outillage de la FA, que nous expliquons dans le paragraphe suivant.

1.3.3. *The tool-free nature and flexible manufacturing*

Enfin, la FA fonctionne sans outillage (caractère non-outillé ou « *tool-free nature* »). L'outillage consiste à préparer les machines-outils et à les équiper des outils adaptés pour la production. Ces outils sont par exemples la fraise qui soustrait de la matière dans un procédé d'usinage, le moule (et avant lui le modèle pour le confectionner), la presse à emboutir. L'adaptation des machines et des outils à la pièce produite est essentielle dans les processus industriels classiques et représente souvent un délai et un coût important. Par exemple, la conception de moules industriels est souvent coûteuse et doit être amortie sur de grandes quantités. Au contraire de ces procédés, une machine de fabrication additive peut fabriquer n'importe quelle forme sans avoir besoin d'être outillée (donc adaptée) pour passer d'une forme à l'autre. La FA permet alors de réduire le délai et le coût engendrés par l'outillage. En d'autres termes, en FA, il n'y a pas de coût pour préparer les machines à une production particulière, donc le changement de production se fait à coût nul (Rayna et Striukova, 2014; Sasson et Johnson, 2016). La fabrication additive a donc un avantage en termes de flexibilité (Durach, Kurpjuweit, et Wagner, 2017; Eyers *et al.*, 2018) et permet de dépasser certains arbitrages opérationnels habituels, tel que celui entre la variété de la production et la maîtrise des coûts (Bianchi et Åhlström, 2014). Dit autrement, la FA est un actif non-spécifique de production (Sasson et Johnson, 2016) et donc redéployable. Allant plus loin, certains vont même jusqu'à évoquer la fin du lien entre nombre d'unités produites et coût unitaire de production, c'est-à-dire la fin des économies d'échelle (Berman, 2012; Petrick et Simpson, 2013). Ce dernier point est discutable et les économies d'échelles demeurent un avantage économique majeur pour les produits fabriqués en masse (voir section 1.5 pour des développements sur les limites de la FA).

Ces trois grandes caractéristiques communes aux différents procédés de FA confèrent à cette technologie des avantages considérables sur d'autres procédés de fabrication. Il est possible de profiter de ces avantages en utilisant la FA avec une « fonction » définie (prototypage rapide, fabrication de pièces complexes, production à la demande, etc.). Les différentes fonctions que peut avoir l'utilisation de la FA sont décrites dans la section suivante.

1.4. Onze fonctions stratégiques

Les caractéristiques présentées plus haut et leurs combinaisons sont mobilisées lors de l'usage de la FA pour en tirer un avantage. Cet avantage passe alors par la (ou les) fonction(s) que l'on donne à la FA (ou pour laquelle on mobilise la FA). Nous appelons fonction stratégique le rôle

joué par la FA et qui permet d'en tirer un avantage concurrentiel. Dans cette section, nous décomposons analytiquement les fonctions de la FA, mais nous invitons néanmoins le lecteur à garder à l'esprit que la FA peut être utilisée simultanément pour plusieurs de ces fonctions. On peut dénombrer 11 fonctions stratégiques de la FA. Cette section revient sur ces 11 fonctions identifiées dans la littérature sur la fabrication additive. Les paragraphes qui suivent présentent les fonctions de la façon suivante : d'abord, deux usages en fabrication indirecte (prototypage rapide et outillage rapide), ensuite, six fonctions appartenant à la fabrication directe (de pièces complexes, en petites séries, à la demande, personnalisée, locale, et respectueuse de l'environnement), et finalement trois fonctions relevant de nouveaux modèles d'affaires (conception collaborative, fabrication collaborative, et innovation facilitée).

Certaines de ces fonctions sont aujourd'hui largement adoptées, d'autres sont en développement, et certaines sont encore en phase embryonnaire, voire demeurent uniquement théoriques. Cette section est uniquement consacrée à l'explication de ces fonctions stratégiques, et non à une revue de leur état d'avancement ou d'adoption. Le lecteur trouvera des éléments sur le développement de différentes fonctions dans la section 1.6 sur les usages dans différents secteurs et dans la section 2.1 qui revient sur l'histoire du développement de la FA.

1. Le prototypage rapide (Rapid Prototyping) consiste à s'appuyer sur le caractère numérique et la flexibilité de la fabrication additive pour concevoir et fabriquer des prototypes. La FA permet un important gain de temps et de coût et de temps dans cette étape de prototypage. L'usage de la FA pour le prototypage rapide permet une meilleure visualisation des pièces prototypées (comparées à un plan physique ou numérique), une meilleure vérification, un plus grand nombre d'itérations et donc une optimisation des pièces, du point de vue de l'esthétique, de la maniabilité, ou du fonctionnement – tout cela avec des coûts et des délais réduits (Jacobs, 1992; Lipson et Kurman, 2013; Barlier et Bernard, 2015; Weller, Kleer, et Piller, 2015).
2. L'outillage rapide (Rapid Tooling) est une autre fonction importante de la FA. L'idée est de fabriquer en FA des outils fonctionnels qui seront ensuite utilisés dans des procédés industriels traditionnels. L'exemple typique est celui de la réalisation d'un moule, qui sera par exemple ensuite utilisé en plasturgie. Comme pour le prototypage rapide, l'idée est de profiter des caractères numériques et flexibles de la FA pour gagner en réactivité industrielle en étant capable de réaliser l'outil dans un délai plus court qu'avec les méthodes traditionnelles. Dans ces dernières, les moules industriels étaient usinés avec des délais allant d'une semaine à plus d'un mois. La FA réduit ce délai qui se compte alors en heures,

avec un coût largement réduit. Ensuite, l'utilisation de la FA pour l'outillage permet grâce au caractère additif de réaliser des moules aux formes complexes, comme nous l'avons expliqué plus haut. Ces derniers pourront avoir des avantages intrinsèques (par exemple, en termes de refroidissement grâce à des systèmes sophistiqués de canaux) ou permettre de fabriquer des pièces elles-mêmes plus complexes (Rayna et Striukova, 2014; Barlier et Bernard, 2015; Gibson, Rosen, et Stucker, 2015).

D'autres fonctions de la FA relèvent de la fabrication directe (Rapid Manufacturing ou Direct Digital Manufacturing), par opposition aux deux fonctions « indirectes » décrites ci-dessus, dans lesquels on ne fabrique pas directement la pièce ou le produit final (Hopkinson *et al.*, 2006; Rayna et Striukova, 2015). Il existe plusieurs fonctions dans lesquelles la FA peut être mise en œuvre pour la fabrication directe et offrir des avantages concurrentiels.

3. Une fonction importante de la FA en fabrication directe est la fabrication de pièces complexes qui ne peuvent être fabriquées par d'autres processus, comme expliqué dans les sections 1.1 et 1.3. Cette fonction majeure présente des avantages importants en termes de fonctionnalité des pièces (Hopkinson *et al.*, 2006; Gibson *et al.*, 2015; Weller *et al.*, 2015) et d'esthétique (Lipson et Kurman, 2013).
4. Le caractère non outillé (flexible) de la fabrication additive permet de réduire le coût unitaire d'un certain nombre d'objets lors de la production en petite série. Cela réduit les avantages d'échelle de la production standardisée et favorise ainsi la production en petite série pour des marchés de niche (Hopkinson *et al.*, 2006; Petrick et Simpson, 2013; Gibson *et al.*, 2015; Weller *et al.*, 2015).
5. En s'appuyant sur le caractère numérique et la flexibilité des procédés de FA, il est possible de produire à la demande. L'avantage est alors de fabriquer en flux tendu en « stockant » un modèle 3D sous forme de fichier numérique pour le fabriquer uniquement lorsque la demande est exprimée. Cette fonction peut être source d'économie importante en réduisant les stocks physiques. Un exemple typique est celui de la maintenance qui nécessite de stocker de nombreuses pièces détachées dont chacune n'est que rarement utilisée mais doit être disponible rapidement (Weller *et al.*, 2015; Holmström *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2017; Chekurov *et al.*, 2018).
6. Grâce aux avantages de la CAO, la conception d'objet est facilitée par le caractère numérique de la FA, et on peut modifier un modèle 3D rapidement. La numérisation 3D permet également de se baser sur des formes uniques numérisées depuis le monde réel. Cet

avantage associé à la flexibilité de la FA facilite la fabrication d'objets personnalisés. La FA facilite ainsi la personnalisation de la production (Hopkinson *et al.*, 2006; Lipson et Kurman, 2013; Gibson *et al.*, 2015; Weller *et al.*, 2015; Hartl et Kort, 2017). La FA a ainsi été beaucoup décrite comme un outil idéal pour la personnalisation de masse (Deradjat et Minshall, 2017). Cette fonction est considérée comme prometteuse eu égard à l'enjeu stratégique que représente la personnalisation de masse, important mais difficile à mettre en œuvre du point de vue opérationnel (Fogliatto, da Silveira, et Borenstein, 2012).

7. Le caractère numérique et flexible de la FA facilite également la fabrication locale et décentralisée. Ici l'idée est triple. Tout d'abord, un fichier de modèle 3D numérique est facilement échangeable sans contraintes de distances grâce à internet. Dès lors, un objet peut être conçu à un endroit et fabriqué à un autre de manière quasiment instantanée. Ensuite, le coût du capital nécessaire à la production en FA (machines et installations) est inférieur à celui nécessaire aux lignes de production traditionnelles. Finalement, le caractère flexible de la FA permet d'amortir une installation industrielle, et l'investissement associé, sur une grande diversité de produits. Sur la base de ces trois idées, de nombreux observateurs ont déduit (peut-être un peu hâtivement) qu'il devient plus facile d'avoir des unités de production locales et décentralisées (Weller *et al.*, 2015; Laplume, Petersen, et Pearce, 2016; Ben-Ner et Siemens, 2017; D'Aveni, 2015a, 2018b). L'usage de la FA pour la fabrication locale a comme avantage notable la réduction des coûts et des délais de transport. Par ailleurs, il est souvent admis que la FA réduit les besoins de main-d'œuvre (la diversité des besoins et des situations de ce point de vue fait qu'il est difficile de généraliser sur ce point). Cela est parfois vu comme un facteur de relocalisation de la fabrication dans les pays développés qui l'avaient abandonnée au profit des pays à bas coût de main-d'œuvre (Vecchi, 2017; Hannibal et Knight, 2018).
8. Finalement, la FA ouvre des voies pour le développement de l'économie circulaire et plus écologique pour plusieurs raisons. D'abord, le caractère additif de la FA conduit à ce que le processus de fabrication ne produise pas les déchets générés par l'usinage dans lequel la matière soustraite est perdue. La même caractéristique offre aussi la possibilité d'optimiser la forme des pièces pour fabriquer des biens moins consommateurs d'énergie (par exemple en rendant un avion plus léger) et d'utiliser moins de matière première. Finalement, la fabrication locale (voir points 7 et 10) permettrait de réduire la pollution engendrée par le transport de marchandises. L'utilisation de matériaux recyclés est également avancée comme une voie via laquelle la FA permettrait une production plus respectueuse de

l'environnement (Lipson et Kurman, 2013: 198 - 215; Chen *et al.*, 2015; Despeisse *et al.*, 2017; Garmulewicz *et al.*, 2018; Unruh, 2018).

Une troisième catégorie de fonctions relève quant à elle de la création de nouveaux modèles économiques grâce aux caractéristiques de la fabrication additive.

9. Le caractère numérique de la FA signifie que le développement de produit se fait à l'aide d'outils de CAO. En rattachant les outils de CAO – qui se démocratisent, notamment grâce à l'open source – au caractère interactif du web 2.0, il apparaît possible de mettre en œuvre des processus de co-conception avec les clients (Weller *et al.*, 2015) voire de conception ouverte (ou « *open design* ») (Raasch, Herstatt, et Balka, 2009; Rayna, Striukova, et Darlington, 2015). Avec l'émergence de ce modèle, la question du rôle prépondérant de client-concepteur dans ces nouveaux processus d'innovation et de conception a été posée, et, avec elle, celle des transformations engendrées sur la nature des produits et le rôle des entreprises (Rindfleisch et O'Hern, 2015; Rindfleisch, O'Hern, et Sachdev, 2017; Kyriakou, Nickerson, et Sabnis, 2017). Des outils complexes de co-crédation de produits avec les utilisateurs ont également été présentés (Arrighi, Maurya, et Mougnot, 2016).
10. Si la conception peut être collaborative, la fabrication peut également l'être. Ici, l'idée est de se fonder sur les mêmes caractéristiques (numérique et flexibilité) pour faire fabriquer « par la foule » des objets matériels. Chaque individu peut se lancer dans la « fabrication personnelle » grâce à des machines de FA à quelques centaines d'euros (voir la sous-section 2.2.2 pour des discussions plus amples sur la fabrication personnelle). La fabrication par la foule consiste à regrouper sur une plateforme numérique des offres de service de fabrication via des machines de FA appartenant à des ateliers professionnels ou des particuliers. Chacun peut alors utiliser la plateforme pour faire appel à un offreur de service et faire fabriquer un objet sur la base du modèle numérique 3D qu'il aura fourni ou trouvé sur internet. Il devient alors possible de produire de manière décentralisée en passant par une plateforme de mise en relation de l'offre et de la demande de services en FA (Lipson et Kurman, 2013; Rayna et Striukova, 2015; Walsh, Przychodzen, et Przychodzen, 2017). La réciproque de cette fonction est qu'il est nécessaire qu'il y ait une plateforme de mise en relation de l'offre et de la demande de FA. L'intérêt formidable et croissant de la position stratégique des plateformes dans l'économie d'aujourd'hui pourrait ainsi s'étendre au monde de la fabrication (D'Aveni, 2013; Rayna *et al.*, 2015; Rayna et Striukova, 2016; Kwak, Kim, et Park, 2018; D'Aveni, 2018a).

11. De plus, les mêmes avantages en termes de conception et de flexibilité de la FA rendent l'innovation plus facile. Il est plus simple de faire évoluer continuellement le design d'objets produits et vendus, et même de produire d'autres objets avec la même machine. Par ailleurs, il est envisageable pour une entreprise de se déplacer le long de la chaîne de valeur, entre la conception, la production, et le commerce de détail. Par exemple, il est envisageable de se concentrer sur la conception et de faire fabriquer « par la foule » (point 10) ou, à l'inverse, de décider d'intégrer la fabrication et d'externaliser la conception (point 9), adoptant un « paradigme du prototypage rapide » pour l'innovation de modèle d'affaires (Rayna et Striukova, 2015). Ici, la FA peut faciliter l'entrepreneuriat (Gartner, Maresch, et Fink, 2015) et l'émergence d'utilisateurs-entrepreneurs (Holzmann *et al.*, 2017) en rendant le processus d'innovation plus frugal (Maric, Rodhain, et Barlette, 2016).

Ces 11 fonctions montrent les nombreuses possibilités qu'offrent les trois caractéristiques de la FA (*new design freedoms, direct manufacturing from a 3D model, flexible manufacturing*). Néanmoins, les fonctions décrites ici sont pour un certain nombre d'entre elles en développement, voire embryonnaires. Cela est dû à un certain nombre de limites et d'obstacles auquel fait encore face la FA.

1.5. Limites et obstacles actuels

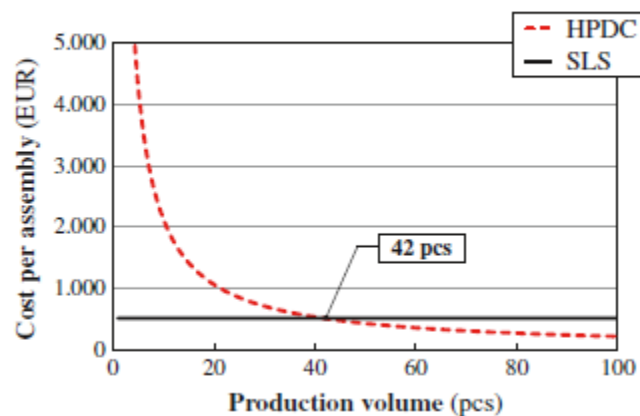
Si les technologies de FA ont rapidement progressé ces 40 dernières années, elles ont néanmoins encore des limites et des faiblesses non négligeables. En conséquence, le procédé est encore inadapté ou pas assez efficace pour fabriquer une vaste majorité des biens fabriqués aujourd'hui. Les progrès rapides des procédés de FA ont pour conséquence que le contenu de cette section de la thèse aura probablement varié dans quelques années. Afin d'être toutefois au plus proche de l'état de l'art, nous avons essayé de nous appuyer sur les informations les plus récentes pour écrire les lignes qui suivent.

Si la fabrication additive peut être économiquement adaptée pour les petites séries (*cf.* section 1.4, fonction 4), elle l'est bien moins pour la production de masse comparée aux procédés orientés sur les effets d'échelle comme le moulage par injection. La fabrication additive demeure ainsi plus coûteuse pour les productions de masse et standardisées (Sculpteo, 2014; Gao *et al.*, 2015; Achillas, Tzetzis, et Raimondo, 2017). La question des volumes est à mettre en lien avec celle de la nature de la production, et de sa valeur ajoutée : le surcoût engendré par l'utilisation de la FA est plus facile à absorber pour des pièces à haute valeur ajoutée (Thomas-Seale *et al.*, 2018). Plusieurs études coûts/bénéfices de la fabrication additive ont été menées.

Par exemple, la production en FA incluant l'amélioration des formes et la personnalisation combinées à des volumes faibles ou moyens a été jugée potentiellement intéressante en dessous d'une certaine quantité produite (Ruffo, Tuck, et Hague, 2006; Atzeni *et al.*, 2010; Atzeni et Salmi, 2012; Sculpteo, 2014). Le modèle de coût qui en découle est souvent représenté avec un coût unitaire fixe pour la FA et un coût décroissant pour la production de masse, comme dans le graphique de la figure 2, reproduite à partir d'Atzeni et Salmi (2012). La question est alors celle des quantités produites et du point de bascule (croisement des courbes, ici 42 pièces) à partir duquel la FA cesse d'être avantageuse.

Figure 2 : Comparaison de coût entre la FA et un procédé de moulage métallique

Reproduit depuis de Atzeni et Salmi (2012)



La question de l'évolution de la FA vers la production de masse grâce au progrès des différentes techniques est en débat. D'Aveni (2018a) a par exemple récemment affirmé que certains processus étaient économiquement viables pour la production de masse, notamment du fait d'une évaluation des coûts qui prend en compte des coûts annexes. Si cet avis apparaît comme encore minoritaire, la question demeure complexe et il semble impossible d'y apporter une réponse générale face à la diversité des procédés et produits pour lesquels elle peut se poser. De plus, sur la base des résultats d'un projet de recherche sur un procédé de FA en métal, mené conjointement par les universités de Nottingham et d'Oxford, Holweg (2015) discute des avantages communément avancés de la fabrication additive. Il met en avant le fait que des effets d'échelle et d'apprentissage demeurent. Concernant les effets d'échelle, le coût unitaire des produits dépend du taux d'utilisation de l'espace (parallélépipède) à l'intérieur duquel est fabriqué l'objet par dépôt et/ou durcissement de matière selon la forme choisie. En effet, n'importe quelle forme pouvant être fabriquée à l'intérieur de cet espace, on peut y fabriquer

plusieurs objets côte à côte durant un même cycle de fabrication. Dès lors, fabriquer dans le même cycle autant d'objets qu'il est possible dans cet espace permet d'amortir les coûts importants liés au lancement et au déroulement du cycle (énergie pour faire fonctionner la machine, contrôle du processus par un opérateur...) (voir également Baumers *et al.* (2016) sur ce sujet). Par ailleurs, ces processus nouveaux requièrent un travail en amont (préparer un fichier 3D à imprimer et les instructions de fabrication) et en aval (effectuer le post-traitement) qui exigent des compétences spécifiques. Ce travail qualifié renchérit le prix de la fabrication additive qui n'est ainsi intéressante que si les produits fabriqués ont une valeur ajoutée suffisante. Ce coût des compétences conduit aussi à l'importance de prendre en compte les effets d'apprentissages. Ainsi, si la tendance globale est plutôt de considérer que la FA est adaptée aux petites séries car les coûts fixes d'outillage sont moindres, les calculs de coût complet de production et de valeur ajoutée demeurent complexes et doivent être envisagés au cas par cas.

Par ailleurs, la fabrication additive rencontre encore un certain nombre de limites techniques. Si ces limites sont continuellement repoussées par un grand nombre d'initiatives de développement en cours aux quatre coins du monde, elles apparaissent encore comme des challenges à relever avant que les technologies de FA expriment leur plein potentiel.

La vitesse relative de production de la FA est plus faible que, par exemple, celles du moulage par injection plastique ou de l'usinage numérique. Cela explique en partie son inadaptation à la production de masse (D'Aveni, 2013; Weller *et al.*, 2015; Gibson *et al.*, 2015; Durach *et al.*, 2017; Dwivedi, Srivastava, et Srivastava, 2017; Shukla, Todorov, et Kapletia, 2018; Thomas-Seale *et al.*, 2018).

La disponibilité de matériaux demeure à améliorer pour certains usages. Cela s'explique par des obstacles technico-scientifiques – certains procédés ne fonctionnent qu'avec certains matériaux – et par des obstacles économiques dans d'autres. Ce dernier cas correspond par exemple à des matériaux sur lesquels des fabricants détiennent une propriété intellectuelle et qui ne sont donc utilisables que sur certaines machines (Weller *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2015; Singh, Ramakrishna, et Singh, 2017; Durach *et al.*, 2017; Dwivedi *et al.*, 2017; Shukla *et al.*, 2018; Thomas-Seale *et al.*, 2018).

La précision et l'état de surface des objets obtenus en fabrication additive demeurent parfois imparfaits. Si ces éléments sont variables en fonction des processus, un post-traitement important (usinage, ponçage...) est dans de nombreux cas nécessaire pour obtenir un état de

surface satisfaisant (Gibson *et al.*, 2015; Durach *et al.*, 2017; Dwivedi *et al.*, 2017; Shukla *et al.*, 2018; Thomas-Seale *et al.*, 2018).

La taille des objets qu'il est possible de fabriquer est limitée dans de nombreux cas. Les machines qui fabriquent des pièces de grande taille risquent souvent de perdre en précision (Gibson *et al.*, 2015; Durach *et al.*, 2017; Dwivedi *et al.*, 2017; Shukla *et al.*, 2018; Thomas-Seale *et al.*, 2018).

La maîtrise et la fiabilité de nombre de procédés de FA demeurent à améliorer. La FA fait par exemple face à certaines limites concernant la maîtrise des propriétés (résistance, densité) de pièces fabriquées. La maîtrise et la fiabilité dépendent (Gibson *et al.*, 2015) du couple procédé/matériau utilisé, il y a donc une grande variabilité de ce point de vue. Néanmoins, en généralisant comme pour le coût de production, il est possible d'affirmer que la qualité des pièces produites par usinage est mieux maîtrisée (Weller *et al.*, 2015; Gibson *et al.*, 2015; Durach *et al.*, 2017; Dwivedi *et al.*, 2017; Colosimo *et al.*, 2018; Shukla *et al.*, 2018; Thomas-Seale *et al.*, 2018). Ce manque de fiabilité de la FA rend difficile la reproductibilité des pièces – aspect critique dans les industries où le service après-vente implique la capacité à fournir des pièces détachées rigoureusement identiques.

Au-delà de ces obstacles, il existe des barrières organisationnelles et inter-organisationnelles à l'adoption de la FA (Durach *et al.*, 2017; Dwivedi *et al.*, 2017; Thomas-Seale *et al.*, 2018). On citera par exemple le manque généralisé de formation à la technologie, le manque global de compétence des concepteurs pour imaginer des pièces adaptées aux avantages et inconvénients de la FA (*Design for Additive Manufacturing, ou DfAM*), ou le manque d'adaptation des logiciels de CAO à la FA (Thomas-Seale *et al.*, 2018). Nous revenons sur les défis liés à l'adoption de la technologie dans la section 2.3.

La FA est donc une technologie intéressante et prometteuse, mais qui fait encore face à de nombreuses limites. Celles-ci conduisent à ce que toutes les fonctions envisagées par la littérature ne soient pas encore développées. Afin de compléter la présentation de ce phénomène technologique qui nous intéresse, la section suivante présente les usages de la fabrication additive dans un certain nombre de secteurs économiques.

1.6. Sept exemples de secteurs utilisateurs

Après avoir décrit et expliqué ce qu'était la fabrication additive, nous nous intéressons dans cette section aux usages concrets que l'on peut observer dans différents secteurs d'activité.

Cette revue de secteurs utilisateurs n'a pas vocation à être exhaustive, le lecteur y trouvera néanmoins les « grands » secteurs utilisateurs pour lesquels l'intérêt de la FA est déjà reconnu.

1.6.1. Aéronautique et spatial

Comme dans d'autres secteurs, le prototypage rapide est utilisé depuis des années dans le secteur aéronautique et spatial (Jacobs, 1992). De manière plus spécifique, les domaines de l'aéronautique et de l'aérospatial progressent dans l'exploitation de la FA pour la fabrication directe. Un élément essentiel est l'avantage qu'ils peuvent tirer de son caractère additif pour la fabrication de pièces complexes (*cf.* sous-section 1.3.1, et section 1.4 fonction 3). La capacité de la FA à fabriquer des objets aux formes complexes permet de concevoir des pièces dont la structure interne est creuse, avec des cavités, ou en « nid d'abeille »³. Le caractère additif de la FA permet en effet d'optimiser la forme des pièces afin d'utiliser le moins de matière possible, notamment grâce à l'optimisation topologique (*cf.* sous-section 1.3.1). Cela permet de rendre les pièces les plus légères possibles et ainsi, en réduisant le poids des véhicules (avions, fusées), de réduire la consommation de carburant nécessaire pour les faire voler (Hopkinson *et al.*, 2006; Gibson *et al.*, 2015; Gibson, 2017). Par ailleurs, certaines parties des véhicules sont soumises à des températures extrêmes et requièrent donc des solutions de refroidissement. La liberté de conception offerte par la FA permet de fabriquer des pièces pour lesquelles une moindre quantité de matière (ou des canaux internes d'écoulement d'air et d'autres fluides caloporteurs) permet un meilleur refroidissement (Gibson *et al.*, 2015). D'autres secteurs industriels profitent de la liberté de conception, comme le secteur l'énergie pour la fabrication d'échangeurs thermiques⁴. Par ailleurs, le caractère non-outillé de la FA permet de fabriquer des volumes faibles de manière économique. C'est un avantage pour l'industrie aérospatiale dans laquelle les volumes nécessaires sont souvent limités (notamment pour les pièces détachées). Finalement, le caractère digital et non outillé de la FA permet le stockage numérique de pièces et leur production à la demande. Cet usage, combiné à une production proche du point d'utilisation, pourrait être bénéfique, car la maintenance est un élément essentiel et coûteux des industries de l'aérospatial civil et militaire et du transport aérien (Holmström *et al.*, 2010; Gibson *et al.*, 2015). Ces usages progressent mais rencontrent encore de nombreuses limites pour être entièrement mis en œuvre, notamment du fait des limites techniques actuelles de la

³ S'approchant de la géométrie des alvéoles d'une ruche, les structures en nid d'abeille sont formées de prismes juxtaposés formant un ensemble de cavités. Ce type de structure comportant un taux de vide important permet de remplir les volumes creux en renforçant leur tout en maximisant leur solidité.

⁴<https://www.3dnatives.com/reacteur-imprime-en-3d-05102017/> (Consulté le 14/01/2019)

FA dans un secteur où la qualification (certification) des pièces est essentielle pour répondre aux enjeux de sécurité. Par ailleurs, dans le secteur de l'aéronautique, les cycles de développement sont longs et les recettes industrielles bien gardées, ce qui explique le délai avant la concrétisation de ces usages et son annonce. De premières réussites ont néanmoins été annoncées par des acteurs de l'industrie tels que CFM International (la joint-venture entre Safran Aircraft Engines et General Electric) pour le moteur d'avion de ligne LEAP, ou Boeing pour l'avion de combat F/A-18E/F Super Hornet (Hopkinson *et al.*, 2006; Uriondo, Esperon-Miguez, et Perinpanayagam, 2015; Gibson *et al.*, 2015; Wagner et Walton, 2016; Gibson, 2017).

1.6.2. Médical

Le secteur du médical peut s'appuyer sur les trois caractéristiques de la FA pour des applications qui reposent essentiellement sur le principe d'adaptation des soins à chaque patient.

Pour cela, la première étape consiste à s'appuyer sur le scannage numérique (voir section 1.1) afin de réaliser une image numérique de la partie du corps du patient à traiter. Ensuite, selon les besoins, on peut concevoir et fabriquer des modèles et guides chirurgicaux ou des prothèses et implants sur mesure. Le caractère numérique de la FA est essentiel ici, c'est en effet ce dernier qui permet de réaliser la conception de l'objet à fabriquer en partant du modèle 3D « exact » du corps du patient. De plus, la nature additive de la FA permet de fabriquer des objets aux formes complexes, comme le sont souvent les parties du corps humain. Finalement, le caractère non outillé de la fabrication additive, et donc sa flexibilité, fait qu'une même machine peut être utilisée pour la fabrication de pièces uniques sans surcoût d'outillage.

Par exemple, la FA peut être utilisée pour fabriquer des modèles et guides chirurgicaux. Les modèles permettent aux chirurgiens de visualiser exactement la partie du corps du patient avant, voire en cours d'intervention, avant d'effectuer certaines actions. Cela permet au chirurgien de répéter certains gestes avant de les effectuer afin de « s'entraîner » et de réduire le temps de l'opération en résolvant certaines questions en amont. Les guides chirurgicaux utilisés en chirurgie dentaire sont installés dans la bouche du patient afin de couvrir la dentition à l'exception de la partie à opérer. Ces guides facilitent le travail du chirurgien-dentiste, notamment dans les opérations d'implantologie.

En plus de ces aides, la fabrication additive est utilisée pour fabriquer des prothèses internes ou externes. Ici aussi, la réalisation d'un modèle 3D de la partie concernée du corps du patient permet de fabriquer des prothèses sur mesure. Les exemples typiques de ces usages sont la

réalisation de prothèses auditives qui sont aujourd'hui très majoritairement produites en FA, par exemple par Siemens (Sandström, 2016) et les appareils dentaires Invisalign de l'entreprise Align Technology (Gibson *et al.*, 2015; D'Aveni, 2018a). Par ailleurs, l'utilisation de la FA pour des prothèses internes existe et pourrait être amenée à se généraliser afin de profiter des caractéristiques de la FA pour fabriquer sur mesure des prothèses de hanches ou de remplacement de parties endommagées de la boîte crânienne, et même des pièces destinées à être intégrées dans des organes (Hopkinson *et al.*, 2006; Gibson *et al.*, 2015). Un usage aujourd'hui en développement est l'utilisation de la FA en bio-impression, c'est-à-dire pour fabriquer des tissus vivants en utilisant comme matériau des cellules de synthèse. Ce procédé est l'objet de recherches mais apparaît encore très loin de sa phase d'opérationnalisation (Gibson *et al.*, 2015).

1.6.3. Automobile

L'automobile a été l'un des premiers secteurs à utiliser la FA comme outil de prototypage rapide (Gibson, 2017). L'avantage est ici le caractère non outillé de la FA qui permet des itérations nombreuses et rapides dans la phase de prototypage. Néanmoins, pour des volumes de production importants, le coût de la FA demeure toujours trop important comparé à celui des processus traditionnels et à la valeur ajoutée de la FA (*cf.* section 1.5). Du fait des volumes de production importants dans l'automobile, la FA n'est donc pas utilisée pour la fabrication directe (Gibson *et al.*, 2015). Néanmoins, la FA est utilisée pour des voitures produites en petites séries et à haute valeur ajoutée. Typiquement, le sport automobile (par exemple la formule 1) est un des premiers utilisateurs de la FA pour la fabrication directe. Après avoir d'abord utilisé la FA pour le prototypage rapide, certaines écuries de formule 1 ont commencé à inclure des pièces fabriquées en FA dans leurs véhicules, comme Renault F1 qui fut un des pionniers dans le domaine. Le sport automobile profite du caractère additif de la FA pour obtenir des pièces dont la forme permet un meilleur refroidissement de certaines parties de la voiture, un meilleur aérodynamisme, et un poids réduit. Par ailleurs, ces pièces peuvent être obtenues rapidement grâce au caractère non outillé de la FA (Hopkinson *et al.*, 2006). Les pièces détachées pour les voitures de collection et les composants personnalisés de voitures de luxe sont d'autres segments particuliers de l'industrie automobile aux quantités de production réduites. La FA est donc utilisée sur ces segments pour profiter de son caractère non outillé et donc économique pour les petites séries.

1.6.4. Construction

Le secteur de la construction a également vu se développer récemment des machines spécifiques de fabrication additive de béton (avec une tête d'impression déposant de la matière qui durcit par la suite). Si cet usage demeure très émergent, la construction peut profiter du caractère additif de la FA pour construire des bâtiments aux formes complexes et optimisées (là où, par exemple, les procédés classiques rendent les courbes impossibles). Par ailleurs, le caractère numérique de la FA permet de réduire le nombre d'étapes (et donc d'intermédiaires) entre la conception et la construction. L'usage de machine de FA sur chantier sur place et son caractère non outillé peuvent aussi permettre de simplifier la chaîne logistique de la construction, car il devient possible de se passer de coffrage (de moule) pour fabriquer en béton. Cet usage sur chantier peut également permettre d'éviter la livraison d'éléments préfabriqués (néanmoins les machines de FA peuvent également être utilisées pour préfabriquer des éléments dans une usine et non sur le chantier). Finalement, le caractère non outillé associé au caractère numérique de la fabrication additive permet une personnalisation des constructions (Hopkinson *et al.*, 2006; Kothman et Faber, 2016).

1.6.5. Habillement

Le secteur de l'habillement commence également à développer des produits fabriqués en FA et profitant de la liberté de conception offerte par le caractère additif de la FA (Lipson et Kurman, 2013: 181-185) et des possibilités de personnalisation offertes par son caractère non outillé, comme le font par exemple Nike ou Adidas pour les chaussures de sport⁵. Par ailleurs, le caractère additif de la FA permet également de fabriquer en un seul processus des pièces assemblées, ce qui ouvre la possibilité de fabriquer des vêtements déjà cousus (Bingham *et al.*, 2007). Finalement sont apparues des offres de fabrication textile via des procédés de FA qui permettent de fabriquer des vêtements de manière automatisée, sans assemblage, sans coupe et donc sans pertes de matière première, et avec des compositions de matériaux innovants (D'Aveni, 2018a)⁶.

1.6.6. Biens de consommation

Le secteur des biens de consommation commence lui aussi à explorer les possibilités de la FA. C'est notamment le cas dans l'offre de mobilier qui tire parti de la liberté de conception offerte

⁵<http://fortune.com/2015/12/15/3d-printed-shoe-race/> (consulté le 10/01/2019)

⁶<http://www.tamicare.com/cosyflex> (consulté le 10/01/2019)

par le caractère additif de la FA pour des raisons esthétiques, et du caractère non outillé pour la personnalisation, par exemple pour du mobilier et des objets de décoration (Hopkinson *et al.*, 2006; Lipson et Kurman, 2013).

Dans ce secteur, les machines les plus abordables dédiées à la FA personnelle peuvent offrir la possibilité au consommateur de fabriquer lui-même certains biens pour sa propre consommation (Lipson et Kurman, 2013). Nous revenons sur cet aspect dans la sous-section 2.2.2.

1.6.7. Art

Le secteur de l'art, et tout particulièrement de la sculpture, est lui aussi utilisateur de la fabrication additive. A la fin des années 1960, les premières sculptures conçues numériquement et produites par des machines assistées par ordinateur (CAO/FAO) apparaissent. C'est autour des années 1990 que les premières sculptures sont fabriquées en FA. Ici, l'avantage du numérique caractère additif pour la conception sont clés. Néanmoins, le caractère numérique des modèles brouille la distinction, fondamentale pour le marché de l'art, entre l'original et les reproductions. Les outils de FA peuvent donc être utilisés pour de la création d'œuvres (Barlier et Bernard, 2015).

La FA facilite également la modification des œuvres. Par exemple pour les agrandir en capturant un modèle 3D (via un scanner 3D) puis en effectuant un agrandissement qui conserve l'échelle sur un logiciel de CAO avant d'en fabriquer le modèle en FA. Sans effectuer de modifications du modèle numérique, la simple reproduction des sculptures est également possible. Finalement, il est possible de restaurer des œuvres en numérisant les parties endommagées avant de les reconstituer numériquement et de fabriquer la partie (ou l'ensemble de l'œuvre) réparée (Barlier et Bernard, 2015).

Les divers secteurs utilisateurs illustrent les possibilités variées qu'offre la FA. En effet, les caractéristiques de la technologie et leur combinaison permettent de répondre à des enjeux sectoriels variés. Selon ces enjeux, les secteurs utilisateurs font appel à la FA pour remplir une ou des fonctions particulières.

Synthèse du chapitre 1 : Qu'est-ce que la fabrication additive ?

Il ressort de ce premier chapitre que nous sommes face à un phénomène complexe. On est loin de de « la fabrication additive » comme d'une réalité unique. Au contraire, la FA est une famille

de sept procédés, ayant trois caractéristiques principales partagées, utilisées pour remplir onze fonctions stratégiques (potentiellement combinées), au sein de secteurs variés (dont sept sont décrits ici). Il est indispensable de prendre en compte cette complexité dans ce travail de thèse. Ce constat va d'ailleurs être déterminant dans les choix méthodologiques retenus pour l'élaboration de notre démarche. Face à la diversité des opportunités, des solutions apportées, et des niveaux de maturité, nous avons choisi d'observer les stratégies pour la fabrication additive dans différents contextes et suivant des approches théoriques différentes. Nous expliquons les détails de ces choix dans le chapitre dédié à la méthodologie (section 5).

Le tableau 1 (ci-dessous) récapitule les composantes de la fabrication additive que nous avons présentées dans le premier chapitre de cette thèse.

Tableau 1 : Synthèse du chapitre 1, « Qu'est-ce que la fabrication additive ? »

Composantes	Typologies
Sept procédés de fabrication additive <ul style="list-style-type: none"> - Partageant trois caractéristiques - Utilisés pour mettre en œuvre différentes fonctions - Ayant encore des limites 	<ul style="list-style-type: none"> - Polymérisation d'une résine par laser - Projection de gouttes de matériau - Projection d'un liant sur poudre - Solidification de poudre par fusion laser - Projection de poudre dans un flux d'énergie - Extrusion de fil au travers d'une buse - Assemblage de couches
Trois caractéristiques <ul style="list-style-type: none"> - Communes aux procédés - Rendant possibles les fonctions 	<ul style="list-style-type: none"> - Caractère additif - Caractère numérique - Caractère non-outillé

Tableau 1 (suite)

Composantes	Typologies
<p>Onze fonctions stratégiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permisses par les trois caractéristiques et leurs combinaisons - Dont le développement est plus ou moins avancé, notamment du fait des limites techniques et économiques au développement des procédés 	<p>Fabrication indirecte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prototypage rapide - Outillage rapide <p>Fabrication directe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de pièces complexes - Production en petite série - Stockage numérique pour fabriquer à la demande - Personnalisation - Fabrication locale et décentralisée - Production circulaire et écologique <p>Nouveaux modèles économiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Co-conception et conception ouverte - Fabrication personnelle, par la foule - Evolution continue de différents aspects du modèle d'affaires
<p>Huit limites et obstacles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dont l'importance respective varie selon les procédés - Limitant le développement de certaines fonctions stratégiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé, notamment pour la production de masse - Economiquement viable uniquement pour des produits à forte valeur ajoutée - Vitesse de production - Disponibilité des matériaux - Précision et états de surface des objets produits - Taille des objets produits - Maîtrise et fiabilité des procédés - Déficit de compétences
<p>Sept secteurs d'utilisation importants</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisant différents procédés selon leurs spécificités <p>Mettant en œuvre la FA pour différentes fonctions stratégiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aéronautique et spatial - Médical - Automobile - Construction - Habillement - Biens de consommation - Art

2. Perspectives sur la fabrication additive

Le premier chapitre de cette revue de littérature a donné une description générale de la fabrication additive. Au-delà de ces éléments factuels, la FA a ouvert de nombreuses réflexions sur l'organisation productive de l'économie et des entreprises. Ce second chapitre de la revue de littérature approfondit la présentation de la fabrication additive en présentant et en discutant ces perspectives et réflexions.

2.1. Points de repère sur les développements des procédés et des usages

La fabrication additive n'est pas tout à fait une nouvelle technologie. On peut faire remonter jusqu'à 1890 une préhistoire de la fabrication additive. Un procédé consistait à fabriquer des coupes horizontales de la topographie d'une carte géographique, avant de les superposer et de les recoller pour fabriquer le moule d'une carte en relief. On peut également citer des tentatives consistant à exposer une gélatine photosensible à des lumières graduées pour qu'elle se dilate suivant les proportions d'un modèle. Ce dernier était alors basé sur 24 photographies prises depuis différents angles, le long d'un cercle autour de l'objet à modéliser (Bourell *et al.*, 2009). Les années 1950 et 1960 furent également marquées par une activité importante autour du concept de fabrication par ajout de matière. Néanmoins, les technologies complémentaires nécessaires au développement du procédé (lasers, informatiques...) demeuraient encore trop peu perfectionnées (Gibson *et al.*, 2015: 37). Par la suite, c'est à partir de 1968 qu'on retrouve les premiers procédés basés sur la polymérisation de résine, puis par fusion laser en 1979 (Bourell *et al.*, 2009). Toutefois, les premiers brevets reconnus comme appartenant à la fabrication additive datent des années 1980. Leur émergence à cette période peut s'expliquer par le progrès des technologies complémentaires nécessaires à la fabrication additive telles que l'informatique ou les lasers pour certains procédés (Gibson *et al.*, 2015).

Des auteurs ont retracé l'historique de l'apparition des premiers brevets de base correspondant aux sept procédés correspondant en fabrication additive (Barlier et Bernard, 2015; Gibson *et al.*, 2015). Les premiers brevets traditionnellement reconnus décrivent un procédé de solidification d'une résine par polymérisation sous l'action d'un laser. Trois brevets déposés quasiment au même moment décrivent ce procédé: celui d'André *et al.*, déposé en France en

juillet 1984, celui de Hull déposé aux Etats-Unis en août de la même année utilisant le premier le terme de stereolithographie, et celui de Murutani déposé au Japon plus tard dans l'année. La même année est déposé un brevet correspondant au procédé de projection de gouttes de matériau⁷. Par la suite, le brevet d'assemblage de couches à partir de feuilles ou de plaques découpées est déposé aux Etats-Unis en 1986 pour la société Helisys Corp, est d'abord refusé avant d'être finalement octroyé en 1994⁸. Entretemps, c'est en février 1991 que le brevet du procédé de stratoconception (assemblage de couches à partir de feuilles ou de plaques découpées) est déposé par Claude Barlier, en France (il n'y a pas de date d'examen ni de date d'octroi en droit Français, seulement une date de dépôt) (Barlier et Bernard, 2015). Parmi les autres technologies aujourd'hui importantes, le procédé de frittage sélectif de poudre (Solidification de poudre par fusion sous l'action d'un laser) est déposé aux Etats-Unis en septembre 1986⁹ par Carl Deckard, puis octroyé en 1989. Déposé aux Etats-Unis en 1989 par Scott Crump (octroyé en 1992) le brevet du Fused Deposition Modelling (FDM) est le principal brevet de fusion de fil au travers d'une buse chauffante¹⁰. Finalement, en 1989 sont déposés deux brevets : le brevet de 3D printing (impression 3D), déposé par des équipes du MIT (octroyé en 1993) aux Etats-Unis, qui correspond à la projection d'un liant sur un substrat de type poudre¹¹. Le dernier brevet correspondant à la création d'un des procédés majeurs est déposé en 1990 puis octroyé en 1992 aux Etats-Unis. Il correspond au procédé de projection de poudre (ou fusion de fil) dans un flux d'énergie concentrée¹². Une étude récente met en avant que le nombre de brevets publiés aux Etats-Unis concernant la FA croît de 35% par an entre 2013 et 2017, faisant de la FA la seconde technologie ayant la croissance de brevets la plus importante¹³. Il apparaît donc que les progrès technologiques concernant la FA se poursuivent 20 ans après cette première vague de brevets dans les années 1980-90.

En parallèle, les usages de la fabrication additive ont évolué (Rayna et Striukova, 2015). Le premier usage de la fabrication additive est le prototypage rapide, permis par les progrès de la fabrication additive et de la CAO, qui apparaît dans les années 1980 (Jacobs, 1992; Barlier et Bernard, 2015; Gibson *et al.*, 2015). A titre d'illustration, l'entreprise 3D System est lancée par

⁷<https://patents.google.com/patent/US4665492A/> (consulté le 22/01/2019)

⁸<https://patents.google.com/patent/EP0272305B1/> (consulté le 22/01/2019)

⁹<https://patents.google.com/patent/US4863538A/> (consulté le 22/01/2019)

¹⁰<https://patents.google.com/patent/US5121329A/> (consulté le 22/01/2019)

¹¹<https://patents.google.com/patent/US5204055A/> (consulté le 22/01/2019)

¹²<https://patents.google.com/patent/US5257657A/> (consulté le 22/01/2019)

¹³<https://3dprintingindustry.com/news/interview-new-study-shows-3d-printing-second-fastest-growing-technology-2017-127179/> (consulté le 22/01/2019)

Chuck Hull en 1986 pour exploiter le brevet de la stéréolithographie en faisant du prototypage rapide (*cf.* sous-section 1.4, fonction stratégique 1). La première application commerciale de la FA pour le prototypage rapide date de 1988 (Jacobs, 1992; Beyer, 2014), et dès 1992, des cas d’usages montrent que la FA permet d’économiser jusqu’à 20 semaines et plusieurs dizaines de milliers de dollars lors de processus de conception (Jacobs, 1992). Aujourd’hui, le prototypage rapide est largement développé (Mellor, Hao, et Zhang, 2014; Rayna et Striukova, 2015). Le second usage à s’être développé est l’outillage rapide (*cf.* section 1.4, fonction stratégique 2). De premières tentatives sont faites dès le début des années 1990 et des avancées significatives ont lieu à la fin de la décennie avec le progrès de procédés existants comme la stéréolithographie et l’apparition de procédés de FA métal qui permettent de fabriquer des moules résistant à des contraintes mécaniques et thermiques plus importantes, ce qui est essentiel pour des productions de grandes séries. Ces progrès technologiques ont conduit à la FA d’être largement adoptée notamment pour la fabrication de moules (Gibson *et al.*, 2015). Finalement, le troisième usage à apparaître est la fabrication directe de pièces et de produits finaux par FA (*cf.* sous-section 1.4, fonctions stratégiques 3 à 8). L’évolution vers cette fabrication directe est permise par le progrès des procédés de FA en termes de prix, de qualité des pièces imprimées, de rapidité et de propriétés des matériaux utilisables (Barlier et Bernard, 2015; Gibson *et al.*, 2015; Rayna et Striukova, 2015). Si du fait de leur antériorité, le prototypage rapide et l’outillage rapide ont été les principaux marchés, la tendance est actuellement au développement de la fabrication directe. Si les estimations affichent une variabilité de ce point de vue, il semble que les parts de marché de la FA directe sont en train de dépasser celles des deux autres types d’usages (prototypage et outillage)^{14, 15}.

Récemment est apparu l’usage de la fabrication additive pour la fabrication personnelle (Berman, 2012; Rayna et Striukova, 2015). Ici, la FA est utilisée directement par le consommateur final pour concevoir et/ou fabriquer des objets (*cf.* sous-section 1.4, fonctions stratégiques 9 à 11). Cet usage est apparu autour de 2005 avec l’émergence de machines et de logiciels de FA développés par des communautés de passionnés (les *Makers* sur lesquels nous revenons sous-section 2.2.2), notamment au sein du projet *RepRap* d’une machine de FA dont les plans sont disponibles en accès libre sur internet (*open source*), et la création d’entreprises vendant des machines simples d’utilisation et abordables – de quelques centaines à 5000\$ – pour les particuliers, suite à l’expiration en 2006 d’un des principaux brevets sur la technologie

¹⁴https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Industrie/2017-Fabrication-additive.pdf, p. 20 (consulté le 22/01/2019)

¹⁵<http://www.primante3d.com/donnees-impression-3d-23052018/> (consulté le 22/01/2019)

(West et Kuk, 2016). L'émergence de logiciels de CAO ouverts et de plateforme d'échange de modèles 3D numériques a également été importante pour ce développement (Berman, 2012). Les ventes de machines de FA personnelle ont connu une croissance importante et cela a ouvert des perspectives de transformations économiques importantes qui ont été largement commentées (voir par exemple : The Economist, 2011, 2012). Les limites au développement ont été soulignées et son avenir est aujourd'hui sujet à débat (Rayna et Striukova, 2015; Wang *et al.*, 2016; Hartmann et Vanpoucke, 2017). Si la croissance des ventes de machines de FA personnelles vient confirmer la croissance de leur usage, la valeur du marché des machines personnelles est largement inférieure à celle des machines professionnelles qui représentent 4% du marché en volume, mais 82% en valeur selon certaines estimations (West et Kuk, 2016)¹⁶.

Encadré 1 : le terme d'impression 3D

Le terme « impression 3D » est souvent utilisé pour désigner la fabrication additive.

Si le terme de *3D printing* est utilisé la première fois au MIT pour désigner le procédé de projection d'un liant sur un substrat de type poudre, ce vocable a depuis été largement utilisé dans les médias grand public pour traiter de la fabrication additive¹⁷. D'après la norme ISO/ASTM 52900:2015(fr) le terme d'impression 3D est utilisé pour désigner les procédés de FA reposant sur le dépôt de matière via une tête d'impression [*cf.* sous-section 1.2 sur les procédés de FA]. Il s'agit donc des procédés de fabrication additive analogues à la technique d'impression 2D (du texte et des images sur papier), ce qui explique la proximité des termes. Les procédés reposant sur l'utilisation d'une tête d'impression sont souvent ceux utilisés pour la FA personnelle, ce qui peut expliquer que « l'impression 3D » désigne également souvent la FA personnelle ou utilisée en « amateur »¹⁸. *En effet, la même norme note que le « Terme [est] souvent utilisé dans un contexte non technique comme synonyme de fabrication additive (...); jusqu'à présent, ce terme a été associé en particulier aux machines de moyenne gamme en termes de prix et/ou de capacités générales. »*

¹⁶<http://www.primante3d.com/donnees-impression-3d-23052018/> (consulté le 22/01/2019)

¹⁷https://www.lemonde.fr/m-styles/article/2013/03/01/l-impression-3d-fait-couler-beaucoup-d-encre_1840365_4497319.html(consulté le 22/01/2019)

<https://www.economist.com/briefing/2017/07/01/3d-printing-transforms-the-economics-of-manufacturing>(consulté le 22/01/2019)

¹⁸ Voir par exemple : <https://www.lsa-conso.fr/ces-2017-qui-sont-les-leaders-mondiaux-du-marche-de-l-impression-3d-etude,251883>

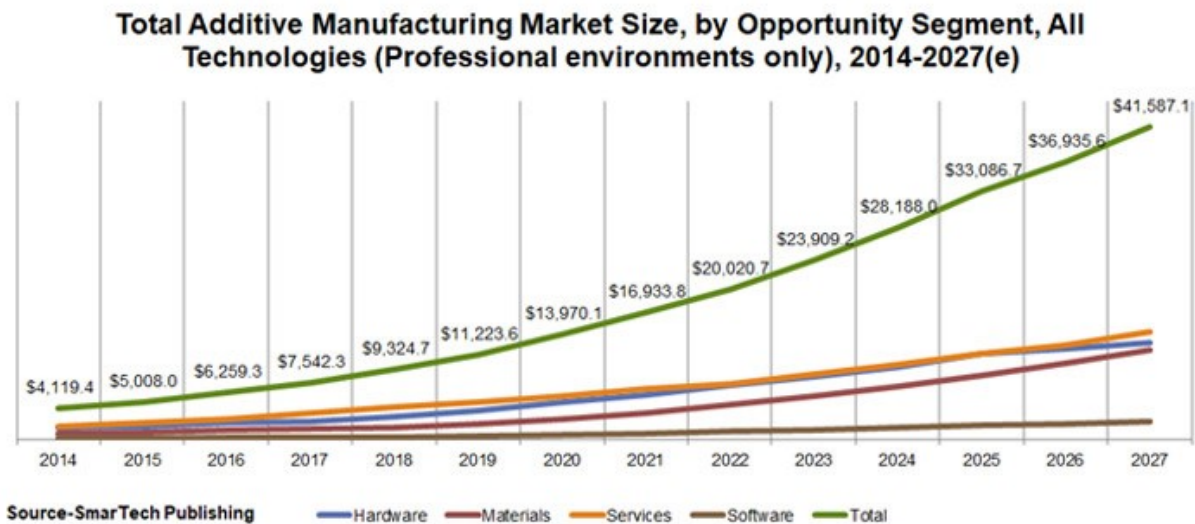
Ainsi, les contours du terme d'impression 3D demeurent vagues. Ils correspondent néanmoins de manière diffuse à un usage, des techniques et des machines relevant de la « FA personnelle ». Par souci de clarté, nous nous en tiendrons dans ce travail au terme mieux défini et accepté de fabrication additive (FA). Nous retiendrons le vocable de « FA personnelle » pour désigner l'usage de la FA par le consommateur final.

Après 40 ans de progrès des techniques de FA modernes (Bourell *et al.*, 2009) et 20 ans de croissance importante du marché (CCI Paris-IdF et Conseil Général de l'armement, 2015), la FA apparaît comme atteignant ces dernières années un point de bascule dans les performances et l'adoption. D'abord une technologie de niche se diffuse de plus en plus largement, notamment pour la fabrication directe (D'Aveni, 2015a, 2018a). Cette bascule apparaît comme se traduisant également dans l'état d'esprit des individus – au-delà des responsables de production d'entreprise et d'ingénieurs de bureaux d'études (McCue, 2015). Néanmoins, des progrès techniques restent à faire et les effets économiques potentiels à venir avec ces progrès sont encore considérables : nous sommes encore loin de ce que l'on peut attendre de la fabrication additive (Beyer, 2014; D'Aveni, 2018a). Un élément essentiel du développement récent de la fabrication additive est l'expiration de nombreux brevets de base des processus de FA. Par exemple, le principal brevet protégeant le procédé d'extrusion de fil au travers d'une buse chauffante a expiré en 2009, ce qui a conduit à l'apparition de nombreux fabricants de machines fonctionnant selon ce procédé (Gibson *et al.*, 2015). Un récent rapport fait apparaître la croissance importante du marché de la fabrication additive ces dernières années, et des prévisions de croissance pour les années à venir¹⁹. On peut en extraire le graphique suivant qui illustre cette croissance passée et attendue pour le futur.

¹⁹<https://www.3dnatives.com/marche-fabrication-additive-171220183/> (consulté le 22/01/2019)

Figure 3 : La croissance du marché de la fabrication additive

Reproduit à partir de <https://www.3dnatives.com/marche-fabrication-additive-171220183/>, graphique extrait du rapport SMARTECHMARKETS, publié le 7 décembre 2018²⁰



Chiffres en milliards de Dollars. Par exemple, pour 2027, la prévision estime le marché total à plus de 41 milliards de dollars (\$41 587 100 000 précisément).

Cette perspective historique donne à voir le développement important de la FA, du point de vue technique comme économique. Ce développement a ouvert de vastes perspectives en termes d'usages, et d'enjeux économique-stratégiques. La suite de ce chapitre de notre revue de littérature discute ces perspectives afin d'approfondir le travail de cadrage du phénomène technologique qui nous intéresse.

2.2. La perspective d'une révolution industrielle

A la suite de l'émergence de la FA décrite dans la section précédente, une troisième révolution industrielle a été annoncée par des journalistes (e.g, The Economist, 2012), des académiques (Hopkinson *et al.*, 2006; D'Aveni, 2013, 2015a), des consultants, qui utilisent le terme de *Game Changer* (Deutscher, Ritter, et Schuurin, 2013; Bromberger et Kelly, 2017), et des think tanks (Campbell *et al.*, 2012).

²⁰ (<https://www.smarttechpublishing.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>) (consulté le 22/01/2019)

A l'origine de cette perspective se trouve notamment l'idée de la fin des économies d'échelle, comme en témoigne l'extrait d'article paru dans *The economist*, reproduit ci-dessous :

*The industrial revolution of the late 18th century made possible the mass production of goods, thereby creating economies of scale which changed the economy—and society—in ways that nobody could have imagined at the time. Now a new manufacturing technology has emerged which does the opposite. Three dimensional printing makes it as cheap to create single items as it is to produce thousands and thus undermines economies of scale. It may have as profound an impact on the world as the coming of the factory did.*²¹

L'idée de cette révolution industrielle se retrouve dans une combinaison de fonctions stratégiques décrites dans la sous-section 1.4. Elle repose sur la conjonction de la généralisation de la fabrication de produits en petite série (fonction 4), personnalisés (fonction 6), à la demande, et réduisant donc le besoin de stocks (fonction 5).

3-D printing enables small quantities of customized goods to be produced at relatively low costs. (...) Enable consumers to order their selections online, allow firms to profitably serve small market segments, and enable companies to operate with little or no unsold finished goods inventory. (Berman, 2012: 155)

La perspective de cette révolution industrielle passe également par une fabrication proche du lieu d'usage par des unités de production décentralisée et donc plus petites et plus nombreuses (fonction 7).

Whereas the first and second industrial revolutions ushered and consolidated the large corporation, the third industrial revolution will democratize, decentralize, and localize activities in small companies. Production capacity will become generic, thus owned and possibly traded by many different actors not necessarily tied to a particular industry. (Ben-Ner et Siemsen, 2017: 19)

Les fonctions stratégiques citées constituent ainsi les différentes briques d'une « révolution industrielle annoncée ». Cette perspective de transformation radicale a été mise en avant comme un enjeu essentiel nécessitant l'attention des entreprises afin de conserver une position concurrentielle favorable (D'Aveni, 2015b).

²¹<https://www.economist.com/leaders/2011/02/10/print-me-a-stradivarius> (consulté le 22/01/2019)

Au-delà de ces annonces, le débat sur les conséquences du développement de la FA demeure ouvert. Une étude basée sur les prévisions d'experts quant au futur de la FA fait apparaître des perspectives radicalement différentes concernant le potentiel de conception et de fabrication collaborative (en lien avec les fonctions stratégiques 8 et 9). La question est alors de savoir qui contrôlera le processus de production : le consommateur final ou un fabricant industriel « traditionnel » (Jiang, Kleer, et Piller, 2017). De manière plus large, les questions de l'évolution de la nature des unités de production ont été identifiées comme ouvrant trois perspectives : d'abord, la fabrication de volumes réduits sur des équipements bas de gamme, le plus souvent pour un usage personnel de l'objet, ensuite l'atelier de fabrication disposant de compétences et fabriquant à la demande sur des équipements plus performants, et enfin la fabrication en usine sur des équipements spécialisés, selon des procédés standardisés et dans des volumes importants (Ryan *et al.*, 2017). En outre, le niveau à venir de centralisation/localisation de la production est également en débat dans le sillage de la transformation industrielle attendue. La production pourrait être locale, régionale, nationale, voire mobile (Ryan *et al.*, 2017). Des visions opposées de ce futur, illustrant les termes des débats prospectifs en cours, sont présentées dans les sous-sections 2.1.2.3 et 2.1.2.4.

Ces grands enjeux ont participé d'un « buzz » autour de la fabrication additive qui a donné lieu à de nombreuses publications – académiques ou non – sur la fabrication additive.

2.2.1. Le « buzz » de la révolution industrielle

Quelques grandes annonces illustrent que l'idée de « révolution industrielle » a fait l'objet d'un engouement important (excessif ?) de la part de nombreux acteurs. Une déclaration particulièrement marquante fut celle de Barack Obama, alors président des Etats-Unis d'Amérique, lors de son discours sur l'état de l'union le 12 février 2013.

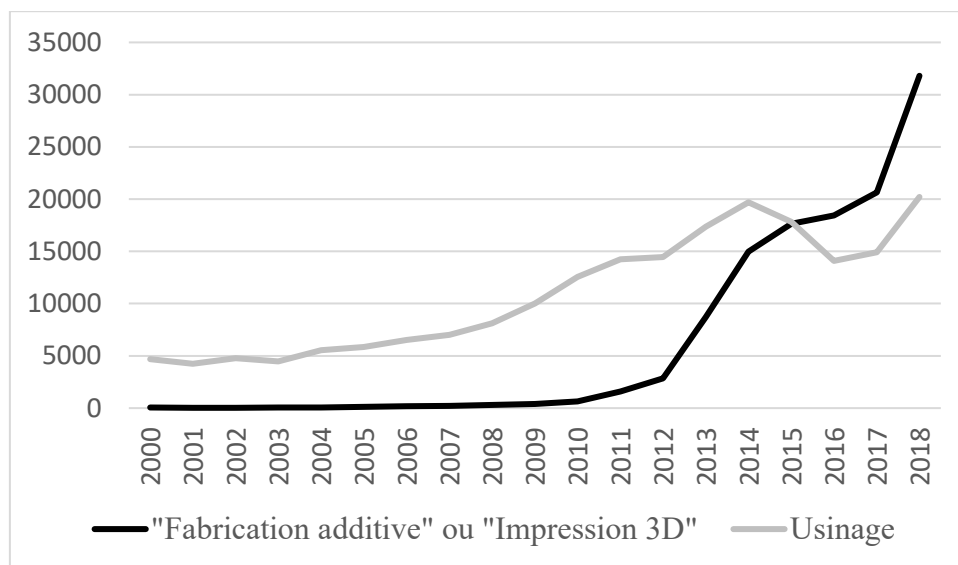
“[...] 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything”²²

Une recherche sur la base de données Factiva illustre bien cet engouement dont est l'objet la FA dans les publications business. Nous avons recherché sur Factiva les termes « Fabrication additive » et « impression 3D » (« additive manufacturing » et « 3D printing »), ce qui nous a permis d'observer une très forte croissance des résultats obtenus. Comme l'illustre le graphique de la figure 4, d'un nombre inférieur à 100 jusqu'en 2005, puis à 2850 en 2012, on passe à

²²<https://www.youtube.com/watch?v=Yw1jAdMgsW8> (consulté le 22/01/2019)

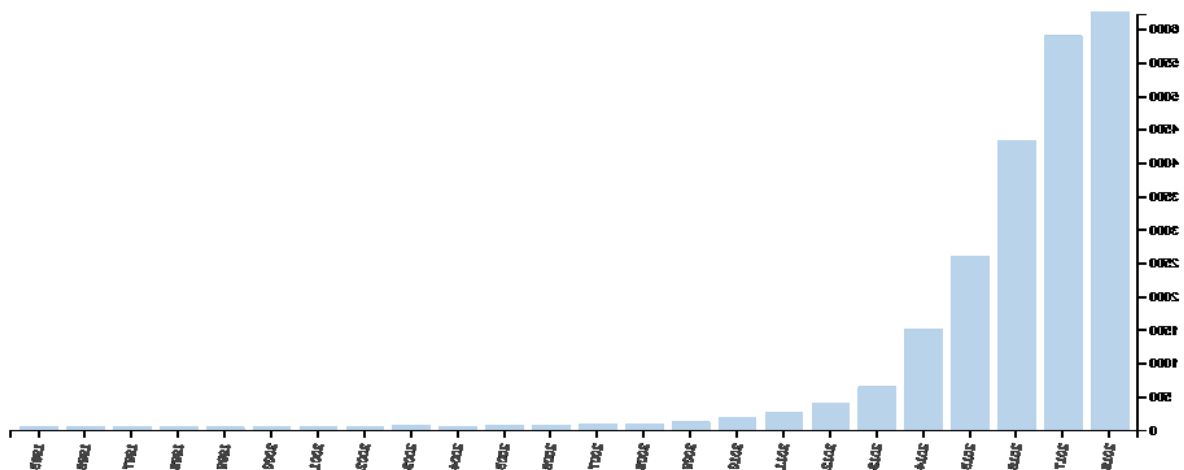
31 806 résultats en 2018. A titre de comparaison, on voit que les résultats obtenus pour le mot clé « usinage » (« machining ») sont croissants sur la même période, mais beaucoup plus faiblement. Ils sont « seulement » multipliés par quatre et stagnent sur la période 2014 et 2018. Ces résultats indiquent un intérêt des publications business pour la FA et donc l'intérêt des entreprises pour cette nouvelle technologie. Cette comparaison n'offre qu'une tendance et peut être discutée (on aurait par exemple pu choisir différents termes). Il n'en reste pas moins que « l'usinage » est le terme englobant pour les différentes techniques de fabrication soustractives (tournage, fraisage, limage...), il est donc celui qui semble le plus pertinent à opposer au terme de fabrication additive. Par ailleurs, le terme d'impression 3D est un synonyme « grand public » de l'impression 3D (*cf.* encadré 1), c'est pourquoi nous l'avons inclus comme mot clé de notre recherche sur la base de données Factiva.

Figure 4 : Comparatif des évolutions des résultats obtenus sur Factiva pour « fabrication additive » ou « impression 3D » et pour « Usinage » (Source : auteur)



Les publications académiques sur le sujet suivent la même tendance. La base de données Web of Science fait apparaître une importance croissante des publications de recherches sur le sujet de la fabrication additive (en recherchant les articles dont le sujet se rapporte à la requête "additive manufactur*" OR "3D Print*"). C'est ce qu'illustre le graphique ci-dessous, en donnant à voir le nombre de publications de recherche par an sur le sujet de la fabrication additive. A partir de 1995, le nombre de publications augmente lentement jusqu'à 83 publications par an en 2009. A partir de 2010, le nombre commence à augmenter sensiblement (jusqu'à 362 en 2012), puis très fortement à partir de 2013 et ce jusqu'à près de 6000 publications annuelles en 2017 (5858) et 2018 (6228).

Figure 5 : Evolution des publications scientifiques en lien avec la FA (Source : Factiva)



Du point de vue scientifique, le nombre de numéros spéciaux dédiés à la fabrication additive parus ou à paraître dans des revues académiques en économie-gestion donne aussi une idée de l'intérêt récent pour la FA en tant que phénomène technologique intéressant à explorer (voir : Ford *et al.*, 2016; Ortt, 2017; Rogers, Braziotis, et Pawar, 2017, et un numéro à paraître dans *Journal of Operations Management*).

Du point de vue politique, les décideurs publics français s'intéressent aussi à cette technologie et ont ainsi participé à l'engouement pour le phénomène. En témoignent les 5 rapports parus sur la question entre 2014 et 2016 : celui du Consulat Général de France à San Francisco en septembre 2014 (Bouffaron, 2014), celui de la Direction Régionale des Entreprises, de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi du Centre-Val de Loire en décembre 2014 (DIRECCTE Centre, CCI Centre, 2014), celui du Conseil Economique Social et Environnemental (CESE) en mars 2015 (Ingelaere, 2015), celui du Conseil Général de l'Armement et de la Chambre de commerce et d'Industrie Paris Île-de-France en septembre 2015 (Rosenberg, Morand, Turcq, 2015), et enfin celui de la Fabrique de l'Industrie début 2016 (Astolfi, Constantin, et Moulet, 2016). La FA a également suscité l'intérêt des organismes publics de soutien à l'industrie dans les autres pays industrialisés, tels que l'Allemagne²³ ou les USA²⁴.

²³ <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/043/1804310.pdf> (consulté le 11/02/2019)

²⁴ <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf> (consulté le 11/02/2019)

Un autre indicateur de l'intérêt récent des décideurs économiques pour la FA se trouve dans un article publié dans la *Harvard Business Review*. Richard D'Aveni prédisait en 2013 dans les colonnes de l'influente revue de management que *3-D Printing Will Change the World*. Cet article a d'ailleurs été repris fin 2013 dans la liste des articles les plus marquants publiée dans la *Harvard Business Review* la même année. D'Aveni publia un autre article mettant en avant l'aspect « révolutionnaire » de la FA dans les mêmes colonnes en mai 2015. Cet article fut suivi d'une réponse publiée le mois suivant par Mattias Holweg (2015) dans laquelle il défendait l'idée que la FA ne remplacerait probablement pas les autres méthodes, mais qu'elle devait être vue comme « *a complement, a new tool in the box* » (Mattias Holweg, 2015). Ces publications portent et illustrent l'intérêt que suscite la FA. Elles montrent aussi que différentes perspectives existent quant aux implications de la FA que l'on peut anticiper.

Comme déjà évoqué, de nombreuses sources de données indiquent une augmentation du nombre de brevets sur les dernières années (Salvador *et al.*, 2014; Kannattukunnel, 2016; Trappey, Trappey, et Lee, 2017; Choi, 2018; Mahto, Sniderman, et Cotteleer, 2018). Par ailleurs, la FA prend la seconde place du classement en nombre de brevets déposés aux Etats-Unis entre 2013 et 2017, derrière la cigarette électronique, mais devant le *machine learning* ou les véhicules autonomes²⁵.

Les types de publications variés que nous soulignons dans cette sous-section ne sont pas tous de même nature. Une publication académique en sciences des matériaux, un brevet, un article de presse économique et un rapport à destination des décideurs publics sont bien sûr différents. Néanmoins, nous voyons ces divers types d'écrits comme relevant d'un mouvement commun d'intérêt pour une technologie dont le potentiel suscite l'intérêt à différents niveaux. Ajoutant à divers types de publication des données économiques, Kilkki *et al.* (2018) suggèrent que ces données de nature différente illustrent un mouvement commun de rupture (« *disruption* »), c'est-à-dire de transformation impliquant qu'un nombre important d'acteurs « reconçoivent leur stratégie afin de survivre à un changement de l'environnement ». Selon le modèle proposé par les auteurs, la FA constitue un exemple de ce type de rupture (Kilkki *et al.*, 2018).

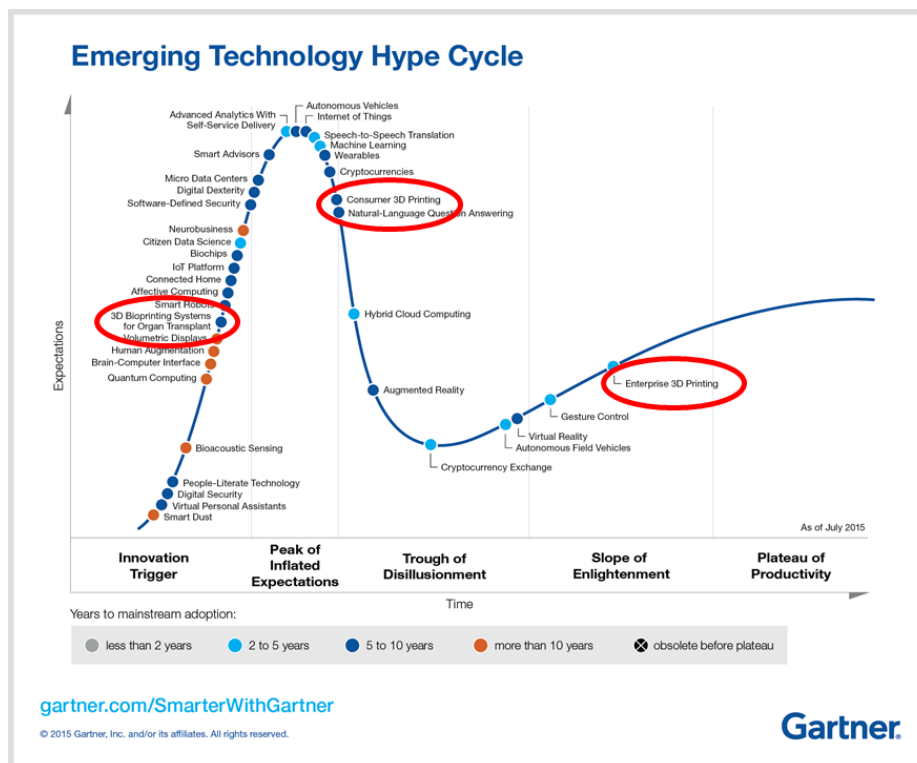
Finalement, on peut identifier d'autres marqueurs de cet engouement. Le *Technology hype cycle* du cabinet Gartner décrit un cycle d'évolution des technologies le long de phases dont un « pic des attentes exagérées » suivi d'un « gouffre des désillusions ». L'idée est que chaque nouvelle

²⁵<https://www.ificlaims.com/rankings-8-fast-growing.htm>(consulté le 22/01/2019)

technologie fait à un certain stade de son développement l'objet d'un emballement médiatique et économique (boursier par exemple) ; à la suite de quoi les produits disponibles ne satisfont pas les attentes suscitées, ce qui provoque un retournement de l'opinion générale sur cette technologie. L'analyse que fait le cabinet Gartner de la FA personnelle donne une indication quant à son développement. En 2010, le cabinet Gartner indiquait la croissance des attentes autour de la FA. En 2013 puis 2015, le cabinet commence à distinguer la FA pour les consommateurs et la FA pour les entreprises. Dans la première, le consommateur final achète une machine de FA pour fabriquer lui-même ses objets, on peut dire que la machine de FA est un produit. Dans la FA pour les entreprises, l'impact sur le consommateur final se fait via les produits fabriqués grâce aux machines de FA utilisées par les entreprises, la FA est alors un processus. Dans ces cycles, selon Gartner, la FA pour entreprise est en phase d'éclaircissement, c'est-à-dire que des usages intéressants se développent effectivement après un pic d'attentes exagérées et une désillusion. *A contrario*, la FA pour les consommateurs est, en 2015, en pleine phase de désillusion pour les observateurs médiatiques et économiques.

Figure 6 : *Hype Cycle* du cabinet Gartner (2015) avec mise en lumière des procédés de FA

A partir de <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/>



Sont ici entourées en rouge la fabrication additive de tissu humain (à gauche), la fabrication additive personnelle (au milieu), la fabrication additive pour les entreprises (à droite).

Cette distinction entre deux types de FA illustre la nécessité d'une appréhension plus fine de ce qui se développe réellement sur la base de l'ensemble des technologies de FA. Plus récemment, cette nécessité semble s'être faite plus pressante encore pour le cabinet Gartner qui a publié un graphique positionnant différentes technologies et différents usages de la FA le long de son *Technology hype cycle*. Apparaît ainsi la grande diversité des réalités existantes (ou projetées) derrière la fabrication additive.

Figure 7 : *Hype Cycle* « fabrication additive » du cabinet Gartner (2017)

Reproduit à partir de <https://www.3ders.org/articles/20170804-gartners-2017-3d-printing-hype-cycle.html>



Ces éléments sont quelques illustrations du formidable engouement lié à la FA. Ils nous montrent comment à partir de 2012 ces procédés ont suscité énormément d'intérêt pour les décideurs en entreprises, les chercheurs, les pouvoirs publics, ainsi que des commentateurs et acteurs variés. Le contenu des écrits sur le sujet fait également apparaître des différences de visions sur les enjeux stratégiques et organisationnels de la FA, sur lesquels nous revenons dans les sous-sections suivantes et la section 2.3.

Les nombreuses manifestations d'intérêt pour la FA que nous décrivons dans cette sous-section illustrent à la fois l'engouement – le « buzz » – dont a été l'objet la fabrication additive, et les nombreuses avancées technologiques et business ayant eu lieu autour de la FA. Néanmoins, les manifestations d'intérêt variées concernant cette « révolution industrielle annoncée » portée par la FA se placent dans des perspectives différentes. De manière synthétique, deux visions des transformations économiques potentielles peuvent être distinguées : la vision « maker », et la vision « industrielle ». Ces deux visions sont l'objet des deux sous-sections qui suivent.

2.2.2. De la fabrication personnelle à la vision « Makers »

La précédente sous-section a mis en avant la perspective de « révolution industrielle » qu'a ouverte la FA et l'engouement de ces dernières années autour de la technologie. Mais cet enthousiasme et la perspective d'une « révolution industrielle » recouvrent en fait des visions différentes. Cette sous-section revient sur une des visions de la révolution industrielle annoncée : la vision Maker.

2.2.2.1. La fabrication personnelle

Les fonctions stratégiques 8 et 9 (*cf.* section 1.4) mettaient en avant la possibilité d'utiliser la FA pour faire concevoir et fabriquer des objets de manière collaborative ou « par la foule ». Par ailleurs, dans la sous-section 1.6.6 sur l'usage de la FA pour le secteur des biens de consommation, nous évoquons la possibilité pour les clients finaux de fabriquer eux-mêmes un certain nombre de produits. Cette fonction et l'usage qui y est attaché relèvent de la fabrication personnelle.

Rayna et Striukova (2015) expliquent l'émergence de la FA personnelle au début des années 2010. Ici, c'est donc le consommateur final qui possède chez lui une machine de FA pour produire lui-même divers objets pour son usage personnel. Certains des procédés techniques les plus simples sont mis en œuvre par des machines « amateur » vendues moins de 1000€. On parle également de FA « amateur », par opposition à « industrielle » ou « professionnelle ». La FA personnelle se développe ainsi au sein d'une communauté technophile appelée mouvement *Maker* (à partir du verbe *to make*). Il y a donc deux réalités derrière la fabrication additive : la fabrication additive « industrielle » et la fabrication additive personnelle. Nous présentons et discutons ci-dessous la perspective « Maker ».

On peut fixer la date d'apparition de la FA personnelle à 2005, lorsqu'Adrian Bowyer – un maître de conférences en ingénierie mécanique à l'université de Bath au Royaume-Uni – lance

le projet RepRap. Le projet RepRap est un projet *open source* dont l'objectif est de concevoir une machine de FA libre de propriété intellectuelle et capable de s'auto-répliquer (RepRap signifie d'ailleurs *Replication Rapid Prototyper*). Si les machines conçues ne peuvent pas s'auto-répliquer entièrement, elles permettent de fabriquer un certain nombre de pièces qui les composent. Le projet RepRap rassemble ainsi des participants au mouvement Maker (parfois désigné par les termes de *DIY* pour *Do It Yourself*, ou *hardware hackers*), c'est-à-dire des individus amateurs du bricolage avec des outils numériques qui œuvrent dans un esprit communautaire et lié à l'économie collaborative. Ce projet, ainsi que la communauté *Maker* dont il est un projet phare, seront moteurs dans l'essor de la fabrication personnelle (West et Kuk, 2016). Par la suite, les ventes de machines de FA personnelles produites par des entreprises (parfois sur la base des modèles open source, comme dans le cas de l'entreprise Makerbot) se développent à partir de 2008 (Lipson et Kurman, 2013: 34; West et Kuk, 2016) et croissent continuellement depuis²⁶.

2.2.2.2. La révolution industrielle « Maker »

La vision Maker est présentée par Chris Anderson (2012) dans son ouvrage *Makers – La nouvelle révolution industrielle*. Selon l'auteur, l'émergence d'une communauté technophile qui s'approprie les moyens de la conception et de la fabrication numérique pour leur usage personnel est le signe avant-coureur d'une réorganisation des modes de production dans laquelle les centres industriels traditionnels se verraient concurrencer par des communautés d'individus et des réseaux de machines accessibles sous forme de services de fabrication à la demande.

On peut voir la FA personnelle comme une réappropriation par les individus des outils de production traditionnellement aux mains de grandes entreprises. Il y a en conséquence une lecture marxiste du mouvement Maker consistant à voir dans cette réappropriation des moyens de production une manière de s'abstraire de la domination des grandes entreprises capitalistes propriétaires des moyens de production (Anderson, 2012). Cet aspect révolutionnaire d'une nouvelle répartition de la propriété des moyens de production n'exclut pas une dimension entrepreneuriale et marchande de l'émergence de la FA personnelle.

La vision Maker s'appuie sur le constat de la numérisation de la fabrication matérielle, dont la FA est une composante essentielle. Selon l'auteur, en plus de cette numérisation, le coût des

²⁶ Sur la base de plusieurs estimations, d'environ 75 000 machines en 2013 (West and Kuk, 2016) jusqu'à près de 400 000 en 2017 (<http://www.primante3d.com/ventes-impression-3d-17042018/>, consulté le 16/01/2019)

outils de production a baissé au point de devenir accessible au particulier (Berman, 2012; Rayna et Striukova, 2016), comme l'illustrent le projet RepRap et l'émergence de la fabrication personnelle. La numérisation permet aux modèles 3D de circuler en ligne, et l'accessibilité des outils de FA conduit à ce que les particuliers puissent se saisir de cette opportunité.

Sur la base de ces deux prémisses (numérisation de la fabrication matérielle et baisse du coût des outils de production), Anderson (2012) déduit qu'un changement profond est à venir.

« Or, une fois qu'une industrie est devenue numérique, elle change profondément, ainsi qu'on le constate partout, du commerce à l'édition. La transformation la plus importante n'est pas dans la manière de faire les choses mais dans l'identité de ceux qui les font. Dès lors que ces choses peuvent être faites avec un ordinateur normal, elles sont à la portée de n'importe qui. Et c'est exactement ce qui est en train de se passer dans l'industrie manufacturière. »

(Anderson, 2012 : 22)

Cette citation illustre l'idée que le numérique amène à la démocratisation des outils de conception et de production. L'idée d'Anderson est la suivante : la démocratisation des outils informatiques et d'internet a permis de passer d'un monde où des relais (médias) professionnels étaient nécessaires pour produire et surtout diffuser de l'information et du contenu, à un monde où tout un chacun peut publier du contenu qui sera accessible à tous. La démocratisation des outils de conception et de production permise par le numérique et la FA aura un effet analogue sur la production de biens matériels (et plus uniquement de contenu immatériels). En d'autres termes, tout le monde peut diffuser via internet le modèle 3D d'un objet (comme on diffuse aujourd'hui un texte) et tout le monde peut fabriquer cet objet grâce à une machine de FA personnelle (comme on imprime ou lit un texte aujourd'hui).

Sur la base des premières manifestations de ce changement, Anderson (2012) observe l'émergence de nouveaux inventeurs et entrepreneurs soutenus par ces nouveaux outils, et anticipe qu'un nombre de plus en plus important d'individus vont s'engager dans cette voie. Dans cette perspective, les individus peuvent s'appropriier la production, mais aussi, et surtout, la conception. La conception de nouveaux produits se fait alors autour d'un acteur entrepreneurial leader en mobilisant une diversité d'acteurs d'une communauté open source. Ce mode de fonctionnement concurrencerait alors fortement les grandes entreprises installées. L'avantage de ces communautés serait que le fonctionnement en open source permettrait de réunir de plus nombreuses compétences et bonnes volontés qui permettraient de concevoir plus vite, mieux, et à moindre coût comparé aux méthodes traditionnelles « fermées ». Par ailleurs,

la phase de conception reposant sur un grand nombre de personnes donnant un avis et faisant des propositions, les fonctions d'élaboration du cahier des charges, de test, puis de promotion du produit sont alors remplies par ces communautés de passionnés qui participent au processus de conception. En termes de production, comparée au fonctionnement centralisé traditionnel, la supériorité de la proposition de valeur reposerait sur la possibilité de fabriquer en petite série (donc de s'adresser à des marchés de niche) et de personnaliser la production, tout en fabriquant localement soit grâce à une ou des machine(s) personnelle(s) soit à un réseau décentralisé de machines de FA auquel tout un chacun pourrait « acheter » un accès. Parmi les avantages d'un tel système, on peut noter le fait que la valeur créée pour les contributeurs se trouve autant, voire davantage, dans l'acte de conception et de production que dans le produit en lui-même. En effet, les personnes participant à un processus collectif de conception et de production sont des passionnés qui y trouvent une satisfaction intrinsèque en plus de l'espoir de participer à l'aboutissement d'un projet dont le résultat les intéresse. Cette idée d'une satisfaction intrinsèque liée à la participation à la conception plutôt qu'à la propriété et l'usage d'un objet matériel a également été suggérée par Roth (2018) selon qui une partie importante de la proposition de valeur de la FA personnelle repose sur le fait de voir un objet se matérialiser sous ses yeux, et plus largement, sur l'expérience d'un « *sens de la communauté, l'opportunité d'acquérir des compétences nouvelles et chèrement acquises, la satisfaction de concevoir et de fabriquer quelque chose* » (Lipson et Kurman, 2013: 51). Ce modèle d'entrepreneurs qui conçoivent leurs produits avec l'aide d'une communauté et qui les fabriquent à la demande grâce à un réseau décentralisé de machines a été assez largement présenté comme une transformation profonde et à venir de l'industrie mondiale (The Economist, 2011, 2012).

Si l'ouvrage d'Anderson (2012) en est probablement une des présentations les plus iconiques, ce mode de conception collectif et ouvert, de fabrication décentralisée et à la demande a été assez largement présenté comme l'un des modes de transformation industrielle potentielle que permettrait la FA (*par exemple* Gibson *et al.*, 2015; Rayna et Striukova, 2015). Ce modèle serait ainsi celui d'une révolution industrielle à venir qui impliquerait de revoir les logiques stratégiques et organisationnelles conventionnelles. La conception collaborative renverserait profondément le modèle dominant de propriété intellectuelle et obligerait ainsi à aller vers de nouveaux modèles d'affaires. Anderson (2012) résume le schéma socio-économique par une formule saisissante : « partager les bits, [et] vendre les atomes ». En d'autres termes, le « numérique » est partagé, mais les objets physiques qui en résultent sont vendus. Dans une concurrence où la propriété intellectuelle est ouverte, la source de l'avantage concurrentiel,

repose sur les contributions de communautés : conception du produit, amélioration continue, accroissement de l'efficacité, et offre de produits et services complémentaires qui renforcent la valeur du produit principal. Cette communauté s'agrège autour d'effets de réseau qui rendent les copies moins intéressantes et sont au cœur de la puissance de certaines marques qui vendent des produits open source. Les principaux enjeux du modèle organisationnel consistent alors à créer un système d'incitation pour attirer les personnes compétentes dans la communauté, ainsi qu'un système de régulation pour faire travailler ensemble les contributeurs.

Cette perspective suggère donc une révolution industrielle basée sur un mode de production artisanal composé de petits ateliers de conception connectés entre eux et ayant accès à des machines de fabrication numérique comme des machines de FA personnelles. Cette transformation imaginée et annoncée est qualifiée de révolution industrielle car l'industrie manufacturière ne serait alors plus basée sur une concentration des compétences ainsi que des unités de production de grande taille, intensive en capital, et reposant sur des effets d'échelle – ce qui constituerait un mouvement inverse de celui de la révolution industrielle débutée en Angleterre au XVIII^e siècle (Anderson 2012). Du point de vue des entreprises industrielles installées, cette nouvelle organisation de la production constitue une concurrence nouvelle, dont l'effet est renforcé par le fait qu'elle fonctionne sur un modèle d'affaires radicalement nouveau (Rayna et Striukova, 2015). Néanmoins, au sein de ce courant de pensée qui anticipe l'avènement des « makers », il semble admis que ce type d'entrepreneuriat de particuliers fonctionnant en communautés décentralisées n'ait pas vocation à remplacer les grandes entreprises existantes, mais à se faire une place à côté de celles-ci, dans des marchés où les avantages du nouveau modèle le rendent plus efficace (Anderson, 2012; Gibson *et al.*, 2015).

Si l'émergence de ce modèle est observable par endroits, la question qui se pose est celle de son développement. Une piste suggérée pour répondre à cette question consiste en une analogie selon laquelle, à l'instar de l'ordinateur personnel à ses débuts, la fabrication personnelle demeure réservée à une communauté d'initiés, mais sera amenée à se diffuser auprès d'un public plus large à mesure que les possibilités des outils progressent (The Economist, 2012; Anderson, 2012; Rayna et Striukova, 2015).

Certains auteurs tels qu'Anderson (2012) semblent soutenir l'idée que la numérisation de la fabrication est une force dont les effets (décrits ci-dessus) sont inévitables et mécaniques. D'autres écrits s'avèrent plus dubitatifs, ou au moins prudents, quant à cette perspective. Par exemple, Lipson et Kurman (2013: 50) suggèrent que « *Makers, like other early adopters of disruptive technologies, demonstrate what may be someday possible on a larger scale.* », phrase

dans laquelle l'utilisation du "may" dénote la prudence. Les principales raisons de cette prudence sont présentées ci-dessous.

2.2.2.3. Limites de la perspective Maker

La prudence avec laquelle certains auteurs considèrent la perspective Maker peut tenir à plusieurs raisons. D'abord, un certain nombre des limites existent (cf. section 1.5), les machines de FA personnelles sont donc encore loin de pouvoir tout fabriquer. Ensuite, l'offre de FA semble devoir devenir plus simple d'utilisation pour continuer à progresser et réellement se généraliser (Steenhuis et Pretorius, 2016). Gibson *et al.* (2015: 483) soulignent un certain nombre d'axes de simplification de l'offre et des aspects techniques qui favoriseraient le développement de la FA personnelle au service de l'entrepreneuriat. Les auteurs listent ces axes : l'existence de logiciels faciles d'utilisation, de règles de conception afin que l'utilisateur puisse définir facilement des paramètres pour les objets fabriqués, la création d'outils en ligne de management stratégique et opérationnel pour les entrepreneurs, la réduction des coûts des équipements et des matériaux, la réduction et l'automatisation des étapes de post-traitement, l'augmentation de la taille et une meilleure précision des objets fabriqués, la réduction des temps de fabrication, l'avancement des techniques de fabrication d'objets multicolores et multi-matériaux. Par ailleurs, les outils de production doivent se diffuser à proximité du plus grand nombre de clients et les logiciels collaboratifs doivent se développer. Finalement, la réelle utilité de la FA personnelle pour les consommateurs reste encore en débat comparé au traditionnel achat des objets du quotidien (Rayna et Striukova, 2015).

Encore plus sceptique est cette conclusion du rapport de la fabrique de l'industrie (Astolfi, Constantin, et Moulet, 2016: 21) :

Nous avons ainsi découvert au cours de notre investigation un jugement très largement partagé : l'impression 3D grand public, sauf scénario prospectif audacieux et encore infigurable, n'offrira pas avant longtemps des possibilités de fabrication sérieuses. Procédé rudimentaire, précision et qualités mécaniques très mauvaises, matériaux limités (quelques plastiques uniquement) et manque de fiabilité : rien ne laisse présager le dépassement du champ limité du loisir créatif et de l'initiation à l'industrie.

Au-delà de l'accessibilité des logiciels et des machines à des non-professionnels et de la qualité des objets fabriqués, c'est pour des raisons d'avantages des grandes entreprises que D'Aveni (2018a) disqualifie la vision d'une révolution industrielle portée par les Makers. D'Aveni, souligne en effet que la vision Maker ignore la puissance des marques, du marketing et de la

communication de masse, les bénéfices de la courbe d'apprentissage, l'asymétrie d'information qui profite aux grandes entreprises grâce aux effets de réseau dont elles bénéficient. La vision Maker ne tient pas compte non plus de l'importance des ressources financières des grandes entreprises, de leur puissance d'innovation, de leurs capacités de production permettant de répondre à une demande de masse, ainsi que des difficultés techniques de la reproductibilité des pièces en FA (notamment due à des variables telles que la qualité de l'air, la température, l'humidité...) dont la maîtrise n'est possible qu'à condition de disposer des ressources d'une grande entreprise. A l'inverse, l'auteur note que la fiabilité de centaines de Makers est trop peu garantie, que les Makers ont accès à des machines qui demeurent très limitées (taille, matériaux, vitesse), et qu'au-delà de ces machines, ils n'ont pas accès aux systèmes de production hybrides et complexes (robots, convoyeurs...). L'auteur conclut que les usines FA resteront hors de portée des makers. D'Aveni développe ainsi une vision différente de la révolution industrielle, qui sera l'objet de la sous-section suivante.

D'autres travaux concluent dans la même veine que la perspective de la fabrication personnelle est irréaliste (Khajavi, Partanen, et Holmström, 2014; Durach *et al.*, 2017) et lui préfèrent la perspective selon laquelle les gigantesques regroupements des capacités de production bénéficiant d'effets d'échelle pourraient être remplacés par de plus petites unités de production distribuées, mobilisant moins de capital unitairement et profitant de cette décentralisation du fait qu'elles seraient relocalisées à proximité du lieu d'usage.

Un autre observateur pourrait donner matière à penser la question du développement de cette perspective : le cabinet Gartner et son fameux *hype cycle*. En juillet 2013, le cabinet Gartner plaçait la FA personnelle en pleine phase de « pic des attentes exagérées ». En juillet 2015 puis 2017, la FA personnelle était dans la phase de « gouffre des désillusions ». Cette évolution des dernières années donne à voir les attentes qu'a générées la FA personnelle avant de montrer plus récemment les limites auxquelles elle est encore confrontée.

Les limites des machines de FA personnelle sont réelles et significatives à ce stade de développement de la technologie. Il semble clair que l'avance des industriels n'est, pour l'heure, que faiblement (voire pas du tout) menacée. Néanmoins, les chiffres de vente font apparaître une croissance de l'adoption de la FA personnelle. Toutefois, la prévision de l'évolution des technologies à long terme est un exercice très délicat. Il est bien difficile, voire impossible, de prévoir l'évolution du mouvement Maker à long terme. Nous nous en tiendrons donc prudemment à noter que le débat reste ouvert. Afin de compléter la discussion, la sous-section

suivante présente une autre révolution industrielle annoncée. Ici aussi la FA est un élément moteur, mais les perspectives attendues sont différentes de la vision Maker.

2.2.3. La vision industrielle : industrie 4.0 et révolution pan-industrielle

Dans la vision que nous nommons « industrielle », les processus de fabrication additive sont utilisés dans les chaînes de production des entreprises. Plusieurs variantes de cette perspective industrielle existent, nous revenons ici sur la perspective classiquement dénommée *Industrie 4.0* puis sur la vision développée par D’Aveni (2017).

Le cœur de la perspective de l’industrie 4.0 est la numérisation des processus de production industrielle. La FA est vue comme un « nouvel outil » dans la panoplie des outils industriels de fabrication. Elle est l’une des avancées technologiques à être déployée à côté d’autres innovations. Par exemple dans cette perspective, des machines automatisées (machines de FA et robots) sont équipées de capteurs qui collectent des données sur les processus de fabrication en cours, puis les analysent grâce à des programmes d’intelligence artificielle, permettant à la production de fonctionner de manière autonome, en anticipant pannes et anomalies. Une idée centrale de cette perspective est la connexion numérique entre les différents sous-systèmes de production (à l’intérieur de l’entreprise, mais également avec ses partenaires) pour permettre des gains d’efficacité importants. On notera par ailleurs l’idée de « jumeau numérique », c’est-à-dire de représentation numérique correspondant rigoureusement à une usine ou un processus et permettant de collecter des données sur son fonctionnement en temps réel. L’objectif est d’analyser ces données en temps réel pour servir à l’optimisation et à la maintenance. Une autre des technologies importantes de l’industrie 4.0 est la réalité augmentée, l’exemple typique est celui des lunettes de réalité augmentée qui affichent des informations sur l’état d’une machine au moment où l’opérateur la regarde. L’objectif final du développement de l’industrie 4.0 est celui de l’usine entièrement automatisée, dans laquelle le rôle des humains est limité au démarrage, au contrôle, et à la maintenance des installations industrielles (Schwab, 2017; Rüßmann *et al.*, 2015; Strange et Zucchella, 2017; Popkova, Ragulina, et Bogoviz, 2018).

Une conséquence de ces transformations est le gain de productivité important, notamment grâce à la réduction des besoins en main-d’œuvre. Ce sujet a été à l’origine d’amples débats, en particulier sur la question épineuse du traitement politique de la montée massive du chômage du fait de la réduction des besoins d’emplois industriels (Frey et Osborne, 2013, 2017).

D’Aveni (2018a) a récemment proposé une perspective stratégique complémentaire des transformations économiques liées à la FA, et ainsi complété cette perspective “industrielle”

développée sur le phénomène qui nous intéresse. Dans son analyse, l'auteur propose une vision du futur qu'il nomme « pan-industrielle ». La perspective est proche de celle de l'industrie 4.0, mais elle donne une place plus centrale à la FA dont les avancées technologiques sont vues comme sur le point d'aboutir à la possibilité d'économies d'échelle grâce à l'augmentation de la vitesse de production et donc des quantités produites. Par ailleurs, D'Aveni souligne l'existence d'économie d'échelle sur nombre de coûts : les achats de matières premières, la logistique, le marketing, la vente, et la distribution. L'introduction d'économies d'échelle pour la FA renverse une partie de la perspective. Comme nous l'avons expliqué plus haut, il est souvent admis que la FA ne permet pas (ou très peu) d'économies d'échelle et qu'elle soit ainsi adaptée à des productions personnalisées et/ou en petites séries, D'Aveni contredit cette idée en pariant sur des progrès de la FA qui ouvrirait la porte à des économies d'échelle.

En plus des économies d'échelle, D'Aveni indique que la flexibilité des machines de FA permettra également d'importantes économies d'envergure (*Scope*). A ces deux éléments se combine l'importance des plateformes industrielles numériques, qui seront au cœur de la coordination des flux à l'intérieur de l'entreprise, mais également le long des chaînes de valeur ou dans des écosystèmes de production. La conséquence de l'importance de ces trois éléments majeurs (économies d'échelle, économies d'envergure, plateformes numériques) est alors le fait que la taille des entreprises industrielles offre un avantage concurrentiel majeur. D'abord, la taille permet en effet de bénéficier d'économies d'échelle, comme dans les modes de production industriels classiques. Ensuite, la taille autorise des économies d'envergure, contrairement à ce qu'on observe pour les modes de production industriels classiques, dont le manque de flexibilité encourage la spécialisation plutôt que la diversification. Finalement, la taille de l'entreprise contrôlant une plateforme alimente les effets de réseaux que cette dernière génère. En effet, plus les membres sont nombreux à se coordonner via une plateforme, plus se coordonner sur cette plateforme devient avantageux (car on se coordonne avec un plus grand nombre d'acteurs). Il en résulte que c'est la plateforme la plus peuplée qui attire le plus grand nombre de nouveaux membres, renforçant en retour l'avantage qu'il y a à la rejoindre, et ainsi de suite dans un cercle vertueux. Une grande entreprise industrielle créant une plateforme peut alimenter celle-ci avec ses produits (offre) et ses besoins (demande). Elle participe donc à la génération d'effets de réseaux pour d'autres entreprises qui auront alors plus d'intérêt à rejoindre sa plateforme en particulier. La grande entreprise peut ainsi « amorcer » le mécanisme des effets de réseaux sur sa plateforme et détient, de ce point de vue là, un avantage.

La force de ces trois mécanismes (économies d'échelle, d'envergure et de plateforme) conduira – dans 20 ou 30 ans selon l'auteur – à la domination de la production industrielle par un nombre restreint d'acteurs géants qui auront su au mieux renforcer et tirer parti des avantages que leur offrait leur taille pour exploiter le potentiel de la FA. Cette vision est proche de ce qu'on observe dans l'économie des plateformes numériques avec son modèle de concurrence « *winner takes all* ». Dans le monde pan-industriel projeté par D'Aveni, les plus petites entreprises industrielles devront s'arrimer à une plateforme pour prospérer dans son giron ; on passe alors à une concurrence pour les « sphères d'influence » car les frontières des secteurs traditionnels s'estompent. Il y aurait alors un renforcement de l'aspect écosystémique de la concurrence (Moore, 1993; Iansiti et Levien, 2004; Jacobides, Cennamo, et Gawer, 2018). Cette dernière se tiendrait entre quelques géants pan-industriels chacun au centre de son écosystème (composé d'unités de production décentralisées et coordonnées par la plateforme). L'auteur suggère que la puissance de ces nouveaux acteurs pan-industriels aurait également des conséquences économiques, sociales et politiques majeures (D'Aveni, 2018a).

Les exercices de prévision présentés dans ces deux dernières sous-sections (2.2.2 et 2.2.3) suggèrent un certain nombre d'anticipations sur ce que pourraient être les conséquences de la fabrication additive. Nous en soulignons trois limites. D'une part, l'exercice de prévision technologique est par nature hasardeux, et ses résultats sont à prendre avec la plus grande précaution. D'autre part, ces prévisions ignorent très souvent la complexité des technologies et des forces à l'œuvre pour proposer une lecture simplificatrice, au risque parfois d'idéaliser la situation. Enfin, elles sous-entendent dans certains cas un déterminisme technologique, selon lequel l'évolution technologique et ses conséquences dépendraient seulement de réalités techniques et matérielles. Ces pronostics risquent ainsi d'ignorer les forces économiques sociales, organisationnelles, voire même individuelles, qui entrent en jeu.

2.3. Des enjeux stratégiques et organisationnels divers et profonds

A ce stade, le lecteur aura déjà une vision de la richesse et de la complexité que recouvre la fabrication additive. Dès 2006, Hopkinson *et al.* introduisaient leur ouvrage sur le sujet en soulignant la diversité des applications de la fabrication directe en FA.

It is difficult to think of a technological discipline that has such a broad range of potential applications as Rapid Manufacturing [ndlr : la fabrication directe en FA]. What other technology can get an artist, a medical clinician, an engineer and an environmental

champion excited in the same way? This almost unparalleled latitude of applications is reflected in the range of materials that may be processed. (...) Not only is there a great breadth of potential for Rapid Manufacture, but the discipline also brings about issues of significant depth, uncovering new ways of thinking in terms of many aspects ranging from involvement of the customer in the design process through to the ability to realise new engineering solutions to problems in the aeronautical industry.

(Hopkinson *et al.*, 2006: 2).

Afin de compléter la présentation du phénomène fabrication additive, nous considérons dans cette section un certain nombre d'enjeux de la FA identifiés dans la littérature. Le développement de la FA a en effet été étudié en lien avec de nombreux enjeux notamment stratégiques, organisationnels, et même opérationnels, montrant que la fabrication additive touche de nombreuses dimensions de la vie des entreprises. A titre d'exemple, dans leur introduction à un numéro spécial sur la FA de la revue *Technological Forecasting and Social Change*, Ford *et al.*, (2016) listent un ensemble de questions que soulève le développement de la FA. Ces questionnements sont classés en trois catégories : le contexte (politique, industriel, régulation, marchés, consommateurs, concurrence et dynamiques industrielles), la création de valeur (conception, recherche et développement, organisation, relations inter-firmes, ressources), et la captation de valeur (modèles d'affaires, stratégies, produits et services, services supports, marketing et vente, distribution, opérations, réseau de fournisseurs). Ces questions montrent l'étendue des enjeux stratégiques et organisationnels de la FA. Illustrant la diversité des enjeux, on peut également noter la publication récente de plusieurs revues de littérature généralistes, états de l'art et des tendances, et listes des problématiques soulevées par la FA et ses impacts (Gardan, 2016; Jin *et al.*, 2017; Khorram Niaki et Nonino, 2017; Öberg, Shams, et Asnafi, 2018).

L'adoption et la mise en œuvre de la FA touchent de très nombreuses dimensions de l'entreprise. Mellor *et al.* (Mellor *et al.*, 2014) proposent un cadre de déploiement de la FA qui comprend cinq dimensions : la stratégie, la technologie, l'organisation, les opérations, et la chaîne logistique. D'autres mettent en avant que les facteurs de succès de l'adoption de la FA relèvent de la technologie, de l'organisation, de l'environnement, et du coût (Yeh et Chen, 2018). De manière encore plus détaillée, Deradjat et Minshall (2017, 2018) mettent en avant 26 challenges dans la mise en œuvre de la FA, qui concernent les processus, les technologies, les machines, les opérations, l'organisation, les relations externes. Finalement, Martinsuo et Luomaranta (2018) ont mené un exercice similaire auprès de PME. Les nombreux challenges

qu'ils identifient les conduisent à conclure au caractère « systémique » de la FA. Ces travaux de recherche illustrent le fait que les enjeux de la FA traversent largement les différentes fonctions de l'entreprise.

Cette section de la revue de littérature examine les plus importants enjeux stratégiques et organisationnels de la FA. Avec ces enjeux apparaît le besoin d'adaptation des compétences pour les entreprises souhaitant adopter la technologie. Le nombre des enjeux nécessitant l'adaptation des compétences organisationnelles fait émerger cette adaptation comme un des sujets clés de la transformation industrielle qui émerge avec le développement de la FA. Ce sujet de la transformation des compétences organisationnelles pour s'adapter aux innovations technologiques sera développé dans le chapitre 4 sur les approches de la technologie en management stratégique.

Le tableau 2 propose une synthèse des enjeux stratégiques et organisationnels présentés dans cette section 2.3.

2.3.1. Organisation industrielle

Weller *et al.* (2015) montrent comment le développement de la FA dans une industrie peut faire évoluer sa dynamique concurrentielle. D'après les auteurs, dans un marché monopolistique, la FA tendrait à faire augmenter le profit de l'entreprise en situation de monopole qui captera plus de valeur en améliorant son offre, notamment grâce à la personnalisation. A l'inverse, dans une industrie concurrentielle, la FA aurait plutôt tendance à intensifier la concurrence en abaissant les barrières à l'entrée. Cet abaissement viendrait d'une importance moindre des effets d'échelle du fait d'une réduction des coûts de fabrication des nouveaux produits (de niche ou personnalisés), d'une augmentation des coûts générant peu d'économies d'échelle (énergie, matières premières rares), et d'une importance accrue de la valeur ajoutée dans la concurrence (au détriment des coûts. Au contraire de cette recherche suggérant l'effet transformateur de la fabrication additive sur les industries, Sandström (2016) a observé que l'adoption rapide de la FA par les plus grands acteurs du secteur des prothèses auditives ne s'est pas accompagnée de transformations majeures de la structure de l'industrie.

Si la FA a un effet sur la dynamique de la concurrence au sein d'une industrie, les frontières traditionnelles entre les différentes industries peuvent également être modifiées. C'est ce que suggèrent Kapetaniou *et al.* (2018) en proposant une nouvelle taxonomie des secteurs d'activité adaptée à la FA, et en détaillant les ressorts de la concurrence et les relations dans et entre ces nouveaux ensembles.

Par ailleurs, la FA pourrait réduire le besoin de main-d'œuvre du secteur manufacturier, ayant ainsi des conséquences macroéconomiques sur l'emploi et la répartition mondiale des activités de production (Campbell *et al.*, 2012).

La FA a ainsi un effet transformateur sur l'organisation et le fonctionnement de secteurs d'activité, poussant ainsi les entreprises concernées à faire évoluer leurs stratégies.

Tableau 2 : Synthèse de la section 2.3 sur les enjeux stratégiques et organisationnels

Domaine	Enjeux stratégiques et organisationnels
Organisation industrielle	<ul style="list-style-type: none"> - Transformation (Weller <i>et al.</i>, 2015) ou non (Sandström, 2016) de la dynamique concurrentielle et structure de l'industrie - Les frontières de l'industrie évoluent (Kapetaniou <i>et al.</i>, 2018) - Moindre besoin de main-d'œuvre influençant la répartition mondiale des activités de production (Campbell <i>et al.</i>, 2012)
Stratégie des entreprises	<ul style="list-style-type: none"> - Evolution de différents aspects du modèle d'affaires (proposition, la création, et la captation de valeur) (Rayna et Striukova, 2015) - Création de valeur supérieure avec la FA (Rylands <i>et al.</i>, 2016; Khorram Niaki et Nonino, 2017; Marzi <i>et al.</i>, 2018) - Concurrence entre entreprises existantes et nouveaux entrants suite à l'émergence de la FA (Hartl et Kort, 2017) - Réflexion <i>Make or Buy</i> (Ruffo, Tuck, et Hague, 2007)

Tableau 2 (suite)

Organisation	<ul style="list-style-type: none"> - Changements organisationnels d'ensemble (Mellor <i>et al.</i>, 2014; Deradjat et Minshall, 2017), - besoin de nouvelles compétences (Oettmeier <i>et al.</i>, 2016; Deradjat et Minshall, 2017) - Changement culturel et rôle des dirigeants (Mellor <i>et al.</i>, 2014; Yeh et Chen, 2018) - Acceptation d'une nouvelle technologie par les utilisateurs (Wang <i>et al.</i>, 2016; Hartmann et Vanpoucke, 2017; Schniederjans, 2017) - Besoins de formation (Simpson, Williams, et Hripko, 2017; Ben-Ner et Siemsen, 2017; Ford et Minshall, 2019)
Opérations et chaînes logistiques	<ul style="list-style-type: none"> - Transformation d'ensemble des opérations (Hopkinson <i>et al.</i>, 2006: 159 et suiv. Bianchi et Åhlström, 2014) - Besoin de reconcevoir la chaîne de production (Mavri, 2015) - Création de nouvelles chaînes, par exemple pour la FA à la demande (Rogers, Baricz, et Pawar, 2016) - Logistique flexible et agile (Durach <i>et al.</i>, 2017; Eyers <i>et al.</i>, 2018). - Nouvelles relations fournisseurs et clients (Oettmeier <i>et al.</i>, 2016). - Effets sur la chaîne logistique dépendront de l'évolution des opérations, difficiles à prévoir (Eyers et Potter, 2015).
Chaîne de valeur et écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de recherche sur relations inter-firmes (Öberg <i>et al.</i>, 2018) - Importance des « <i>trading partners</i> » (Yeh et Chen, 2018) - Rôle des plateformes pour coordonner les acteurs (Rayna <i>et al.</i>, 2015; Rayna et Striukova, 2016; Birtchnell, Böhme, et Gorkin, 2017; Chan <i>et al.</i>, 2018) - Rôle important et évolution des écosystèmes (Rong, Patton, et Chen, 2018)
Activité de conception	<ul style="list-style-type: none"> - Conception « manuelle » vs automatisée (Hällgren, Pejryd, et Ekengren, 2016). - Nouvelles compétences de conception (Lipson et Kurman, 2013; Klahn, Leutenecker, et Meboldt, 2015) - Conception plus centrale (liée à l'approvisionnement, la production, la vente...) (Petrick et Simpson, 2013; Pisano, Pironti, et Rieple, 2016)
Propriété intellectuelle	<ul style="list-style-type: none"> - Piratage des modèles numériques et contrefaçon (Kurfess et Cass, 2014) - Limites de la FA limitent la contrefaçon (Birtchnell <i>et al.</i>, 2018) - Besoin de nouveaux modèles d'affaires intégrant ce risque plutôt que lutte contre le piratage (Birtchnell <i>et al.</i>, 2018)

2.3.2. Stratégie des entreprises

Du point de vue de la stratégie, la FA peut conduire à une évolution des différents aspects du modèle d'affaire des entreprises tels que la proposition, la création, et la captation de valeur (Rayna et Striukova, 2015). Par ailleurs, plusieurs études de cas ont conclu à l'effet positif de la FA sur la performance des entreprises industrielles qui avaient adopté la technologie grâce à une création de valeur supérieure et à l'opportunité de répondre aux besoins de nouveaux segments de marché (Rylands *et al.*, 2016; Khorram Niaki et Nonino, 2017; Marzi *et al.*, 2018). D'autres travaux ont passé en revue les options stratégiques de proposition de valeur ouverte par l'utilisation de la FA (D'Aveni, 2018b). Cette approche par les nouvelles propositions de valeur est ainsi centrale dans les réflexions actuelles sur la FA. On peut également noter des travaux sur l'évolution de la concurrence entre entreprises existantes et nouveaux entrants suite à l'émergence de la FA (Hartl et Kort, 2017). Finalement, Ruffo *et al.* (2007) ont proposé une réflexion *Make or Buy*, concluant à la supériorité de l'option internalisée en termes de coûts de production mais également de simplicité opérationnelle.

Par ailleurs, le développement de la FA pour la production en petites séries, à la demande, et proche du lieu d'usage pourrait conduire à l'émergence de centres de FA régionaux de grande taille, profitant d'effets d'expérience et d'économies d'échelle sur les achats. Ces centres régionaux deviendraient les nœuds essentiels de la chaîne de production pour de faibles volumes. S'il s'avérait que la production à la demande permettait de réduire les stocks de produits finis, les stocks de matière première devraient être augmentés. Cette disjonction entre la production à faible volume et la production de masse permettrait à la production de masse de se dégager de la contrainte qu'impliquent les quelques éléments devant être produits en faibles volumes (éléments personnalisés, pièces détachées...), permettant à la production de masse de réduire ses coûts et ses délais de production (Sasson et Johnson, 2016). Cette réflexion indique que la FA prendrait une place au côté des processus traditionnels, renforçant ces derniers en les allégeant du poids de certaines contraintes, mais ne les remplaçant pas pour la production de masse.

Si la réflexion sur les stratégies à mettre en œuvre pose de nombreuses questions encore non résolues, celle de l'adaptation de l'organisation à la mise en œuvre de ces stratégies demeure également en suspens.

2.3.3. Organisation

De manière analogue à son effet sur les opérations et les chaînes logistiques, la mise en œuvre de la fabrication additive implique un ensemble de décisions et de changement à mettre en œuvre dans l'organisation. Mellor *et al.* (2014) soulignent ces divers changements organisationnels. Parmi ces éléments, ils notent que dans le cas de petites et moyennes entreprises, les besoins de financement peuvent nécessiter une gestion du portefeuille d'activité organisée de telle sorte que les activités matures financent le développement de nouvelles activités, là où d'autres mettent en avant l'utilité d'une alliance pour arriver à réunir suffisamment de ressources financières (Deradjat et Minshall, 2017). De plus, la mise en œuvre de la fabrication directe en FA exige de développer de nouvelles compétences en interne (voir aussi Oettmeier *et al.*, 2016; Deradjat et Minshall, 2017). Par ailleurs, la transition rend nécessaire un changement culturel et organisationnel pour adapter les comportements aux enjeux de la nouvelle activité, ainsi que le soutien de l'équipe dirigeante (Mellor *et al.*, 2014; Yeh et Chen, 2018).

Par ailleurs, la question de l'acceptation d'une nouvelle technologie par les utilisateurs a été étudiée avec des outils de type « *technology acceptance model* », que ce soit pour des utilisateurs type Makers (Wang *et al.*, 2016; Hartmann et Vanpoucke, 2017) ou pour des utilisateurs industriels (Schniederjans, 2017).

Le déploiement de la FA aurait également des implications sur le travail. L'enjeu principal est la nécessité de nouvelles connaissances et compétences concernant la FA. Ces connaissances et compétences concernent les opérateurs ainsi que les ingénieurs travaillant avec la FA. Il s'agirait notamment de compétences sur les fondamentaux techniques et économiques de la technologie, la conception numérique pour la FA, le contrôle et la gestion des procédés, le post-traitement et le contrôle des objets fabriqués, et des compétences managériales (par exemple la relation client, et les capacités entrepreneuriales). Ce renouveau implique de nouveaux besoins de formation (Simpson *et al.*, 2017; Ben-Ner et Siemsen, 2017; Ford et Minshall, 2019).

Au-delà de l'adaptation des organisations à la FA, il est nécessaire, du point de vue opérationnel, d'adapter la production et les chaînes logistiques. Certains usages stratégiques de la FA tels que la fabrication en petite série, à la demande, personnalisée, ou locale, et leur combinaison, nécessitent en effet de transformer profondément les opérations et les chaînes logistiques. Un certain nombre de recherches se sont concentrées sur cette transformation.

2.3.4. Opérations et chaînes logistiques

Les caractéristiques intrinsèques de la FA donnent à la technologie un avantage sur d'autres procédés traditionnels. Dans le cas de la FA, changer de procédé de production implique une transformation importante de nombre d'aspects du management des opérations des entreprises (Hopkinson *et al.*, 2006: 159 et suiv. Bianchi et Åhlström, 2014). Le lien entre FA et management des opérations est ainsi central. Il dépend des usages stratégiques de la technologie et de leurs développements.

Dans ces différentes perspectives, il est nécessaire de reconcevoir une chaîne de production (Mavri, 2015) ou de créer de nouvelles chaînes, par exemple pour les services de FA à la demande (Rogers *et al.*, 2016).

Comme nous l'avons expliqué au chapitre 1, un élément central est le caractère non outillé de la FA qui permet le développement des fonctions stratégiques de production personnalisée et à la demande. Du point de vue du management des opérations, cela se traduit par des chaînes logistiques plus flexibles et plus agiles (Durach *et al.*, 2017; Eyers *et al.*, 2018). L'utilisation de la FA pour la production de biens personnalisés transforme également la chaîne logistique en amont – les achats – et en aval – la relation client et son implication dans la conception de biens personnalisés (Oettmeier *et al.*, 2016). Les particularités d'un secteur nouveau impliquent d'éduquer ses clients et de faire face à un pouvoir de négociation important des fournisseurs qui se trouvent en position de force du fait de la faible compatibilité entre les logiciels, les machines, et les matières premières (Mellor *et al.*, 2014). Les effets de la FA sur la chaîne logistique, tels que de nouvelles intermédiations et désintermédiations, dépendront *in fine* de l'évolution des modèles d'organisation de la production, dont il demeure difficile de savoir précisément lequel ou lesquels s'imposeront à mesure des progrès techniques attendus de la FA (Eyers et Potter, 2015).

Le cinquième usage stratégique identifié (section 1.4) suggère que la FA permet de réduire les stocks grâce à un « stockage numérique », notamment pour les pièces détachées, par exemple dans le secteur aéronautique. Cet usage, et la transformation de la chaîne logistique qui en découle ont donné lieu à quelques recherches visant à en évaluer les bénéfices, qui ont été comparés selon leur que la fabrication était centralisée ou décentralisée. Un stockage numérique associé à une fabrication centralisée est la solution qui apparaît, à ce stade de développement de la technologie, la plus économique (Holmström *et al.*, 2010). Ce premier résultat a été amendé pour les pièces détachées dont la demande est importante et pour lesquels une

production décentralisée a été estimée comme plus avantageuse (Liu *et al.*, 2013). Néanmoins, d'autres recherches concluent que la prise en compte du coût fixe de l'achat des machines rendait l'utilisation de la FA aujourd'hui moins intéressante pour la fabrication de pièces détachées, mais que cela devrait changer à mesure des progrès de la technologie et de la baisse du coût des machines (Li *et al.*, 2017). Des analyses détaillées ont été menées pour définir les caractéristiques techniques et économiques des pièces détachées pour lesquels l'utilisation de la FA pour la fabrication à la demande serait possible et profitable (Knofius, van der Heijden, et Zijm, 2016). Finalement, une recherche qualitative menée auprès d'experts suggère d'ajouter des variables aux modèles utilisés pour évaluer l'opportunité de l'usage de la FA pour la fabrication de pièces détachées. Cette recherche conclut à l'intérêt de cet usage pour quelques pièces spécifiques et identifie des axes de progrès afin que la généralisation de cet usage à un plus grand nombre de pièces devienne économiquement intéressante (Chekurov *et al.*, 2018).

Une revue de littérature fait apparaître l'importance des questions sur la chaîne logistique, ce qui implique la question des relations inter-firmes. On note néanmoins un certain manque de recherches sur les interactions avec les partenaires clés (Öberg *et al.*, 2018).

2.3.5. Chaîne de valeur et écosystèmes

Yeh et Chen (2018) identifient les « *trading partners* » comme un facteur clé dans le succès de l'adoption de la FA par les entreprises. Ce facteur apparaît après les facteurs de coût et l'avantage technologique intrinsèque, mais avant les autres critères environnementaux (concurrence, prévisions de marché ou encore politiques gouvernementales), les critères organisationnels ou encore les critères de facilité d'intégration avec les technologies existantes (Yeh et Chen, 2018).

Par ailleurs, les plateformes sont très importantes pour coordonner les activités inter-firmes, par exemple pour gérer les données des clients pour la personnalisation des biens fabriqués. (Chan *et al.*, 2018). Ainsi le rôle des plateformes est essentiel pour coordonner la mise en relation entre le modèle numérique de l'objet et sa production en FA (Rayna *et al.*, 2015; Rayna et Striukova, 2016). Il a été suggéré que les universités – en tant que plateformes centrales de circulation des connaissances immatérielles – pourraient jouer un rôle clé dans cette mise en relation (Birtchnell *et al.*, 2017).

La question des relations inter-firmes apparaît comme essentielle dans une recherche mettant en avant la relation entre l'évolution des modèles d'affaires des entreprises utilisant la FA (les usages stratégiques) et celle des écosystèmes dans lesquels ces entreprises évoluent. Durant

l'initiation, les écosystèmes sont plus flexibles (ils agrègent des partenaires et explorent les possibilités de création de valeur); durant l'exécution, la création de valeur est stabilisée dans l'écosystème, mais le partage de la valeur peut évoluer. Durant l'extension, la création et le partage de la valeur sont stabilisés, l'agrégation redevient alors centrale pour développer la plateforme (Rong *et al.*, 2018).

En contradiction avec ces conclusions, une revue de littérature déduit d'un nombre de recherches limitées à propos de l'importance des partenaires clés que « la fabrication additive ne nécessitera pas de changements majeurs des compétences clés des entreprises ou que les entreprises sont équipées pour transformer leurs compétences pour correspondre aux besoins futurs » (Mohr et Khan, 2015: 19). Le peu de recherche sur le sujet signale plutôt, selon nous, l'existence d'un gap dans la littérature sur le sujet. En effet, les recherches présentées plus haut ainsi que la suite de cette thèse illustrent l'importance des relations inter-firmes dans le contexte du développement de la FA. D'autres problématiques spécifiques méritent d'être mentionnées.

2.3.6. Activités de conception

La conception est une activité clé pour la fabrication additive. En effet, une des caractéristiques qui fonde les avantages de la FA est la possibilité de fabriquer des objets aux géométries complexes. La possibilité de fabriquer en FA permet aux concepteurs de s'affranchir des contraintes de formes qui s'appliquent aux pièces destinées à être produites par les procédés traditionnels (Klahn *et al.*, 2015). Là où la conception est traditionnellement pensée en fonction des contraintes de la fabrication (*Design for Manufacturing*), elle sera complètement libérée de ces contraintes (*Manufacturing for Design*) (Petrick et Simpson, 2013). Si l'optimisation topologique automatisée peut fonctionner, il est parfois préférable que la forme soit pensée par un humain et conçue « manuellement » plutôt que par un algorithme (Hällgren *et al.*, 2016). Or, la majorité des concepteurs sont formés et compétents dans les logiques classiques, contraintes par les possibilités des procédés ; une évolution profonde des compétences de conception est ainsi nécessaire pour que cette évolution ait lieu (Lipson et Kurman, 2013: 260 et suiv.).

Les possibilités étant plus grandes, le rôle des concepteurs devient de plus en plus central dans la création de valeur des entreprises. Ils se trouvent alors au centre de la relation entre l'organisation, son positionnement, et ses clients (Pisano *et al.*, 2016). Par exemple, le choix de la matière première aura une influence sur les propriétés de la pièce, qui dépendent également de sa forme et du processus de production. Cela implique une coordination étroite entre les

responsables de ces différents aspects, dans laquelle la conception a un rôle essentiel (Petrick et Simpson, 2013).

2.3.7. Propriété intellectuelle

Le caractère numérique de la FA offre l'avantage de pouvoir créer, échanger et modifier des modèles numériques d'objets physiques. Il est parfois admis que la FA permet de matérialiser facilement ces modèles numériques pour en fabriquer la version physique ; même si la réalité de la FA rencontre un certain nombre de limites et difficultés (*cf.* section 1.5).

L'idée d'une facilité de numérisation et de fabrication a fait émerger un questionnement sur les conséquences de la FA sur la propriété intellectuelle. Dans une analogie avec les conséquences de la numérisation des industries culturelles qui ont très largement fait émerger le piratage, il a été envisagé que la numérisation possible des biens matériels (avant leur re-fabrication) pourrait conduire au piratage d'objets protégés par différents mécanismes de propriété intellectuelle.

Sans rentrer dans le détail des enjeux juridiques relevant des règles de la propriété intellectuelle, on notera que si certains ont vu dans cette perspective un risque important (Kurfess et Cass, 2014), d'autres réflexions sur la FA ont conclues que le risque demeurerait très mineur, notamment du fait des limites de la FA et du fait que la contrefaçon de biens matériels n'a pas attendu la FA pour exister (Birtchnell *et al.*, 2018). Par ailleurs, si la FA personnelle était amenée à se développer jusqu'à rendre ce risque important, l'intégration de cet usage dans le modèle d'affaire des entreprises apparaît comme une réponse plus judicieuse qu'une tentative de protection juridique. En effet, comme l'a montré l'échec du contrôle légal des téléchargements de musique sur internet, le contrôle légal de la copie numérique et du partage sur internet est très difficile à faire appliquer (Birtchnell *et al.*, 2018).

Malgré ces diverses approches, les recherches académiques en management fondées sur le contexte de la fabrication additive demeurent assez limitées, et de nombreuses questions demeurent non résolues.

Synthèse des chapitres 1 et 2 : la fabrication additive une réalité complexe, stratégique et en développement

Ce premier passage en revue des dimensions stratégico-économiques de la fabrication additive nous invite à ce stade à mettre en avant quelques traits saillants du phénomène. Nous synthétisons ici l'ensemble des deux premiers chapitres de cette thèse, consacrés à la

présentation de la fabrication additive. De cette présentation de la FA, nous tirons trois conclusions.

En premier lieu, la FA est une réalité complexe. En effet, « la » fabrication additive est parfois abordée comme une technologie unique ou un objet univoque. Ces deux premiers chapitres de la revue de la littérature montrent bien qu'il existe de multiples éléments réunis sous l'idée de fabrication additive. Du point de vue technique, la FA est une famille de procédés : on dénombre sept procédés. Ces procédés sont réunis sous l'ensemble fabrication additive du fait des trois caractéristiques (nature additive, numérique, et non outillée) qu'ils ont en commun. On retrouve cette complexité au niveau des applications de la fabrication additive, on dénombre en effet onze fonctions stratégiques différentes (section 1.4), dont certaines peuvent se combiner, multipliant donc la complexité des possibilités offertes par la FA. Finalement, différents secteurs économiques sont utilisateurs de la FA ; nous en passons sept en revue section 1.5. Ceci indique une grande complexité du phénomène technologique auquel nous nous intéressons, du fait du nombre de combinaisons possibles entre les onze fonctions et les sept secteurs identifiés dans lesquels la FA peut être employée (la liste n'étant pas exhaustive, d'autres secteurs pourraient s'y ajouter). La complexité de l'objet FA se retrouve également dans les perspectives ouvertes par cette technologie. La section 2.2 développe la perspective d'une révolution industrielle, et les sous-sections 2.2.2 et 2.2.3 montrent que ce n'est pas une révolution industrielle qui est annoncée, mais que plusieurs scénarios divergents sont annoncés par différents auteurs. La section 2.3 montre que, plus proche de nous, la FA implique de nombreux enjeux stratégiques et organisationnels. Finalement, le « buzz » que nous décrivons dans la section 2.2.1 se caractérise par une inflation non seulement des avancées techniques et économiques sur la FA, mais également des annonces, réflexions, et commentaires à ce sujet. Cet engouement autour de la FA apparaît comme une dimension importante du changement technologique à l'œuvre. Il complexifie en cela le phénomène de deux manières. D'une part en y ajoutant une dimension : le discours sur la technologie comme composante d'un processus de changement technologique ; d'autre part, ce « buzz » démultiplie, par nature, l'information émise sur le sujet et complexifie – autant qu'elle l'enrichit – la lecture de l'observateur.

En plus d'être complexe, la FA est en second lieu une innovation technologique stratégique. Par ce qualificatif, nous entendons ici qu'il s'agit d'un développement capital des procédés de production, dont les effets semblent bien s'annoncer décisifs. Nous tirons cette conclusion intermédiaire de plusieurs observations faites dans la présentation de la fabrication additive. Les caractéristiques de la FA (*cf.* section 1.3) constituent des changements profonds : la nature

additive de la fabrication permet d'envisager de repenser totalement la forme des objets qui nous entourent, son caractère numérique – certes partagé par d'autres procédés – transforme en profondeur le rapport au temps, à la distance, à la complexité existant dans le monde de la fabrication d'objets physiques, le caractère non outillé réduit significativement les effets d'échelle, c'est-à-dire un mécanisme de base dictant l'organisation de la production mondiale de biens. La conjonction de ces trois caractéristiques a donc un immense potentiel transformateur. Cela se traduit par un grand nombre de secteurs utilisateurs (*cf.* section 1.6), qui illustrent le large champ sur lequel s'appliquent ces profonds changements. Au-delà de « l'effet de mode » que l'on peut soupçonner de jouer un rôle, c'est l'importance de l'enjeu qui explique le « buzz » que nous décrivons dans la sous-section 2.2.1. Bien qu'incertaines, les perspectives de révolutions industrielles dessinées par plusieurs observateurs selon des visions différentes (*cf.* section 2.2) donnent également à voir l'importance des enjeux du développement de la FA. Enfin, le nombre et la nature des enjeux stratégiques et organisationnels (*cf.* section 2.3) signalent eux aussi le caractère stratégique du phénomène étudié. Par exemple, les effets de la FA sur la proposition de valeur des entreprises manufacturières contiennent, en germe, un renouvellement fondamental de leur activité, et impliquent des évolutions stratégiques essentielles.

En troisième lieu finalement, la FA est une technologie en développement. La section 1.5 donne à voir l'articulation entre des fonctions stratégiques et des limites. Comme nous le notons, les différentes fonctions stratégiques présentées sont plus ou moins avancées, car leur mise en œuvre se fait sous la contrainte des limites de la technologie. Or, les limites observées sont repoussées par les avancées technologiques, ce qui permet de développer la mise en œuvre des fonctions stratégiques. La frontière entre le potentiel et le réalisé est donc continuellement repoussée par l'avancée de la technologie. Ce mouvement est illustré avec du recul historique dans la section 2.1 qui montre les progrès faits depuis plus de 30 ans sur les technologies et les usages. De plus, le « buzz » mis en lumière section 2.2.1 montre que le développement de la FA et des usages s'est accéléré depuis le début de la décennie. De plus, les perspectives de révolutions industrielles (*cf.* sous-sections 2.2.2 et 2.2.3) sont construites sur la base de spéculations sur les effets de l'amplification de phénomènes émergents, qu'il s'agisse de la fabrication à la demande, locale, et/ou personnalisée ; par des Makers ou des industriels plus traditionnels. Finalement, le « buzz » autour de la FA ainsi que l'étendue des perspectives discutées et la variété de leurs points de vue montrent que la discussion sur les enjeux et effets de la FA se développe elle aussi. Le lecteur pourra constater que bon nombre des références

citées dans ces deux premiers chapitres de la revue de littérature sont récentes (voire très récentes), démontrant ainsi que ce travail de thèse se place dans le cadre d'une réflexion actuellement fort animée et témoignant d'un phénomène à propos duquel les recherches sont en plein développement.

Les effets systémiques et généralisés de la FA restent au stade embryonnaire, il demeure et demeurera nécessaire de les observer dans les années à venir. Pour l'heure, il apparaît que nous sommes dans une période de développement des procédés et de leurs usages. Cela ouvre des perspectives prometteuses pour le futur et différents acteurs participent à ce développement et explorent ces perspectives. En synthèse de cette présentation du phénomène de la fabrication additive, il ressort que nous sommes face à une réalité complexe, stratégique, et en développement. Il semble, une fois ce premier constat fait, important d'aborder un certain nombre d'approches théoriques sur la technologie afin de tenter de prendre un peu de recul face à la complexité, aux enjeux, et au mouvement qui caractérisent la fabrication additive.

3. L'évolution technologique

Face au phénomène stratégique, complexe et en mouvement que nous avons décrit dans les chapitres 1 et 2, le chapitre 3 (puis le chapitre 4) ci-dessous repère des éléments théoriques qui permettront d'éclairer l'émergence de la FA, et pourront être en retour discutés sur la base des observations que nous pourrons faire.

En conséquence, cette revue de littérature aborde des champs de recherche parfois dissociés dans la littérature, mais ayant en lien le thème de l'évolution technologique et son management. L'objectif de cette revue de littérature est d'aboutir à une armature conceptuelle qui nous permettra de donner à voir la FA selon différents points de vue.

3.1. Qu'est-ce qu'une technologie

De manière simple, on peut définir une technologie par un ensemble de moyens mis en œuvre pour atteindre un certain but. De manière plus analytique, une technologie implique un ensemble de connaissances, de procédures, et d'artefacts (Dosi, 1982; Dosi et Nelson, 2010).

Dosi et Nelson (2010) développent cette définition en mettant en avant et en caractérisant ces éléments essentiels d'une technologie. Une technologie est d'abord un ensemble de connaissances. Théoriquement, les connaissances technologiques peuvent être utilisées à n'importe quelle échelle. Sans parler des questions de reproductibilité, d'imitabilité, ni de sa valeur économique, un savoir scientifique ou technologique ne s'use pas à mesure qu'on l'utilise. Les rendements des connaissances technologiques vont ainsi croissants. Cette réalité est au cœur de la valeur économique importante des actifs immatériels que sont les connaissances technologiques, car ils peuvent être déployés un nombre illimité de fois. Par ailleurs, les connaissances technologiques sont – dans une certaine mesure – tacites. Elles sont donc difficilement codifiables et transmissibles. Ces connaissances peuvent être scientifiques, mais elles impliquent également une dimension pratique. Créer de la valeur via un produit ou un service nécessite une série d'étapes, qui forment ainsi des procédures. On peut qualifier ces procédures de recettes dans la mesure où leur mise en œuvre nécessite la maîtrise d'une certaine grammaire plus générale de règles du domaine (dans une recette de cuisine, « émincer et faire revenir les oignons » implique une connaissance des termes « émincer » et « faire revenir »). Ces recettes ont également une dimension tacite, c'est-à-dire difficile, voire impossible, à

codifier (il est difficile de codifier exactement comment casser un œuf). Dans le cas de technologies industrielles, la recette est rarement maîtrisée par un seul agent et implique ainsi des interactions entre les différents agents à l'œuvre. Ce processus collectif dans l'utilisation d'une technologie pour exécuter une tâche est souvent qualifié de routine. Ces routines, comme les recettes, ont également souvent une dimension tacite. Ces routines sont au cœur des compétences organisationnelles, c'est-à-dire de ce que sait faire une organisation (par exemple, fabriquer un smartphone). Un dernier élément décrivant une technologie peut être qualifié d'artefact, il s'agit du bien ou du service produit et de son design, c'est-à-dire de ses composants et de leur combinaison permettant à l'objet de remplir au mieux leur fonction.

On peut compléter cette définition en soulignant la dualité d'une technologie : une technologie désigne d'une part, la technique et le savoir associé, et d'autre part, le besoin fonctionnel auquel elle répond, son « but » dans la définition donnée ci-dessus. Ces deux dimensions désignent deux réalités différentes, mais leur couple forme un tout cohérent (Durand, 2003). Cette idée de la dualité entre la dimension « technique/savoir » et la dimension « besoin fonctionnel » des technologies s'avérera essentielle dans cette thèse.

Le nombre de besoins différents auxquels répondent une technique et la connaissance associée est une question clé. Certaines recherches mettent en avant le concept de *General Purpose Technology* (GPT), parfois désigné comme technologie générique ou « *pervasive technology* » qui peut se traduire par omniprésent, envahissant, ou systématique. Le concept de GPT est défini de manière précise selon trois caractéristiques : une GPT a des applications dans de nombreux secteurs, elle évolue de manière dynamique, et les développements autour de ses usages potentiels sont productifs (il est « facile » d'inventer de nouveaux produits). Dans le même ordre d'idée, une *Enabling Technology* est, quant à elle, une sorte de quasi-GPT, elle satisfait les deux dernières conditions (dynamisme et recherche productive), mais pas celle du nombre de secteurs en aval (Bresnahan et Trajtenberg, 1995). Les GPT ont une influence significative sur les sources de l'avantage concurrentiel et l'évolution technologique (Gambardella et McGahan, 2010).

Par ailleurs, on distingue souvent l'innovation technologique de produit et l'innovation de procédé. L'innovation de produit concerne l'offre en elle-même alors que l'innovation de procédé désigne une nouvelle façon de fabriquer un produit qui, par ailleurs, peut déjà exister. L'évolution des produits et des procédés a souvent lieu dans le sillage d'une évolution technologique importante (Utterback et Abernathy, 1975; Durand, 1992). Un autre point de vocabulaire mérite d'être ici mentionné : il faut distinguer les notions de technique et de

technologie. La technologie peut, étymologiquement, désigner le discours sur la technique. Le terme de technologie peut aussi désigner – c’est ainsi que nous l’utilisons – une technique documentée, explicitée, formalisée, et basée sur des conclusions scientifiques admises. Par opposition la technique désigne plutôt un tour de main, une pratique, voire un art ou un artisanat (Durand, 1999).

Cette définition et ces précisions donnent une vision des différents aspects que contient une technologie : des connaissances, des procédures, et des artefacts. Néanmoins, cette définition donne une vision statique de la technologie qui est par nature un objet évolutif. Afin de poursuivre l’effort de qualification théorique, nous nous intéressons dans la section suivante à la façon dont évoluent les technologies.

3.2. La vision évolutionniste du changement technologique

L’économie évolutionniste – dont nous tirons la définition proposée dans la section précédente – explore la nature, le fonctionnement, et les conséquences de l’évolution technologique, ainsi que son lien avec la croissance et d’autres éléments de l’analyse économique. La perspective de l’économie évolutionniste dépasse les explications univoques de l’évolution technologique qui est alors vue comme le résultat d’une conjonction de nécessité historique, d’œuvres individuelles, de réponse à la demande, ou encore de chance (Tushman et Anderson, 1986).

Une idée majeure de cette littérature est que les technologies progressent selon un processus évolutionniste. Ainsi, les efforts disparates de développement des technologies sont en concurrence les uns avec les autres, en même temps qu’avec les technologies en place. Comme dans la théorie darwinienne de l’évolution biologique, une sélection naturelle s’opère entre ces efforts de développement technologiques et les entreprises qui les déploient, débouchant sur la sélection de certaines procédures et artefacts technologiques. Cette sélection est l’œuvre de deux principaux mécanismes. D’abord, les personnes et les organisations impliquées dans les efforts de développement technologique font des choix *ex-ante* privilégiant durant le développement des options technologiques (connaissances, procédures, artefacts) sur la base de leurs connaissances. Ensuite, il y a un processus de sélection par essais-erreurs qui consiste en une sélection *ex-post* de différentes variantes développées de procédures et artefacts, typiquement via leur mise en concurrence sur le marché (Dosi et Nelson, 2010). Si la concurrence entre des technologies sur le marché est un puissant levier de sélection, le processus peut aussi être marqué par des « small events » comme une invention technologique

mineure favorisant le développement d'une innovation plus large ou le rôle d'individus se trouvant à une position clé, qui peuvent déterminer la direction (et donc la forme future) que prendra l'évolution d'une technologie, voire un système technologique entier (David et Bunn, 1988; Arthur, 1989; David, 1992).

Ce processus évolutionniste fonctionne de manière cyclique. Il est marqué par des ruptures technologiques, c'est-à-dire des avancées majeures, aux effets importants, survenant peu souvent. Ces ruptures ont des conséquences importantes sur les procédures, les artefacts fabriqués, et les connaissances dans la technologie. La période après l'apparition d'une rupture technologique est une phase de foisonnement durant laquelle les acteurs expérimentent autour de la nouvelle technologie et tentent d'acquérir les compétences nécessaires à sa mise en œuvre. Durant cette période, non seulement la nouvelle technologie est en concurrence avec l'ancienne, mais différentes façons d'exploiter la nouvelle technologie (des produits, des procédés) se concurrencent également entre elles. Cette période de foisonnement aboutit finalement à l'apparition d'un *design* dominant. Ce *design* dominant est ainsi la configuration d'un artefact (un produit ou un service), c'est-à-dire de ses fonctions majeures et de son architecture d'ensemble, vers laquelle convergent la plupart des produits d'un certain type. L'apparition d'un *design* dominant est généralement suivie par l'émergence d'un *process* dominant pour fabriquer et distribuer le *design* dominant (Utterback et Abernathy, 1975). Une fois un *design* et un *process* dominants apparus, une période d'innovation incrémentale sur ce *design* et ce *process* se déroule, jusqu'à rupture technologique suivante (Tushman et Anderson, 1986; Anderson et Tushman, 1990; Tushman et Rosenkopf, 1992; Dosi et Nelson, 2010).

Dans ce cycle apparaît l'idée d'une différence entre les technologies relevant d'évolutions incrémentales (en lien avec un *design* et un *process* dominant), et les technologies relevant d'évolutions radicales ou de rupture, qui correspondent à des renouvellements profonds (Freeman et Perez, 1988). Entre les deux a été proposée la notion d'innovation micro-radical (Durand, 1992). Les ruptures technologiques – ou innovations radicales – ont des implications importantes pour les entreprises et leur stratégie, et potentiellement sur la structure économique d'un secteur. Les ruptures technologiques sont souvent le fait de nouveaux entrants dans une industrie et risquent de bousculer des entreprises installées (Tushman et Anderson, 1986; Durand, 1992; Hill et Rothaermel, 2003; Christensen, 2008; Cozzolino, Verona, et Rothaermel, 2018). Les recherches sur le sujet montrent que les discontinuités peuvent détruire ou améliorer les compétences des entreprises existantes. Lorsque les discontinuités sont introduites par des entreprises existantes, elles renforcent plutôt les compétences de ces entreprises. A l'inverse,

lorsque ces discontinuités sont introduites par de nouvelles entreprises, elles détruisent plutôt les compétences des entreprises en place (Tushman et Anderson, 1986).

3.3. Paradigmes technologiques et trajectoires technologiques

Reprenant une explication évolutionniste de la technologie et de son évolution, Dosi (1982) met en avant l'importance de la connaissance dans les technologies. Dans cette perspective, la connaissance actuelle des acteurs impliqués est essentielle dans les choix de directions technologiques (sur les procédés, les artefacts). En conséquence, la technologie contient en elle-même la « *perception d'un ensemble limité d'alternatives technologiques possibles et de développements futurs envisageables* » (Dosi, 1982: 52). Ceci a un effet sur l'évolution des technologies, dans lequel les développements futurs sont liés à l'état de l'art actuel.

Dans une analogie avec l'idée Kuhnienne de paradigme scientifique, Dosi (1982) propose l'idée de paradigme technologique. Selon Kuhn (1962), la science évolue dans le cadre de paradigmes qui définissent un champ de recherche, des problèmes, et des procédures pour résoudre ces problèmes. L'idée de paradigme technologique de Dosi (1982) met en avant le fait que la technologie, à l'instar de la science, évolue dans le cadre de paradigmes. En d'autres termes, la technologie évolue dans un cadre délimité par les connaissances actuelles. L'idée de paradigme technologique définit ainsi une perspective d'évolution qui comprend des problèmes à résoudre et un modèle d'investigation pour répondre à ces problèmes.

Ici, les connaissances technologiques des organisations sont contenues dans des routines organisationnelles. Le concept de routine désigne des compétences habituelles d'une organisation, c'est-à-dire le répertoire de solutions aux problèmes usuels et les mécanismes de gouvernance permettant de les mettre en œuvre. L'organisation, a appris et maîtrise ces routines qui sont souvent tacites : il est difficile de les expliciter car le collectif les met en œuvre dans les actions, les interactions, la compréhension mutuelle, et les savoirs partagés de ses membres. Des méta-routines sont des routines particulières qui désignent la capacité à faire évoluer le répertoire de solutions usuelles, c'est-à-dire les routines ordinaires (Nelson et Winter, 1982; Dosi et Nelson, 2010).

Les perspectives d'évolution envisageables qui découlent des routines définissent la direction d'évolution des technologies : les trajectoires technologiques. Ces dernières se définissent par le cadrage des évolutions attendues, et l'exclusion des possibilités en dehors du paradigme. Plus précisément, un paradigme se compose des choix effectués concernant la tâche que la

technologie accompli, le moyen matériel sélectionné, les propriétés physico-chimiques exploitées, et les dimensions technologiques et économiques centrales (et donc les compromis nécessaires entre ces différentes dimensions). C'est le long de ces éléments que se définit alors l'idée de progrès. Les paradigmes technologiques sont ainsi contenus dans un certain nombre de connaissances générales largement partagées. Ces connaissances concernent notamment les fonctions majeures et l'architecture d'ensemble des procédures utilisées et des artefacts qui fonctionnent dans le cadre du paradigme (Dosi, 1982). Au sein de ces paradigmes, les trajectoires d'évolution suivent des heuristiques spécifiques de résolution des problèmes. Chaque heuristique spécifique implique des modes de recherche et d'apprentissages propres, qui nécessitent des moyens de créations et d'accès aux opportunités technologiques, ainsi que les formes organisationnelles adaptées (Dosi, 1988). Il résulte de la mise en œuvre de ces connaissances communes une convergence dans le *design* des artefacts produits qui donne lieu à l'émergence d'un *design* dominant puis d'un *process* dominant, qui donne corps à la trajectoire technologique.

En d'autres termes, dans une vision analogue au cycle décrit dans la section précédente, les combinaisons possibles de problèmes à résoudre, de procédures de résolution, et de forme de solutions proposées, constituent des paradigmes technologiques. Lorsqu'un paradigme technologique s'impose autour d'un *design* et d'un *process* qui deviennent dominants, c'est autour de ce paradigme que sont faits les efforts de développement, ce qui donne lieu à une évolution des technologies dans des trajectoires technologiques (Dosi, 1982 ; Dosi & Nelson 2010). Cette vision d'une évolution marquée par un paradigme, à un moment donné de l'histoire technologique, qui définit une trajectoire d'évolution normale se retrouve dans d'autres travaux publiés à cette époque, sous des termes tels que « régimes technologiques » (Nelson et Winter, 1977) ou « paradigme technoéconomique » (Freeman, Clark, et Soete, 1982).

L'approche par les paradigmes technologiques met en avant la connaissance actuelle dans l'évolution des technologies. En dépit de cette importance des connaissances, l'évolution technologique ne suit pas mécaniquement celle de la connaissance scientifique. Les paradigmes technologiques co-évoluent avec le progrès scientifique, mais d'autres facteurs entrent en jeu (Nightingale, 1998). Les technologies et les paradigmes technologiques se développent sous l'influence de facteurs scientifiques, mais également de facteurs économiques, institutionnels, et technologiques (mais non scientifiques) (Dosi, 1982). D'autres auteurs mettent en avant des facteurs sociaux, politiques, et organisationnels (Tushman et Rosenkopf, 1992) ou encore cognitifs (Augier et Teece, 2015) qui se rapprochent de l'idée de l'importance des

connaissances actuelles au cœur de la notion de paradigme technologique. Nous revenons sur ces différents facteurs dans la section qui suit.

3.4. Facteurs d'évolution des trajectoires technologiques

3.4.1. Les cadres technologiques organisationnels et inter-organisationnels

L'idée de paradigme décrite dans la section précédente met en avant le rôle structurant du facteur cognitif (individuel et collectif) dans l'évolution technologique. Elle se base néanmoins essentiellement sur les acteurs dont le rôle est de faire évoluer cette technologie. Approfondissant cette approche afin de comprendre les mécanismes de l'évolution des technologies dans les organisations, Orlikowski et Gash (1994) proposent le concept de « cadre technologique ». En étudiant l'implantation d'une technologie logicielle dans une organisation, les auteurs montrent comment la compréhension que les membres d'une organisation ont d'une technique influence l'usage qu'ils en font. Le cadre technologique relève du Sensemaking au sens de Weick (1990), c'est-à-dire du processus cognitif par lequel les individus construisent une interprétation du réel. Les auteurs posent la notion de cadres cognitifs comme « *la façon dont les membres d'une organisation attribuent un sens et une signification à leur environnement, leur organisation, et leurs tâches* » (Orlikowski & Gash, 1994: 176) et expliquent que ces cadres peuvent être partagés, car ils se construisent notamment sous l'influence de l'appartenance des individus à une entité organisationnelle. Les cadres technologiques, qui sont un type de cadres cognitifs particuliers, désignent la compréhension, les usages identifiés, et les attentes qui découlent d'une technologie. Ces cadres technologiques ont des implications sur le développement, la mise en œuvre et l'usage des technologies. Au-delà du cadre de ceux qui développent la technologie, cette approche met en avant l'importance de l'usage et de l'interprétation des usagers de la technologie et place cette compréhension de la technologie au niveau à la fois individuel et collectif (Orlikowski et Gash, 1994).

Les cadres cognitifs d'individus variés peuvent également influencer une trajectoire technologique. Les dirigeants jouent un rôle clé dans l'intensité des efforts de développements technologiques d'une entreprise (Kaplan, 2008). Du côté des usages, les préférences des clients (d'une technologie) peuvent influencer sa trajectoire d'évolution (Tripsas, 2008). Ces influences individuelles (cognitive) d'origines variées peuvent être vues comme la source d'existence des cadres technologiques partagés au niveau de champs scientifiques, de secteurs d'activités, et de différentes sphères industrielles (Garud et Rappa, 1994; Nightingale, 1998;

Augier et Teece, 2015). Les cadres cognitifs de compréhension de la technologie sont ainsi également collectifs.

Kaplan et Tripsas (2008) proposent un modèle expliquant le lien entre ces cadres cognitifs collectifs et les trajectoires technologiques. Les auteurs mettent en avant l'existence d'un cadre technologique collectif (inter-organisationnel) créé par les interactions entre acteurs (organisations) impliqués (producteurs, usagers, et acteurs institutionnels). Ces cadres technologiques inter-organisationnels influencent en retour les cadres des organisations en leur permettant d'élaborer leur compréhension de la technologie. Finalement, les cadres des organisations conditionnent leurs décisions (pour développer, adopter, ou soutenir et réguler le développement des technologies) qui influencent les trajectoires technologiques. Les trajectoires technologiques sont donc infléchies directement par les cadres technologiques des organisations et indirectement par les cadres inter-organisationnels. Il faut également noter que dans le modèle, les cadres technologiques des organisations et (par leurs intermédiaires) inter-organisationnel, sont également déterminés par l'état de la technologie, ce qu'elle permet et ses contraintes (Kaplan et Tripsas, 2008). Si cette affirmation est intuitive, elle n'en demeure pas moins essentielle car elle met en avant la coévolution des trajectoires technologiques et des cadres technologiques. Cette approche met en lumière le rôle majeur des interactions entre différentes organisations dans la constitution d'un cadre technologique partagé qui en retour influence l'évolution technologique. Par ailleurs, tout comme d'autres approches avant elle (par exemple Dosi, (1982)), la distinction entre les trois types d'acteurs aux logiques potentiellement différentes – producteurs, usagers, et acteurs institutionnels – offre une vision complète ne se limitant seulement au producteur ou à l'utilisateur. Toutefois, comme le notent les auteurs, la nature des interactions entre les différentes organisations qui créent un cadre technologique collectif est peu détaillée dans cette recherche, comme dans l'ensemble des travaux sur le changement technologique (Kaplan et Tripsas, 2008).

Dans la même veine, Tushman et Rosenkopf (1992) proposent également un modèle du changement technique dans une perspective qu'ils qualifient d'organisationnelle. Les auteurs décrivent des dynamiques sociales, politiques, et organisationnelles qui influencent les trajectoires d'évolution technologique. Parmi ces éléments organisationnels, les auteurs comptent des comportements de collusion, de négociation, et de coalition d'acteurs durant une phase de foisonnement des trajectoires technologiques, afin de faire s'imposer un *design* dominant qui leur est favorable, notamment car ils le vendent. Ici, l'établissement d'un *design* dominant et/ou d'un *process* peut passer par un processus inter-organisationnel et formalisé de

normalisation/standardisation (à ce sujet, voir par exemple Mione (2006)), par des décisions issues d'autorités publiques, par un accord (hors processus de normalisation) entre des acteurs du secteur, ou encore par le pouvoir de marché d'un acteur spécifique. Dans ces différents cas, les directions technologiques choisies peuvent l'être parce que poussées par des stratégies d'acteurs souvent collectives, plutôt que du fait d'une supériorité technologique. En se basant sur de nombreux cas décrits dans la littérature, cette recherche défend l'idée que plus les technologies sont des assemblages complexes d'éléments divers, plus l'influence d'éléments « organisationnels » est importante. Par ailleurs, dans les systèmes impliquant plusieurs sous-systèmes technologiques, l'optimum technique pour gérer les interfaces entre les sous-systèmes est rarement clair, les choix techniques de gestion des interfaces entre plusieurs sous-systèmes sont ainsi souvent largement influencés par ces dynamiques sociales, politiques, et organisationnelles. A l'inverse, il est souvent plus simple de déterminer la meilleure solution technique quand il s'agit de technologie simple ne comportant pas ou peu de sous-systèmes. L'influence des facteurs non techniques est alors moindre (Tushman et Rosenkopf, 1992).

Toujours du point de vue inter-organisationnel, Latour (1992) revient sur les controverses et les négociations entre différentes visions au sein d'un projet technique. Il met en exergue la façon dont les différents acteurs organisationnels négocient pour arriver à une vision stabilisée de la forme finale qu'aura la technique à l'issue de son développement. Latour écrit dans son introduction : « *Aux techniciens, j'ai voulu montrer qu'ils ne pouvaient pas même concevoir un objet technique sans prendre en compte la foule des humains, de leurs passions, leur politique, leurs pauvres calculs (...)* ». En se fondant sur l'étude d'un projet technique ayant échoué, il défend l'idée que la prise en compte insuffisante des aspects humains et sociaux ainsi que des différences de vision entre les organisations membres du projet ont conduit à son échec. Nous notons que les dynamiques sont vues comme existantes au sein de réseaux qui sont des collectifs constitués autour d'une technologie et dans lesquels peuvent exister des controverses. Ainsi, chez Latour les controverses n'ont pas lieu entre groupes sociaux mais au sein d'un réseau, et plus précisément du réseau constitué autour du projet technique.

Les cadres cognitifs au travers desquels les acteurs donnent, individuellement et surtout collectivement, sens aux technologies influencent donc les trajectoires technologiques, et sont également influencés par ces dernières. Par ailleurs, les dynamiques et négociations inter-organisationnelles pour l'établissement d'une solution technologique ou au sein de projets techniques ont ainsi un rôle clé dans les trajectoires d'évolution technologiques. D'autres

dynamiques collectives et non directement techniques jouent un rôle important dans les trajectoires technologiques.

3.4.2. Facteurs sociaux et économiques influençant l'évolution technique.

A un niveau plus macroscopique, l'approche sociotechnique insiste sur les interactions entre la technologie et l'évolution des sociétés (Flichy, 2003). Une approche majeure de cette compréhension des techniques et du social comme interagissant a été nommée « construction sociale des technologies » (Pinch et Bijker, 1984). Cette approche met en avant les facteurs sociaux à l'œuvre dans les avancées techniques. L'idée principale de cette approche est que les caractéristiques de l'artefact technique sont notamment les fruits de l'environnement social. Le processus de variation-sélection entre plusieurs directions matérielles possibles est directement lié aux différents problèmes que rencontrent les différents groupes sociaux concernés par une technique nouvelle (groupes d'utilisateurs par exemple). Selon les problèmes qu'il rencontre, chaque groupe social identifie des solutions techniques qui sont autant d'interprétations de l'artefact technique. Ces solutions, contradictoires entre elles, donnent lieu à plusieurs *designs* d'une même technologie selon les problèmes mis en avant par les groupes sociaux et les solutions qui y sont apportées. On notera la différence ténue entre une perspective inter-organisationnelle et une perspective sociologique centrée sur les groupes sociaux.

Si les influences des groupes sociaux sont essentielles, on peut voir dans la demande une de leurs manifestations. Les efforts des entreprises pour développer une technologie dépendent de leur perception de la demande, et d'autres variables économiques. Ce lien entre variables économiques et évolution des trajectoires technologiques passe par trois mécanismes. D'abord, au sein d'un même paradigme technologique, un changement de prix, de demande, ou de conditions d'approvisionnement peut orienter la recherche dans une direction ou une autre. Ces variables peuvent ensuite faire varier les choix d'allocation des ressources aux efforts de développement technologique entre différents paradigmes. Finalement, au-delà de cette allocation de ressources, ces variables économiques ont un effet sur leur adoption. En effet, dans une perspective économique, les efforts de développement étant égaux par ailleurs, l'adoption d'une nouvelle technologie par l'utilisateur dépendra *in fine* d'un rapport coût/bénéfice (bénéfice peut ici être pris au sens large d'utilité), en comparaison avec les autres technologies déjà utilisées (Dosi et Nelson, 2010: 74). Les conditions économiques influencent donc l'évolution technologique. Mais la réciproque est également vraie. En effet, dans leur modélisation des processus d'innovation, Kline et Rosenberg (1986) ont mis en avant il y a plus

de 30 ans cette réciprocité de l'influence entre l'évolution technologique et les conditions de marché, notamment la demande. Ainsi, le débat sur les rôles de la demande (*demand-pull*) et de l'offre (*techno-push*) dans les trajectoires d'innovations (Mowery et Rosenberg, 1979) a abouti à la reconnaissance de la complémentarité des deux facteurs dans l'évolution de la trajectoire technologique. Plus précisément, un processus en deux phases apparaît. Dans un premier temps, la trajectoire technologique est poussée par des facteurs technologiques (*techno-push*) avant que, dans un second temps, la demande fasse évoluer la trajectoire en adaptant la technologie aux besoins des usagers (*demand pull*) (Di Stefano, Gambardella, et Verona, 2012).

D'un point de vue plus institutionnel, plusieurs auteurs ont développé la notion de systèmes nationaux d'innovation (SNI) à partir des années 1980 (par exemple : Freeman, 1987; Nelson, 1993). Les SNI désignent un ensemble d'acteurs en interaction dans le processus d'innovation technologique : les producteurs de sous-systèmes et de systèmes technologiques et les entreprises en amont et en aval de celles-ci (dont notamment les laboratoires de recherche et développement de ces entreprises), les universités, les associations industrielles et les gouvernements (Nelson, 1993). Cet ensemble d'acteurs forme les éléments clés du système faisant advenir l'évolution technologique. Envisager cet ensemble d'acteurs comme un système signifie que les rôles qui leur sont dédiés et leurs interactions sont essentiels pour expliquer comment fonctionne le processus d'innovation technologique, et donc comment évolue la technologie. Cette perspective soulignant la dimension systémique a donné lieu à de nombreux développements.

Adoptant une perspective plus macroscopique que les niveaux individuel, organisationnel, et inter-organisationnel, des perspectives sociologiques, économiques, et institutionnelles mettent en avant des variables qui font évoluer la technologie (enjeux des différents groupes sociaux, ressources économiques, demande, SNI). Comme pour les cadres organisationnels et inter-organisationnels, il y a coévolution entre les variables socio-économiques et l'évolution technologique.

Le tableau 3 ci-dessous propose une synthèse des différents facteurs d'évolution technologique présentés dans les deux sous-sections précédentes (3.4.1 et 3.4.2).

Tableau 3 : Synthèse des sous-sections 3.4.1 et 3.4.2 sur l'évolution technologique

Niveaux d'analyse	Facteurs et mécanismes influençant l'évolution technologique
-------------------	--

Niveaux individuel et organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> - Rôle des dirigeants (Kaplan, 2008) - Rôle des clients (Tripsas, 2008) - Cadres cognitifs technologiques des usagers au sein des organisations (Orlikowski et Gash, 1994) - Interactions entre cadres cognitifs individuels et collectifs (Garud et Rappa, 1994; Augier et Teece, 2015)
Niveaux organisationnel et inter-organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> - Interactions entre cadres technologiques des organisations, cadres partagés au niveau inter-organisationnels et trajectoires technologiques (Kaplan et Tripsas, 2008) - Cadres technologiques sectoriels (Garud et Rappa, 1994; Augier et Teece, 2015) - Traditions technologiques (Nightingale, 1998) - Dynamiques sociales, politiques, et organisationnelles influençant les trajectoires d'évolution technologique (Tushman et Rosenkopf, 1992) - Négociations entre différentes visions au sein d'un projet technique influençant son résultat (Latour, 1992)
Niveaux social, économique, systémique	<ul style="list-style-type: none"> - Facteurs sociaux et préférence des groupes sociaux (Pinch et Bijker, 1984) - Demande de marché (Dosi et Nelson, 2010) - Influence réciproque entre l'évolution technologique et les conditions de marché (Mowery et Rosenberg, 1979; Kline et Rosenberg, 1986; Di Stefano <i>et al.</i>, 2012) - Systèmes nationaux d'innovation : producteurs, usagers, universités, associations industrielles, et pouvoirs publics (Freeman, 1987; Nelson, 1993)

3.4.3. Les interactions entre niveaux de l'évolution technologique

Si les facteurs de l'évolution technologique mettent souvent l'accent sur un niveau d'analyse spécifique, les approches dont nous avons traité dans les sections (2.2.2.1 à 2.2.2.3) se situent à différents niveaux : au niveau de l'acteur, des collectifs et organisations, au niveau inter-organisationnels, et aux niveaux plus macroscopiques du social, de l'économique, et de l'institutionnel.

Geels (2002) suggère un modèle multi-niveaux (avec trois niveaux) du processus de transition technologique, en se fondant sur l'approche sociotechnique et l'approche évolutionniste. Le « niveau macro » est le paysage sociotechnique, il correspond au contexte structurel profond dans lequel a lieu l'évolution technologique, il est composé de facteurs variés, extérieurs à la technique, aussi bien économiques (ex. croissance) que politiques (ex. guerre), ou encore socio-culturels (ex. valeurs). Le « niveau méso », appelé régime sociotechnique (ou paradigme selon

les termes utilisés section 3.3), est l'ensemble de règles portées par l'interaction entre différents groupes d'acteurs parties prenantes agissant sur une technologie. Finalement, le « niveau micro » est celui des « niches ». Il s'agit de marchés spécifiques dans lesquels les règles et les critères classiques de performance ne s'appliquent pas et qui sont donc les contextes parfaits pour le développement d'innovations radicales (contrairement aux innovations incrémentales plus souvent générées au sein du régime sociotechnique en vigueur). Par exemple, aux débuts du commerce maritime, la domination de l'Empire britannique impliquait pour ce dernier des marchés « garantis ». Par ailleurs, le système d'impôts de l'empire taxait les bateaux en fonction de leur voilure et non leur contenance. Ces deux éléments du paysage sociotechnique et du régime sociotechnique poussèrent au développement de grands bateaux à voile peu rapides, mais de grande capacité. A cette époque, les navigateurs américains étant été interdit d'accès aux ports et marchés de l'Empire britannique après la guerre d'indépendance, se tournèrent vers la Chine et des commerces de petits volumes, mais à fortes marges (l'opium et la soie). Les navigateurs américains devinrent alors concurrents des Indes britanniques et devaient pouvoir échapper, en mer, aux navires de la marine britannique. C'est dans ce contexte qu'apparut un marché de niche, où les critères de performance classiques des navires (la contenance) ne s'appliquaient pas, mais où d'autres critères (la vitesse) étaient plus importants. Ce marché de niche fut un contexte idéal pour le développement bateaux à vapeur plus petits mais plus rapide. Il fut le contexte idéal pour développer la technologie du bateau à vapeur, qui devint finalement la technologie dominante. Cette idée du marché de niche permettant le développement de technologies moins performantes selon les critères classiques correspond à ce que décrit Christensen dans le processus d'évolution des « *Disruptive Technology* » (Christensen, 2008).

Les innovations technologiques radicales porteuses de changement de régime profitent donc des niches qui agissent comme des incubateurs (Schot, 1998 cité par Geels (2002). Cette interaction entre le niveau des niches et celui des régimes sociotechniques est donc ce qui permet à une technologie de partir d'une niche pour faire évoluer pas à pas les différentes parties prenantes du régime sociotechnique. L'idée est que cette interaction est nécessaire car les régimes sociotechniques comprenant plusieurs acteurs sont vecteurs d'inertie. En effet, la participation de différents acteurs implique qu'un changement chez un acteur rend nécessaire le changement chez d'autres acteurs. Le changement est alors systémique et en conséquence plus complexe.

Geels (2002) repart ainsi de l'idée contenue dans les différentes approches que nous avons présentées dans les sections précédentes (3.4.1 et 3.4.2), c'est-à-dire que le processus de

changement de régime sociotechnique (ou de paradigme) implique des parties prenantes variées : les institutions de recherche, les producteurs, les usagers, les autorités publiques, les fournisseurs en amont, les financeurs et les groupes sociaux (Geels, 2002: 1260). Si différents acteurs impliqués sont bien identifiés, les enjeux de chaque acteur et leurs relations demeurent absentes du travail de l'auteur qui reconnaît que « la perspective conceptuelle et l'étude de cas ont été décrites à un niveau agrégé et abstrait, sans en dire beaucoup à propos des (interactions entre les) acteurs » (Geels, 2002: 1273).

Synthèse du chapitre 3 : un processus évolutionniste et cyclique, influencé par des logiques d'acteurs

Ce chapitre 3 sur la technologie et l'évolution technologique nous a permis de présenter les éléments structurants de l'approche évolutionniste du changement technique (section 3.1) et la notion connexe de paradigme et de trajectoire technologique (section 3.2). Ce sont les perspectives d'ensemble dans lesquelles nous plaçons ce travail de thèse. Ces perspectives font émerger un sujet majeur, celui des compétences (technologiques) organisationnelles, comme présentées par l'approche évolutionniste du changement technologique (Dosi, 1982; Dosi et Nelson, 2010). Ce sujet sera discuté en détail dans le chapitre suivant. Ces développements théoriques offrent des éléments permettant de structurer l'analyse de notre objet d'étude. Dans quelle phase du cycle de l'évolution technologique est la FA ? Sommes-nous face à un nouveau paradigme technologique ? Et si oui que peut-on en dire ? Quelles sont les compétences nécessaires aux organisations afin de s'inscrire dans ce paradigme ? Qui détient ces compétences et comment les obtenir ? Ce sont autant de questions qui peuvent guider notre questionnement sur la fabrication additive et, ce faisant, nous permettre d'apporter des contributions théoriques sur la base du phénomène technologique qui nous intéresse.

Ensuite, la mise en avant des facteurs d'évolution de la technologie (section 3.4) a permis d'identifier des facteurs individuels, organisationnels, inter-organisationnels, sociaux, économiques, et institutionnels qui influencent l'évolution technologique. Cette perspective multi-facteurs est complétée par l'approche multi-niveaux présentée dans la sous-section (3.4.2), qui montre que si les différents facteurs sont stables au niveau d'un paradigme établi (niveau méso), des transformations peuvent avoir lieu au niveau de niches (niveau infra) pour ensuite remonter vers le niveau méso, puis vers le niveau du paysage sociotechnique (niveau macro). La mise en avant des facteurs et de leurs interactions à différents niveaux est soutenue par la participation de multiples acteurs dans le processus d'évolution technologique.

Ainsi, dans la perspective d'évolution technologique cyclique, et marquée par des trajectoires explorant des paradigmes (qui les contraignent et les rendent possibles à la fois), l'influence de différents types d'acteurs organisationnels et de leurs relations est bien identifiée. Si certains travaux analysent en détail ces interactions (l'approche sociologique et inter-organisationnelle de Latour (1992)), la nature de ces interactions demeure implicite dans bon nombre de travaux relevant des approches évolutionnistes et sociotechniques du changement technologique (le cadrage cognitif collectif des technologies de Kaplan et Tripsas (2008) ou l'approche multi-niveaux de Geels (2002)). La recherche sur le management stratégique des technologies apporte des éclairages de ce point de vue-là ; elle fait l'objet du chapitre suivant.

4. Approches de la technologie en management stratégique

4.1. Premières approches

L'innovation technologique conditionne la vie des entreprises. Reconnue comme une variable centrale du système économique depuis les travaux de Schumpeter, la recherche en stratégie en traite également de longue date. Burgelman *et al.* (2004) datent la reconnaissance de « la technologie comme un élément important de la définition d'un business et de la stratégie concurrentielle » dans les années 1980. Depuis, la recherche en stratégie a proposé un certain nombre d'approches pour construire un avantage comparatif dans un contexte d'évolution des technologies, et notamment d'évolutions radicales, consistant à les convertir en innovations dont l'entreprise pourra créer et capter une valeur économique.

Porter (1985) identifie la technologie et le changement technologique comme « un des principaux ressorts de la concurrence » et il propose un cadre pour faire face aux situations d'innovation technique se fondant sur les éléments clés de son approche construite sur l'économie industrielle. Porter insiste notamment sur l'importance de l'effet du changement technologique sur la structure de l'industrie, la chaîne de valeur, et l'avantage concurrentiel. Le changement technologique atteint toutes les étapes de la chaîne de valeur et un changement à un stade de cette chaîne de valeur peut impliquer un changement aux autres niveaux, en interne mais également en externe. Les différentes étapes de la chaîne doivent ainsi s'adapter les unes aux autres, ce qui implique notamment une adaptation avec les fournisseurs et les clients (Porter, 1985). Au-delà des éléments habituels du cadre d'analyse Porterien, la réflexion sur le lien entre évolution technologique et management stratégique met également en avant l'importance de la R&D. Sur cet aspect, l'auteur écrit « *Les leaders technologiques qui réussissent portent une attention importante à leur stock de compétences R&D* » (Porter, 1985: 67), puis, dans sa proposition d'une approche par étapes, qu'il faut « *Evaluer les compétences relatives de la firme sur les technologies importantes et le coût de la mise en œuvre d'améliorations* » (p. 78). Ces courtes citations ont l'intérêt de faire apparaître chez Porter, l'enjeu stratégique des ressources et compétences et de leur évolution, bien qu'il ne les mentionne que brièvement et qu'il lui ait été reproché de trop peu prendre en compte (voir par

exemple Barney, 1991). On peut ainsi retenir que Porter, qui omet largement le sujet des ressources et compétences dans ses travaux, le mentionne lorsqu'il est question de stratégies technologiques, montrant ainsi à quel point c'est un sujet clé dans ce contexte.

En effet, le sujet du changement technologique rend essentielle la prise en compte des compétences organisationnelles, comme l'illustre l'importance de la variable technologique dans l'approche par les ressources et compétences (RBV) qui émerge dans les années 1980. C'est ainsi que Wernerfelt (1984) tout comme Teece (1984) identifient les compétences technologiques comme le premier type de ressources qui nécessitent une approche théorique spécifique. L'approche évolutionniste du changement technologique montre également cela. Elle indique que dans un environnement marqué par l'évolution technologique et en l'absence de stratégie optimale stable, les entreprises doivent être comprises comme essentiellement caractérisées par leurs compétences contenues dans des routines, à la fois influencées par et influençant les orientations stratégiques ; dans ce contexte, l'avantage concurrentiel est largement défini par la connaissance et les compétences organisationnelles distinctives (Dosi et Winter, 2010). Bien avant cela, Penrose notait déjà « *[qu'] une position de force sur un marché sans compétences technologiques est aussi précaire qu'une compétence technologique forte [associée à] de faibles capacités de vente. De plus, lorsque la force d'une entreprise n'est pas liée à une force technologique, mais repose essentiellement sur une position dominante sur des marchés importants, il est plus difficile pour l'entreprise de se déplacer vers une spécialisation complètement nouvelle* » (Penrose, 1959: 104). Penrose qui présente l'entreprise comme un ensemble de ressources mises en œuvre pour vendre des produits et services identifie ici clairement les compétences technologiques comme une ressource essentielle. De plus, elle identifie que ces ressources sont complémentaires aux compétences commerciales, et qu'elles sont essentielles pour diversifier l'activité d'une entreprise. En plus de mettre en avant l'importance des ressources et compétences, Penrose élabore des réflexions annonçant déjà les principes qui seront à la base de deux approches aujourd'hui essentielles en management stratégique : l'approche par les capacités dynamiques qui insiste sur l'importance du caractère dynamique des compétences afin de les adapter à un « environnement de changement technologique rapide » (Teece *et al.*, 1997), et l'approche par la complémentarité des actifs qui met en avant le besoin de compétences de commercialisation pour tirer profit d'une innovation technologique (Teece, 1986). Nous revenons sur ces approches essentielles dans la section 4.2.

Un passage par quelques-unes des premières approches sur le management stratégique du changement technologique fait, à ce stade, émerger trois conclusions d'étape. D'abord, le

caractère hautement stratégique de l'innovation technologique est avéré. Ensuite, l'approche par les compétences est centrale pour traiter de la question. Une littérature extensive illustre cette importance et les développements autour de l'entreprise comme un ensemble de ressources sont anciens. Finalement, les innovations technologiques ont des implications importantes sur les relations inter-firmes, au travers de la chaîne de valeur et de l'accès aux ressources complémentaires. Les conclusions ici soulignées convergent avec des éléments mis en exergue concernant la fabrication additive dans la section 2.3 (sous-sections 2.3.5). Nous revenons sur ces aspects dans les sections qui suivent (4.2 et 4.3).

4.2. Actifs complémentaires et capacités dynamiques

Dans cette section, nous procédons à une revue de la littérature en management stratégique dédiée aux stratégies en contexte de changement technologique important, et dans lesquels les compétences et les relations inter-firmes jouent un rôle clé.

4.2.1. Eléments de base du cadre des capacités dynamiques

L'approche par les ressources et compétences (*Resource Based View, RBV*) en stratégie est essentielle pour comprendre l'avantage concurrentiel, notamment dans les activités où la composante technologique est importante (Teece, 1984; Wernerfelt, 1984). Néanmoins, l'approche traditionnelle par les ressources et compétences est statique, elle postule que des ressources distinctives permettent d'obtenir un avantage concurrentiel durable. Or, comme l'illustre l'évolution technologique, l'environnement technico-économique est instable et les compétences doivent y être adaptées pour procurer un avantage concurrentiel à l'entreprise. C'est sur la base de ce postulat qu'émerge le courant des capacités dynamiques (Teece et Pisano, 1994).

Dès son apparition, le courant des capacités dynamiques en management stratégique est lié à la question de l'innovation technologique. Dans les secteurs à forte intensité technologique, avoir des ressources et compétences ne suffit pas. Il faut être capable d'innover, de coordonner et redéployer les compétences internes et externes pour s'adapter au changement (Teece et Pisano, 1994), voire pour le façonner à son avantage. Cette perspective de l'adaptation au changement est centrale dans l'approche par les capacités dynamiques. Eisenhardt & Martin (2000) utilisent le terme de « *high velocity market* » (p.1105) pour expliquer pourquoi l'approche par les ressources a besoin d'être complétée par les capacités dynamiques quand la technologie change rapidement. Le courant des capacités dynamiques offre une perspective riche pour comprendre

comment les entreprises s'adaptent au changement technologique (Teece et Pisano, 1994; Teece *et al.*, 1997; Helfat *et al.*, 2007; Teece, 2007). A nouveau, cette aptitude à s'adapter est déjà présente chez Penrose (1959: 70) qui précise « *J'ai mis l'accent sur l'importance des ressources avec lesquelles une entreprise travaille et sur le développement de l'expérience et de la connaissance du personnel d'une entreprise, car ce sont ces facteurs qui vont dans une large mesure déterminer la réponse de l'entreprise à des changements dans le monde extérieur* ».

Teece *et al.* (1997: 516) expliquent que la perspective qu'ils proposent est adaptée à un environnement de changement technologique rapide. Ils définissent les capacités dynamiques comme l'« *aptitude à intégrer, construire, et reconfigurer des compétences internes et externes en réponse aux environnements en rapide évolution* ».

Avant de rentrer plus en détail dans le cadre des capacités dynamiques, quelques éléments de terminologie. Chez Teece (1997: 516), les *ressources* sont des « *actifs spécifiques* à l'entreprise qu'il est difficile ou impossible d'imiter. Les secrets d'affaires, certaines infrastructures de production spécialisées, l'expérience des ingénieurs par exemple ». Ces actifs spécifiques se différencient des facteurs de production ordinaires, car ils sont distinctifs au sens de la RBV (« *rare, non imitables, non substituables* »). Par ailleurs, les *routines/compétences organisationnelles* sont les activités distinctives qui sont accomplies par l'entreprise grâce à des assemblages d'actifs spécifiques transversaux aux individus et aux groupes. « *Il peut s'agir de compétences en termes de qualité, de miniaturisation, d'intégration de systèmes. Classiquement, ces compétences peuvent être déployées au travers de différentes lignes de produits, et peuvent s'étendre en dehors de l'entreprise, incluant les partenaires d'une alliance* » (Teece *et al.*, 1997: 516).

Dans les premières approches des capacités dynamiques, trois éléments sont mis en avant : les processus organisationnels, le positionnement, et la trajectoire de l'entreprise (Teece et Pisano, 1994; Teece *et al.*, 1997).

Pour Teece qui se place ici dans la perspective de la RBV, les ressources et compétences stratégiques sont les compétences distinctives, « *elles doivent être construites car elles ne peuvent être achetées* » (Teece *et al.*, 1997: 518). Les processus organisationnels comprennent la coordination/intégration, l'apprentissage, et la reconfiguration des compétences. Les processus de coordination/intégration des compétences de l'entreprise consistent à mettre en

œuvre les différentes activités dans un système à la fois efficace et cohérent pour en faire des compétences distinctives. Il peut s'agir de l'ensemble des activités qui vont de la conception à la vente d'un nouveau produit. Ainsi une des activités seule n'est que peu distinctive, mais c'est l'architecture intégrant ces différentes activités qui donne à l'entreprise une compétence distinctive. L'apprentissage est « le processus par lequel la répétition et l'expérimentation permettent d'accomplir les tâches mieux et plus vite » (Teece *et al.*, 1997: 520). L'apprentissage est à la fois individuel et collectif. La reconfiguration (et transformation) des compétences consiste à réaliser les transformations internes et externes de l'organisation pour s'adapter aux changements de l'environnement.

La position de l'entreprise désigne les actifs spécifiques (ressources distinctives) dont dispose l'entreprise à un moment T. Il s'agit des actifs technologiques, des actifs qui leur sont complémentaires et qui se situent typiquement en aval pour la commercialisation, par exemple, de la réputation, des actifs structurels qui désignent l'organisation de l'entreprise et ses relations à l'extérieur, des actifs institutionnels permettant de gérer les relations avec les institutions publiques et/ou de recherche et d'enseignement, des actifs de marchés tels que le positionnement des produits ou les parts de marchés, et finalement des frontières de l'organisation, c'est-à-dire le degré d'intégration.

Les trajectoires désignent les options (par exemple technologiques) possibles qui sont limitées par la trajectoire passée de l'entreprise et sa position. Ainsi, l'avenir des entreprises est contraint par une certaine dépendance de sentier. Les situations de rendements croissants permises par exemple par les effets d'apprentissage poussent l'entreprise à faire évoluer ses produits à proximité de ce qu'elle fait déjà. Au-delà de cette dépendance de sentier, les trajectoires sont définies par les opportunités technologiques existantes.

De manière synthétique, l'idée de Teece est que les compétences de l'entreprise reposent sur des processus qui sont contraints par sa position du moment en termes d'actifs spécifiques et sa trajectoire passée et présente. Dans ce cadre, les capacités de réplification des compétences de l'entreprise (sur un autre marché par exemple) et d'imitation des compétences de ses concurrents sont essentielles. La réplification et l'imitation sont néanmoins difficiles, car les compétences distinctives reposent souvent sur des routines tacites (Teece *et al.*, 1997).

4.2.2. Nature et microfondations des capacités dynamiques

Dix ans après avoir posé les bases du cadre théorique des capacités dynamiques en reprenant notamment des développements plus anciens (1997: 510), Teece (2007) approfondit sa définition en proposant un cadrage complémentaire, plus fin, qui détaille la nature et les microfondations des capacités dynamiques.

Afin de présenter analytiquement ce qui compose son cadre explicatif de l'avantage concurrentiel, Teece distingue les capacités dynamiques et leurs microfondations, c'est-à-dire les savoir-faire, les processus, les procédures, les systèmes, les structures, et les règles de la prise de décisions qui les sous-tendent.

Teece (2007) propose ensuite une distinction entre trois grands types de capacités dynamiques, « *sensing, seizing, reconfiguring* » : la détection et le façonnage des opportunités (et des menaces), la capacité à saisir les opportunités, et la capacité à transformer (améliorer, combiner, protéger, et reconfigurer) les compétences de l'entreprise (Teece, 2007 : 1320). Cette distinction analytique permet à Teece de détailler un certain nombre de microfondations de chacun de ces trois types de capacité dynamique. L'exercice consiste alors en un effort d'intégration d'un grand nombre de résultats issus de la recherche en management stratégique et de l'innovation au sein du cadre analytique composé des trois types de capacités dynamiques. Nous détaillons ci-dessous les microfondations identifiées de chacune de ces capacités.

Sensing : la détection et le façonnage des opportunités (et des menaces) reposent sur un système d'analyse (collectif et individuel) permettant à l'organisation de les apprendre, les percevoir, les filtrer, les façonner, et les calibrer. Les microfondations permettant cela relèvent des processus de R&D internes et de sélection de nouvelles technologies, des processus permettant d'exploiter les innovations venant des fournisseurs et des entreprises fournissant des produits/services complémentaires, des processus permettant d'exploiter les développements scientifiques et technologiques exogènes, des processus marketing pour identifier et cibler des segments de marchés, des nouveaux besoins, et des innovations issues des clients.

Seizing : la capacité à saisir les opportunités repose sur les structures et les procédures organisationnelles permettant de saisir les opportunités. Les microfondations à l'œuvre sont les structures et procédures permettant de : définir l'offre et le modèle d'affaires, prendre les bonnes décisions, définir et gérer les compléments (les compétences et offres complémentaires à celles de l'entreprise), les systèmes (« plateformes ») d'intégration, et les relations avec les

entreprises concernées. Enfin, ces structures et procédures doivent soutenir la capacité de « leadership » pour favoriser la loyauté et l'engagement des équipes est également indispensable.

Reconfiguring : la capacité à transformer (améliorer, combiner, protéger, et reconfigurer) les actifs spécifiques de l'entreprise consiste en leur réaligement continu en fonction des opportunités et menaces. Cette capacité repose également sur quatre microfondations. La première consiste à décentraliser pour gagner en flexibilité et en adaptation tout en coordonnant et en intégrant les activités là où l'entreprise peut bénéficier de synergies. La seconde est de gérer les compétences (et donc les offres) complémentaires via la coopération avec les entreprises qui les détiennent, notamment lorsque ces compétences sont cospécialisées (c'est-à-dire que les valeurs des deux actifs dépendent chacune de leur utilisation en conjonction avec l'autre, comme pour les aspects matériels et logiciels en informatique). La troisième réside dans la gestion de la capacité d'apprentissage et des connaissances de l'entreprise. Enfin, la quatrième consiste à gérer la gouvernance pour créer un système d'incitation et de contrôle efficace au niveau de la direction et du reste de l'entreprise.

L'article de Teece (2007), dont est faite ici la synthèse, réunit dans un cadre intégrateur un grand nombre d'éléments nécessaires au management stratégique d'innovation technologique. Si certains éléments sont mentionnés comme des questions inévitables de tout cadre intégrateur en management stratégique (comme le leadership et l'engagement des équipes), un thème cher à l'auteur apparaît ici : le management des compétences (y compris des offres) complémentaires à celle de l'entreprise, souvent désignées par le terme de « *complementary assets* ». A ce titre on notera que la question est notamment – longuement – abordée comme microfondation de deux capacités dynamiques, celle de saisie des opportunités (Teece, 2007: 1331-1333) et de celle de transformation des compétences (Teece, 2007: 1338-1339). Ainsi cette question des actifs (ou compétences) complémentaires est centrale dans le travail de David Teece. Elle apparaît également centrale pour comprendre les secteurs économiques dans lesquels des systèmes technologiques complexes sont à l'œuvre. La sous-section suivante revient sur cette question des complémentarités.

4.2.3. Le management des complémentarités

Teece introduit le concept d'actifs complémentaires dans son article présentant le cadre *Profiting from innovation* (PFI) (Teece, 1986). Dans cette approche, la valeur d'un actif A augmente (voire n'existe que) si son exploitation est associée à un actif B.

D'après Teece (1986) : « Dans presque tous les cas, le succès dans la commercialisation d'une innovation nécessite que le savoir-faire en question soit utilisé en conjonction avec d'autres compétences et actifs. » (p.288). L'auteur (1986: 288) illustre cette idée avec l'exemple d'une innovation qui consisterait en une connaissance technique pour mieux réaliser une tâche (par exemple une production). Afin que cette connaissance technique soit commercialisée avec succès, elle nécessite d'autres compétences, par exemple en marketing, en production, ou en termes de service après-vente. Un autre exemple déjà mentionné est celui de la complémentarité entre les aspects matériels et logiciels de l'informatique. Ici, comme le mentionne Teece, nous sommes dans le cas d'une innovation systémique et le complément se trouve alors être une autre partie du système. La complémentarité est ici réciproque (bilatérale), on parle alors d'actifs « co-spécialisés ». A contrario, quand un actif (A) est dépendant d'un autre (B), mais que ce dernier (B) n'est pas dépendant du premier (A), on parle d'actifs « spécialisés » (la dépendance est unilatérale).

Les actifs (ou ressources) sont ce qui permet d'effectuer des activités – avoir des infrastructures et un certain savoir-faire (actif) est nécessaire pour fabriquer un produit (compétence). En conséquence, la complémentarité joue également au niveau des compétences et des produits/services. Nous utilisons le terme d'actif de manière générique lorsque la distinction n'est pas nécessaire (actifs, compétences, et produits/services vont ensemble, les deux derniers sont donc souvent implicites derrière le terme d'actif). Lorsque nécessaire, nous précisons si nous parlons de la complémentarité d'actifs, de compétences, ou de produits.

D'abord issu du modèle « *profiting from innovation* » (PFI) (Teece, 1986, 2006), la notion d'actif complémentaire joue un rôle central dans l'adaptation des entreprises aux nouvelles technologies. L'idée d'actif complémentaire désigne justement un actif spécifique (une ressource sur la base de laquelle l'entreprise détient une compétence distinctive) ou une compétence distinctive nécessaire à la commercialisation d'une innovation (Teece, 1986). Face à la complexité grandissante des assemblages d'actifs nécessaires aux industries de hautes technologies, il devient quasiment impossible pour une entreprise de maîtriser et d'intégrer toutes les complémentarités nécessaires à la construction d'un avantage concurrentiel.

Le modèle PFI de Teece (1986, 2006) souligne que cet accès aux actifs complémentaires peut se faire suivant deux voies : accéder à l'actif via l'entreprise (intégration), ou y accéder via un partenaire (externalisation). Le choix entre ces deux options se fait suivant le régime d'appropriabilité de l'innovation (est-elle protégée par des brevets, des secrets commerciaux,

des compétences tacites ?), l'existence ou non d'un *design* dominant, et la nature de l'actif (est-il spécialisé pour une technologie ou peut-il être redéployé ?).

Teece (1986) considère que le plus souvent, les régimes d'appropriabilité sont faibles. En effet, la protection de la propriété intellectuelle est difficile en pratique, les brevets peuvent par exemple souvent être contournés par la création de produits légèrement différents, et faire valoir un droit de propriété intellectuelle devant la justice est souvent délicat et coûteux. Ces mécanismes ne permettent donc pas toujours (et même rarement) de capter de la valeur sur la base d'une innovation. Les stratégies pertinentes reposent alors sur la gestion des complémentarités, et dépendent de l'existence ou non d'un *design* dominant. Avant l'établissement d'un *design* dominant, l'innovateur ne doit pas s'engager trop rapidement dans la sécurisation de l'accès aux actifs complémentaires nécessaires. En effet, le risque est que ces derniers changent avec l'évolution du *design*. L'émergence d'un autre *design* dominant et/ou d'un autre *process* dominant que celui pour lequel l'innovateur avait sécurisé l'accès aux actifs rendrait irrécupérables les coûts engagés pour l'accès à ces actifs complémentaires. Dans cette phase, l'innovateur a donc plutôt intérêt à laisser varier le *design* de mise en œuvre de la technologie et à laisser les différentes forces en présence faire émerger un *design* dominant et un *process* dominant. Il s'agit alors de percevoir à temps le moment où un *design* et un *process* s'imposent comme dominants pour réaliser les investissements nécessaires. Pendant cette phase de « flottement », il est essentiel que l'innovateur soit proche des usagers potentiels dont les besoins auront un impact majeur sur l'émergence du *design* dominant.

Une fois qu'un *design* et un *process* dominants ont émergé, l'accès aux actifs complémentaires devient alors essentiel en régime de faible appropriabilité. Si les actifs génériques (capital, site de production et compétences généralistes) n'ont pas un rôle stratégique majeur, l'accès aux actifs spécialisés ou cospécialisés est, pour sa part, essentiel. Cet accès aux actifs complémentaires est alors le facteur qui sera à la source de l'avantage concurrentiel des différents acteurs d'un marché.

Une réflexion plus récente sur le modèle (Teece, 2016) souligne que l'environnement technico-économique actuel est marqué par la convergence numérique, l'omniprésence d'internet, le développement des plateformes et l'importance sur celles-ci des effets réseau et des bases d'utilisateurs, et la généralisation des innovations reposant sur de multiples inventions. Dans ce contexte, les actifs et technologies complémentaires deviennent plus essentiels encore, ce qui rend les modèles d'affaires et les relations inter-firmes plus intriqués et complexes.

Plus largement, une conclusion des travaux de Teece sur le modèle PFI est qu'il est souvent plus souhaitable (et c'est d'ailleurs parfois la seule possibilité) d'accéder aux actifs complémentaires via des relations inter-firmes, plutôt que de les développer en interne. Afin de terminer l'élaboration de notre cadrage théorique, c'est de ces coopérations inter-firmes pour l'accès aux actifs complémentaires que traite la section suivante.

4.3. Stratégies de coopération inter-firmes

Le besoin d'associer ses ressources et compétences dans des contextes d'évolution technologique a joué un rôle important dans le développement des coopérations inter-firmes. La littérature traitant de ces coopérations a abordé la question des alliances stratégiques, dyadiques et multipartenaires, construites pour associer des actifs complémentaires détenus par différentes entreprises. Ces formes d'arrangements organisationnels sont reconnues pour être des moyens de créer et capter de la valeur en innovant. La littérature sur les alliances stratégiques est riche et ces objets organisationnels sont assez bien connus. De nombreux résultats de recherche sur les alliances décrivent et expliquent leurs objectifs. Nous présentons dans cette section quelques grandes conclusions qui pourront éclairer notre réflexion.

4.3.1. Des alliances aux alliances technologiques

Les relations inter-firmes prennent des formes variées et sont au cœur du management stratégique. Une approche traditionnelle de l'économie à la question de la coordination a été celle de l'économie des coûts de transactions qui oppose deux grands modes de coordination : le marché (coordination par les prix) et l'entreprise (coordination par la hiérarchie), entre lesquels les acteurs font un arbitrage avec pour objectif la minimisation des coûts de transaction (Coase, 1937; Williamson, 1989, 1991). Si elle apporte des éléments essentiels à l'analyse des formes de coordination, cette approche en néglige d'autres et ne permet pas de comprendre tous les aspects de la diversité des mécanismes de coordination inter-firmes. En effet, au-delà du marché et de la hiérarchie se trouvent différents types de relations inter-firmes qui peuvent prendre de nombreuses formes. Apparaissent ainsi « entre » le marché et la hiérarchie différentes formes d'alliances stratégiques²⁷, définies comme deux ou davantage de partenaires qui travaillent ensemble pour aboutir à un objectif commun (Kale et Singh, 2009).

²⁷ Williamson (1991) introduit d'ailleurs les formes « hybrides » de coordination que sont les alliances. Néanmoins, son approche demeure celle de la minimisation des coûts de transactions.

Les stratégies d'alliances apparurent historiquement, notamment aux Etats-Unis, avec la mise en commun d'efforts pour de lourds investissements industriels, réseaux de voies ferrées, mines, infrastructures pétrolières... A partir des années 1970, lorsque la concurrence mondiale se fit plus intense, de nombreuses entreprises eurent recours aux alliances pour accéder à de nouvelles compétences, notamment auprès de firmes étrangères, qui avaient ainsi accès aux marchés locaux (Harrigan, 2017). Un exemple fameux est celui de l'alliance Toyota-General Motors via la joint-venture *New United Motor Manufacturing Inc.* (NUMMI) et son usine californienne). Le développement de nouvelles technologies a également été une raison majeure pour former des alliances stratégiques (Teece, 1992; Hagedoorn, 1993, 2002). Quels que soient les motifs ayant encouragé les stratégies d'alliances, ces dernières ont joué un rôle sur l'évolution des offres et de la concurrence et ont ainsi été une force structurante des évolutions industrielles et concurrentielles (Harrigan, 2017).

Constatant l'importance grandissante des alliances et des recherches sur le sujet de la fin des années 1980 à celle des années 1990, Dyer et Singh (1998) proposent une discussion théorique, afin d'offrir une perspective englobante des travaux qui se fondent sur une perspective unique. Les auteurs mettent en avant quatre sources de « rentes relationnelles » : la création d'actifs spécifiques à une relation (par exemple, un site de production spécialement dédié à un client), le partage de connaissances qui permet aux partenaires de développer leurs compétences, la mise en commun de ressources complémentaires, l'amélioration de la gouvernance des relations inter-firmes préexistantes. Une autre typologie propose de distinguer les alliances selon la nature des actifs apportés (Garrette et Dussauge, 1995; Dussauge et Garrette, 1999). Si les deux entreprises apportent des compétences similaires, on est dans une alliance d'échelle qui maximise les effets d'échelle dans la production d'un produit commun (c'est alors une alliance de « pseudo-concentration ») ou la mise en commun d'activité en amont de la production (R&D ou production d'un composant – on est alors dans une alliance de co-intégration). A côté de ces alliances d'échelle, plutôt utilisée pour défendre un marché, les alliances « complémentaires » consistent à mettre en commun des actifs différents, typiquement pour la commercialisation d'un produit. On est ici dans des logiques relevant de la complémentarité des actifs, utile pour développer de nouveaux produits et marchés (Teece, 1986).

Les situations d'innovation requièrent une coordination spécifique entre entreprises. Cette coordination a des objectifs particuliers tels que l'accès aux actifs complémentaires, le développement de l'innovation avec les utilisateurs, et la mise en commun des efforts de

recherche et développement (Teece, 1992). Ces éléments sont clés dans les stratégies de coopération inter-firmes face au développement de nouvelles technologies, et *a fortiori*, d'innovations radicales. Comme discuté dans les deux sections précédentes, l'approche par les ressources et compétences, et deux approches la reprenant comme fondement théorique (capacités dynamiques et actifs complémentaires), apparaissent comme essentielles au management stratégique de nouvelles technologies et de l'innovation. Nous présentons donc ici des développements sur les alliances inscrits dans l'approche par les ressources et compétences (Eisenhardt et Schoonhoven, 1996), en lien avec les situations d'innovation et d'évolution technologiques. En reprenant la classification de Dyer et Singh (1998), nous nous intéressons donc principalement aux alliances dans une perspective d'apprentissage et d'accès aux actifs complémentaires.

4.3.2. Alliances technologiques

Dès 1989, Teece met en avant l'importance des interactions inter-organisationnelles dans l'innovation (Teece, 1989). Reprenant certains modèles décrivant les processus d'innovation (voir par exemple Kline et Rosenberg, 1986), Teece décrit trois types de liens : les liens entre université et entreprise, les liens verticaux (le long de la chaîne de valeur), et les liens horizontaux (entre entreprises, concurrentes ou non, mais non partenaires sur la chaîne de valeur). Dans une autre classification, Teece (1992) indique que la coordination inter-firmes dans les situations d'innovation est nécessaire pour l'accès aux actifs complémentaires : liens entre le développeur, les fournisseurs, et les utilisateurs de la technologie, lien avec les concurrents (définition de standards, efforts de recherche initiaux, voire commercialisation dans les cas où beaucoup de ressources sont nécessaires), et mise en commun de différentes technologies.

Sur la base de ces premiers travaux de Teece apparaît ainsi une première distinction entre les alliances technologiques : elles peuvent être verticales ou horizontales. Les alliances verticales reposent sur l'importance de l'utilisateur dans le succès d'une nouvelle technologie. Pour faire d'une nouvelle technologie un succès commercial, il faut en effet que celle-ci réponde à un besoin. Dès lors, l'entreprise qui souhaitera développer ou commercialiser un nouveau produit sur la base d'une innovation aura besoin de proximité avec l'usager (le client) potentiel (Teece, 1989, 1992; Slaughter, 1993). L'innovation peut même parfois venir des utilisateurs eux-mêmes, notamment lorsque ces derniers ont une expérience pointue. C'est par exemple le cas dans la majorité des innovations en termes d'instruments scientifiques (von Hippel, 1988), qui

par la suite sont fabriqués et commercialisés par des entreprises manufacturières qui n'ont pas la primeur de l'innovation. Suite à ces premiers travaux, les recherches sur les situations où l'innovation vient de l'utilisateur (du client) ont donné lieu à de nombreuses recherches (Gambardella, Raasch, et von Hippel, 2017). Von Hippel (1988) montre également que dans certains secteurs, les innovations peuvent venir des fournisseurs, cela peut par exemple être le cas quand il s'agit de fournisseurs de machines-outils. Les relations inter-firmes le long de la chaîne de valeur sont donc essentielles dans un contexte d'innovation et d'évolution technologiques. En plus de ces processus d'innovation, des actifs complémentaires pour la commercialisation d'une innovation technologique se trouvent souvent en amont (production de matière première, de sous-systèmes), et surtout en aval (distribution) de la chaîne de valeur (Teece, 1986, 2006), nécessitant ainsi souvent des coopérations.

Les alliances horizontales (avec des concurrents ou des entreprises d'autres secteurs) sont également utiles pour l'accès à certains actifs complémentaires (notamment des sous-systèmes complémentaires pour les produits complexes). Elles peuvent également être l'opportunité de mettre en commun des investissements en R&D ou en développement de produits, permettant ainsi de limiter les investissements et de partager le risque. Quand plusieurs concurrents développent une technologie commune, cela les oblige à partager la rente en cas de succès, mais le pouvoir de marché qu'ils partagent est supérieur. Ce type d'alliance leur permet également de bénéficier d'économies d'échelle et érige des barrières supplémentaires pour d'éventuels nouveaux entrants. Ainsi, si ce mécanisme oblige à partager la rente, celle-ci peut être (au total) supérieure et le risque de voir s'ajouter le nombre d'acteurs dans ce partage est réduit (Teece, 1989, 1992). Ces alliances technologiques horizontales et verticales sont particulièrement adaptées aux produits et systèmes complexes à forte intensité technologique (Hobday, 1998).

Comme nous l'avons mentionné plus haut, une autre classification concernant les alliances technologiques consiste à distinguer l'accès à des actifs complémentaires des alliances dédiées à l'apprentissage (Dyer et Singh, 1998). Les alliances stratégiques sont donc un moyen privilégié d'accès aux actifs complémentaires (*cf.* sous-section 4.2.3), notamment pour les entreprises installées. En effet, les situations de changements technologiques radicaux risquent de venir bousculer les positions des entreprises installées qui ont alors intérêt à accéder aux actifs complémentaires des innovateurs (Arora et Gambardella, 1990; Rothaermel, 2001; Rothaermel et Boeker, 2008). Les alliances sont également un moyen d'apprentissage de nouvelles compétences (Kogut, 1988; Powell, Koput, et Smith-Doerr, 1996). Dans cette

perspective, l'objectif d'une alliance est d'intégrer les compétences du partenaire pour renforcer son propre avantage concurrentiel. Dès lors, les partenaires dans une alliance coopèrent mais sont également en compétition pour apprendre l'un de l'autre le plus vite possible dans une « course à l'apprentissage » (Hamel, Doz, et Prahalad, 1989; Hamel, 1991). Cette course à l'apprentissage influence le fonctionnement et la réussite de la coopération dans une alliance.

Les perspectives sur les alliances verticales, horizontales, et sur l'apprentissage impliquent une dimension concurrentielle au sein des alliances (partage de la valeur, course à l'apprentissage). Cette dimension concurrentielle est au cœur d'une tension coopération-compétition dont la gestion est une dimension essentielle (Das et Teng, 1998, 2000; Ness, 2009; Majchrzak, Jarvenpaa, et Bagherzadeh, 2015).

Un troisième cadrage des alliances technologiques correspond à leur rôle le long d'un processus d'innovation. Hagedoorn (1993) met en avant trois types de motivation pour les alliances technologiques : celles liées à des projets de recherche et développement, celles liées à un processus d'innovation, c'est-à-dire au développement de produit ou à l'acquisition de nouvelles connaissances technologiques, et enfin celles liées à l'accès au marché, qui consistent à faire de la veille, à l'entrée sur de nouveaux marchés, ou à la mise sur le marché de nouveaux produits. Ce continuum qui va de la recherche fondamentale à la commercialisation fait apparaître une différence entre les alliances technologiques selon qu'elles relèvent d'une des deux polarités de distinction classique de March (1991) entre exploration (R&D dans notre cas) et celles liées à l'exploitation (mise en œuvre opérationnelle, commercialisation) (Colombo, Grilli, et Piva, 2006; Lavie et Rosenkopf, 2006).

En somme, les alliances technologiques sont un outil essentiel des stratégies technologiques, notamment via la combinaison des actifs complémentaires. Ces alliances peuvent se faire entre clients et fournisseurs, entre entreprises au même niveau de la chaîne de valeur, avoir pour but l'accès aux actifs complémentaires ou l'apprentissage, et être orientées vers l'exploration ou l'exploitation. La question qui se pose alors est celle du management de ces alliances.

4.3.3. Le management des alliances

Les alliances ont donc plusieurs intérêts majeurs dans le management des changements technologiques et l'innovation. Leur création et leur management impliquent des enjeux variés : logique de création de valeur, choix du partenaire, la capacité de coopération, et le partage de la valeur sont des éléments clés sur lesquels Doz et Hamel (1998) proposent une somme riche. Nous passons en revue dans cette sous-section des éléments essentiels de la question du

management des alliances. Tout d'abord, le choix des partenaires est essentiel. Dans la perspective d'un accès à des ressources complémentaires, le choix des partenaires dépend dans une large mesure des ressources de celui-ci (Eisenhardt et Schoonhoven, 1996; Shah et Swaminathan, 2008; Lin, Yang, et Arya, 2009; Kale et Singh, 2009).

De ce point de vue, un bon partenaire doit avoir une base de ressources qui soit à la fois suffisamment différente de celle de l'entreprise pour y apporter les éléments manquants, et suffisamment « proche » pour pouvoir y être intégrée (Lin *et al.*, 2009). En plus de sa base de ressources, la valeur d'un partenaire dépend aussi de sa valeur « sociale ». L'alliance permettra ainsi d'envoyer un signal positif et augmentera la légitimité de l'entreprise au sein d'une industrie (Eisenhardt et Schoonhoven, 1996; Lin *et al.*, 2009; Kale et Singh, 2009). En plus de ces questions de la valeur d'un partenaire potentiel en termes de ressources et de valeur sociale, il faut également qu'un partenaire soit compatible avec l'entreprise pour qu'une alliance permette de créer de la valeur. La compatibilité doit d'abord être stratégique, c'est-à-dire que les objectifs doivent être partagés, compatibles avec les autres objectifs des partenaires, que chacun des partenaires ait un intérêt comparable dans l'alliance et que chacun soit dépendant de l'autre dans une mesure relativement identique. La compatibilité stratégique n'est toutefois qu'une première dimension de la compatibilité. L'autre dimension est la compatibilité organisationnelle, qui nous indique si l'alliance peut fonctionner. Cette compatibilité des organisations n'implique pas uniquement que les organisations soient similaires, mais que leurs différences aient été prises en compte dans la conception de l'alliance. Par ailleurs, la compatibilité entre les cultures des partenaires, les individus qui seront amenés à coopérer, ainsi que les opérations de chacun des partenaires sont des sous-éléments essentiels de cette compatibilité (Douma *et al.*, 2000; Kale et Singh, 2009). Enfin, l'engagement des partenaires dans l'alliance est une dimension essentielle du choix du partenaire. L'engagement désigne la volonté du partenaire à engager les contributions nécessaires à la réussite d'une alliance et peut s'observer dans la phase de création d'une alliance aux sacrifices que fera un partenaire dans la négociation du contrat encadrant cette alliance (Kale et Singh, 2009).

L'attention au choix du partenaire est dans une large mesure due au fait que les alliances stratégiques impliquent de faire travailler ensemble deux entreprises dont les objectifs ne sont pas parfaitement congruents. Ainsi, si les alliances ont pour objectif la coopération entre deux entreprises, elles impliquent également une part de compétition. Par exemple, lorsque les alliances ont pour objectif principal l'apprentissage, les partenaires coopèrent mais sont également en compétition pour apprendre l'un de l'autre le plus vite possible dans une « course

à l'apprentissage ». Plus largement, il existe un risque de comportement opportuniste de la part d'un des partenaires d'une alliance (Hamel *et al.*, 1989; Hamel, 1991). Face à ce risque de comportement opportuniste, les entreprises engagées dans des alliances peuvent alors avoir recours à deux types de mécanismes pour favoriser la coopération. Le premier est de développer la confiance et le second de mettre en place des mécanismes de contrôle (Das et Teng, 1998).

Ces deux moyens de favoriser la coopération peuvent passer par des modes de gouvernances formels tels que des accords contractuels (par exemple pour garantir l'équité dans la distribution de la valeur) ou des relations capitalistiques (par exemple en faisant des partenaires des « otages mutuels » grâce à des participations croisées). Des modes de gouvernance informelle permettent également de favoriser la confiance (si un partenaire prend un risque pour la coopération, cela renforcera la confiance de l'autre partenaire) et/ou de faire office de mécanismes de contrôle (par exemple via un système de normes partagées) (Das et Teng, 2000; Kale et Singh, 2009). Cette idée de deux modes de gouvernance des alliances, formels et informels (ou contractuels et relationnels) est souvent utilisée comme une dichotomie dans la gouvernance des alliances, tout comme la dichotomie entre les fonctionnements coopératif et compétitif. Les modes de gouvernance et les types de relations dans les alliances sont évolutifs, ils peuvent être influencés par des éléments internes ou externes à l'alliance (Ness, 2009; Majchrzak *et al.*, 2015). Ce processus d'évolution des alliances est modélisé par Doz (1996) qui propose dans son modèle de prendre en compte les conditions de départ de l'alliance (activités des partenaires, coordination, objectifs de l'alliance) à partir desquelles s'ouvre la coopération qui évolue selon un cycle apprentissage (sur des éléments internes et externes de la coopération) – réévaluation (du fonctionnement de la coopération) – réajustement vers de nouvelles conditions de coopération. On voit ainsi qu'au-delà de leurs objectifs et du choix des partenaires, la coopération dans les alliances est un processus interactif et dynamique composé de plusieurs itérations d'apprentissage, de réévaluations, et de réajustement (Doz, 1996).

Les partenariats entre une petite entreprise innovante et une grande entreprise installée sont un cas typique des alliances technologiques. Ce type de partenariat pose des difficultés particulières en termes de complémentarité des partenaires et management de la relation au sein des alliances (Doz, 1987).

Une distinction non encore mentionnée est celle du nombre d'organisations impliquées dans une coopération via une alliance. En effet, la définition sur laquelle nous nous sommes appuyés mentionne « deux ou davantage de partenaires ». Typiquement, les alliances font référence à une coopération entre deux entreprises (dyadique), mais il existe des coopérations impliquant

plus de deux partenaires. Or, le fonctionnement des alliances est différent selon qu'il implique deux ou plus de partenaires, c'est ce sur quoi porte la sous-section suivante.

4.3.4. Ecosystèmes, réseaux, alliances multipartenaires

Afin de répondre à des enjeux similaires, notamment de changement technologique rapide, les coopérations entre plus de deux acteurs se sont multipliées ces dernières années et ont donné lieu à plusieurs courants de développements théoriques (Albers, Schweiger, et Gibb, 2015; Das et Teng, 2002; Provan, Fish, et Sydow, 2007; Perks et Jeffery, 2006; Bryson, Crosby, et Stone, 2015; Davis 2016; Fjeldstad, *et al.* 2012).

La littérature emploie différents termes pour définir ces coopérations inter-organisationnelles multipartenaires : réseaux, écosystèmes, alliances multipartenaires, constellations. Si ces réalités se recouvrent partiellement, il y a néanmoins des nuances entre les différents concepts. Ces coopérations multipartenaires se différencient des alliances dyadiques en ce qu'elles sont plus complexes en termes de pouvoir, de répartition de la valeur, et de frontières (Albers, Schweiger, et Gibb, 2015). Une différence absolument essentielle est ici la complexité supplémentaire dans la répartition de la valeur est due au fait que ces coopérations impliquant plus de deux partenaires sont des contextes d'échange généralisé dans lesquels l'échange n'est pas réciproque mais indirect, et où il est donc difficile de savoir précisément quelles sont les contributions de chacun (Das et Teng, 2002). Leur structure de gouvernance (Provan et Kenis, 2007; Provan, Fish, et Sydow, 2007; Li *et al.*, 2012) et le rôle des entreprises centrales dans ces arrangements organisationnels ont notamment été étudiés, ainsi que les moyens de management qui y sont mis à l'œuvre (Saz-Carranza et Ospina, 2011; Gustafsson et Jarvenpaa, 2017). De manière analogue à la coopération dans les alliances dyadiques. La gouvernance de ces réseaux peut-être mise en œuvre de manière formelle ou informelle (Provan, Fish, et Sydow, 2007; Dagnino, Levanti, et Mocciaro Li Destri, 2016).

Désignant également des systèmes de coopération impliquant plus de deux partenaires, le concept d'écosystème s'éloigne de la coopération entièrement délibérée pour se rapprocher de la notion d'industrie, dont elle étend alors les limites. Plus en lien avec notre réflexion, les écosystèmes d'innovation sont conceptualisés autour d'une offre innovante et mettent en avant les relations inter-organisationnelles existant autour de la création de cette nouvelle offre. Dans ce sens, un écosystème est « un ensemble d'acteurs ayant des degrés variés de complémentarités non-génériques, et qui ne sont pas entièrement contrôlés par une hiérarchie » (Jacobides,

Cennamo, et Gawer, 2018: 2264)²⁸. Dans cette définition, c'est la complémentarité des actifs et des compétences entre les acteurs du réseau qui constitue l'écosystème. Entre autres questions sur, par exemple, l'influence des différents types de modularités et la coordination dans un écosystème, les auteurs posent la question de la naissance et du succès d'écosystèmes naissants. Une piste intéressante est celle du lien entre le caractère spécialisé de la complémentarité des actifs (les actifs spécialisés ne sont pas redéployables) et l'attrait de la collaboration dans un écosystème. Moins les actifs sont spécialisés (plus ils sont redéployables), plus il est facile pour une entreprise d'investir dans ces actifs pour rentrer dans l'écosystème ; car en cas d'échec elle pourra redéployer les actifs en dehors de l'écosystème. A l'inverse, plus les actifs sont spécialisés, plus une entreprise ayant investi pour participer à l'écosystème aura intérêt à collaborer, car l'actif dans lequel elle a investi pour participer n'est pas redéployable aisément, ce qui rend le risque d'échec critique.

Ces dernières pistes font apparaître la perspective d'un lien entre les modes de coopération inter-firmes (ici l'écosystème) et la nature de la technologie en jeu.

Synthèse du chapitre 4 : Des compétences en évolution et leur mise en commun dans des relations inter-firmes

Dans ce chapitre, nous avons présenté des approches du management stratégique ayant pour élément central les technologies et leur évolution. Du fait de cette importance accordée à la technologie, ces approches offrent des perspectives utiles pour explorer les enjeux stratégiques de l'émergence de la fabrication additive, innovation technologique à l'immense potentiel transformateur.

Les ressources et compétences des entreprises sont au cœur des approches en management stratégique présentées ici. L'approche par les ressources et compétences, dont les fondements se trouvent chez Penrose (1959) et qui fut plus tard développée (Wernerfelt, 1984; Teece, 1984), accorde une place essentielle à la variable technologique. L'importance et l'accélération du changement technologique à partir des années 1990 ont conduit à l'émergence du courant des capacités dynamiques qui met l'accent non seulement sur l'importance des ressources et compétences mais également sur la capacité d'une entreprise à les faire évoluer (Teece *et al.*, 1997; Teece, 2007). Un thème central de l'approche par les capacités dynamiques est la complémentarité des ressources et compétences. Des ressources et compétences sont

²⁸ Les nuances avec les réseaux existent mais nous semblent ténues, nous n'y revenons pas.

complémentaires lorsque leur exploitation conjointe crée plus de valeur que l'exploitation de chacune des ressources isolément. L'exploitation d'une ressource ou d'une compétence est parfois impossible sans la combinaison avec une autre, qui lui est complémentaire. L'accès aux ressources et compétences complémentaires est dès lors un aspect essentiel de l'adaptation des entreprises au changement technologique (Teece, 1986, 2007). L'ensemble des ressources et compétences nécessaires à une activité ne sont bien souvent pas détenues par une seule entreprise. Il est donc essentiel pour une entreprise d'être capable d'accéder à des ressources et compétences complémentaires aux siennes, et qui sont détenues par d'autres entreprises. Cet accès se fait alors au travers de relations inter-firmes de différents types.

Si le marché et la hiérarchie sont deux mécanismes de coordination traditionnellement identifiés (Coase, 1937; Williamson, 1989), les alliances stratégiques ont émergé comme un mode de relations inter-firmes essentiel, notamment pour la mise en commun de compétences complémentaires (Dyer et Singh, 1998; Kale et Singh, 2009). L'importance de la complémentarité des compétences face au changement technologique fait des alliances technologiques un type d'alliance essentiel. Ces alliances technologiques peuvent être horizontales (entre concurrent ou entreprise d'un autre secteur) ou verticales (sur la chaîne de valeur, type fournisseur-utilisateur), ces dernières jouant un rôle essentiel dans l'accès aux actifs complémentaires en amont ou en aval d'une chaîne de valeur. Les alliances technologiques peuvent être dédiées à des activités amont du processus d'innovation (R&D, développement de produit) ou des activités aval (mise en œuvre, commercialisation) (Teece, 1992; Hagedoorn, 1993). Les alliances impliquent des questions managériales spécifiques (Doz et Hamel, 1998) parmi lesquelles le choix du partenaire, le développement de mécanismes de coopération (Das et Teng, 1998) et la gestion de leur évolution continue dans l'alliance (Doz, 1996). Le terme d'alliance désigne traditionnellement une coopération dyadique, c'est-à-dire entre deux partenaires. Néanmoins, il existe également des modes de coopération étroite incluant plus de deux entreprises. On parle alors d'alliances multipartenaires. Le terme d'écosystème est également utilisé et met en avant la complémentarité des actifs entre des acteurs étant en coopération sans être coordonnés par une hiérarchie commune. Les alliances multipartenaires sont plus complexes à gérer que les alliances dyadiques, car le pouvoir ou la participation respective de chaque membre sont plus délicats à définir. La gouvernance, de ces alliances multipartenaires est alors un sujet clé.

Ces approches en management stratégique sont autant d'éclairages sur la façon dont les entreprises s'adaptent face à un changement technologique. Elles offrent des pistes de réflexion

importantes pour comprendre les stratégies mises à l'œuvre face au changement technologique de la fabrication additive, et à ses conséquences potentielles.

Synthèse des quatre premiers chapitres et problématisation

La fabrication additive (FA, ou impression 3D) désigne une famille de procédés de production caractérisés par leur nature additive, numérique, et non outillée. Ces caractéristiques donnent à la FA un certain nombre d'avantages en comparaison des procédés de fabrication traditionnels (usinage, moulage...). La FA permet notamment la production d'objets aux formes complexes, la réduction des coûts pour la production en petite série et personnalisée, la conception, le stockage, et le transport de designs numériques de pièces qui peuvent ensuite être produites à la demande localement. La FA ouvre également des opportunités autour du design et de la fabrication en réseau, voire par la foule. Elle commence à être utilisée dans des secteurs de plus en plus nombreux (médical, aéronautique, automobile, construction, biens de consommation...). La technologie doit encore être améliorée sur de nombreux aspects (vitesse, qualité, coût, fiabilité...) pour pouvoir être adoptée plus largement et déployer tout son potentiel ; néanmoins, les perspectives ouvertes sont indéniablement d'importance stratégique pour les entreprises productrices de biens. De nombreux auteurs (journalistes, chercheurs, consultants, et autres commentateurs) n'ont pas attendu la maturité de cette technologie pour la commenter largement. Parmi de nombreuses prévisions, une révolution industrielle a été annoncée et diverses attentes largement présentées. D'autres investigations sur les débuts du développement de la technologie ont fait apparaître des impacts stratégiques et managériaux aussi divers qu'importants. La fabrication additive est une réalité complexe, stratégique, et en mouvement. Le caractère « en développement » de la technologie conduit, bien que la technologie soit mature sur certains usages spécifiques, à ce que les acteurs impliqués soient actuellement dans une phase d'exploration de la fabrication additive. C'est sur les enjeux stratégiques de cette révolution technologique annoncée que nous avons souhaité nous pencher. Et plus particulièrement sur la phase actuelle d'exploration de cette transformation en cours. Pour cela, la littérature consacrée aux stratégies technologiques offre des éclairages utiles.

La recherche sur l'évolution des technologies a exploré la nature des technologies (et notamment l'importance qu'y jouent les connaissances), leur évolution (cycles et paradigmes technologiques), et les facteurs variés qui influent sur cette évolution. Le phénomène de l'évolution technologique se joue à de multiples niveaux et implique de multiples acteurs et leurs interactions. Ce dernier point est essentiel et fait un lien avec le management stratégique

des technologies. En effet, en plus du caractère essentiel de l'approche par les compétences, originellement liée à la question technologique, la littérature en management stratégique fait ressortir l'importance des relations inter-firmes (y compris clients-fournisseurs en B2B), mais aussi les relations avec les clients utilisateurs (en B2C), dans des contextes d'évolution technologique. En quelques mots : les compétences sont le point central des stratégies technologiques et l'accès à ces dernières passe souvent par les relations inter-firmes (de marché ou partenariales). Cet enjeu est au cœur de l'approche par les capacités dynamiques, qui se penche sur la question de l'évolution des compétences pour les adapter aux changements de l'environnement (et notamment au changement technologique). L'approche par les capacités dynamiques offre un cadre d'analyse dans lequel l'entreprise doit transformer ses processus pour adapter ses compétences à un environnement changeant. Les trajectoires de transformation sont limitées par la position actuelle (en termes de compétences) héritée du passé de l'entreprise (la dépendance au sentier). Les capacités dynamiques désignent alors les compétences de l'entreprise à mettre en œuvre cette transformation. Trois types de capacités dynamiques existent : détecter les opportunités, les saisir, et transformer en continu les ressources de l'entreprise pour faire évoluer ses compétences. Cette approche fait une large place à la notion de complémentarité des actifs – centrale chez Teece – qui désigne le fait que des situations de changement technique nécessitent souvent des actifs complémentaires (des ressources sur lesquelles reposent des compétences) à la maîtrise de la nouvelle technologie. Typiquement, il s'agit de sous-systèmes techniques complémentaires permettant d'intégrer plusieurs technologies dans un produit (pour un ordinateur : disque dur, processeur, carte graphique, logiciels...) ; ou de compétences non technologiques : production, logistique, marketing, canaux de distributions, ou SAV. Face à la diversité et à l'importance des compétences requises, des stratégies relationnelles sont nécessaires pour y accéder. Les recherches à ce sujet se sont largement développées autour des années 1990. Deux branches importantes de ce courant de recherche sont les alliances « dyadiques » et les coopérations élargies (alliances multipartenaires, écosystèmes, voire réseaux d'entreprises).

Cette littérature apporte de nombreuses perspectives susceptibles d'éclairer l'émergence de la fabrication additive. Le chapitre 3 montre l'importance du changement technologique et permet de qualifier la FA de rupture technologique, au sens de l'économie évolutionniste. La section 3.3 montre plus exactement que la fabrication additive correspond à un changement de paradigme technologique. En effet, la FA désigne un moyen matériel précis (les procédés possédant les trois caractéristiques, sections 1.1, 1.2, et 1.3), des propriétés physico-chimiques

exploitées (interaction laser-matière, photopolymérisation, fusion de plastique, caractéristiques des matériaux (section 1.2)...), des dimensions techno-économiques centrales (par exemple, de nouveaux équilibres quantité fabriquée/coût unitaires ou valeur ajoutée/coût de fabrication, ou encore coût et délai de transport et stockage/coût de fabrication), et surtout une tâche propre qui relève d'une fabrication avec de nouveaux objectifs (matérialisée dans les 11 fonctions section 1.4). Ces éléments sont les composantes d'un paradigme technologique.

Au-delà du fait qu'elle corresponde à la définition d'un paradigme technologique, la FA a ceci de spécifique qu'il s'agit d'une innovation de procédé : elle est avant tout une nouvelle façon de produire, même si ce nouveau procédé débouche sur la création de nouveaux produits et services. En plus de cette spécificité, nous avons montré dans le second chapitre en quoi la fabrication additive contient un potentiel de transformation industrielle majeur. En conséquence, la transformation devrait impliquer un nouveau paradigme technologique mais elle laisse également entrevoir des transformations industrielles importantes, voire ce qui pourrait s'apparenter à une « révolution industrielle ». Cette caractéristique est une spécificité de la fabrication additive. Or, la vision des paradigmes technologiques présentée par Dosi est construite (de manière relativement implicite) autour d'une réflexion sur une innovation de produit (« commodities ») dans laquelle le marché est celui des consommateurs finaux (voir Dosi, 1982: 156). La fabrication additive ne correspond donc pas tout à fait à l'idée de paradigme technologique telle que développée par Dosi.

Ainsi, contrairement aux innovations qui sous-tendent la perspective traditionnelle des paradigmes technologiques, la fabrication additive est un nouveau paradigme qui se développe au sein du monde industriel. Afin de prendre en compte cette spécificité, nous proposons l'idée de paradigme techno-industriel que nous utilisons dans la suite de cette thèse. Nous observerons donc la phase d'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel.

Selon Dosi, un paradigme technologique est un modèle de solutions à des problèmes technologiques définis, fondé sur des principes sélectionnés, le tout dédié à une tâche générale (se déplacer, communiquer...). Ainsi, l'approche des paradigmes technologique se concentre sur un ensemble étendu, Dosi (1982: 152) suggère même que les paradigmes désignent plutôt un « *cluster* » de technologies. Un exemple de paradigme est le moteur à explosion qui change la manière dont on se déplace, ce qui est une vision d'ensemble qui ne prend pas en compte les différents types d'usages du moteur à explosion. Or, en adoptant un niveau de granularité un peu plus fin, on voit bien que tous les moteurs à explosion ne sont pas identiques (ex. moteur à deux ou quatre temps, essence ou diesel...). Par ailleurs, la tâche générale inclut également des

réalités différentes. En effet, l'idée de paradigme technologique du moteur à explosion ne permet pas de différencier un scooter 50 centimètres cubes d'un camion 36 tonnes, dont l'usage est évidemment différent. Il en va de même si l'on considère le paradigme de la fabrication additive. En effet, nous avons vu dans les deux premiers chapitres que la FA était une réalité complexe incluant diverses solutions technologiques (procédés et matériaux, section 1.2) et diverses applications potentielles (des fonctions, section 1.4, et de secteurs, section 1.6). En plus de cette diversité, nous mettons également ici en avant l'idée qu'une technologie désigne d'une part une solution technique et les savoirs associés, et d'autre part un besoin fonctionnel auquel elle répond. Ces deux dimensions désignent deux réalités différentes mais leur couple forme un tout cohérent (Durand, 2003).

Ainsi, si l'idée que nous sommes dans un contexte d'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel est structurante, car elle exprime que la fabrication additive implique des connaissances et des compétences radicalement nouvelles, cette idée ne permet pas de comprendre finement les solutions technologiques particulières et les applications potentielles dont il est question. Nous proposons donc le terme de « modalité » pour décrire avec une granularité plus fine les possibles mises en œuvre du paradigme de la fabrication additive.

Une « modalité » du paradigme techno-industriel de la FA désigne alors une application (ou une application possible) de la FA resserrée autour d'un, ou de quelques, besoin(s) satisfait(s) par une ou des solution(s) technologique(s) apportée(s) par le nouveau paradigme. Dans l'exemple du moteur à explosion, une modalité est alors le déplacement en ville en deux roue grâce au moteur 50 centimètres cubes, deux-temps et à essence. Dans l'exemple de la fabrication additive, une modalité est la polymérisation de résine plastique pour le prototypage dans le secteur de l'automobile. Les éléments d'une « modalité » de la FA sont contenus dans un assemblage cohérent autour d'un ou de quelques fonction(s) (*cf.* section 1.4), secteur(s) (*cf.* section 1.6), procédé(s), et matériau(x) (*cf.* section 1.2).

Comme nous l'avons dit, ce nouveau paradigme techno-industriel est en cours d'émergence. Son évolution est sujette à de nombreuses influences et nécessite de la part des entreprises qui souhaitent l'explorer une transformation de leurs compétences dans laquelle la gestion de la complémentarité des actifs, et donc les relations inter-firmes jouent un rôle clé. Nous constatons néanmoins un manque d'éclairages empiriques sur le sujet. Par ailleurs, les littératures sur l'évolution technologique, la transformation des compétences et les relations inter-firmes nous semblent manquer d'un cadre intégrateur, conduisant ainsi à une compréhension fragmentée des mécanismes existants autour de ce phénomène qui nous questionne. Nous souhaitons donc

nous appuyer sur le substrat empirique de la fabrication additive pour explorer les relations entre des concepts issus de ces littératures et proposons de les articuler autour de l'idée d'une coévolution entre l'évolution technologique et les relations inter-firmes.

Nous étudions donc la problématique suivante, formulée en deux volets : quelles relations inter-firmes sont mises en œuvre dans le cadre de l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel ? Quels sont leurs effets ?

Le chapitre suivant présente le design de la recherche que nous avons mis en œuvre pour construire et traiter cette problématique. La démarche de terrain a en effet servi la construction de la problématique et des questions de recherche qui découlent d'allers-retours entre la théorie et le terrain, car notre travail suit une démarche qualitative et une logique de réflexion par abduction. Nous présentons dans ce chapitre méthodologie la démarche de collecte et de traitement des données ainsi que la façon dont les différents articles de la thèse s'articulent pour répondre à notre problématique.

5. Démarche et design de la recherche

5.1. Démarche générale

Notre travail de thèse suit une démarche compréhensive et s'appuie pour cela sur une méthode qualitative (Dumez, 2016). Nous cherchons à comprendre « les acteurs ou agents comme ils agissent. [en s'appuyant] sur leurs discours, leurs intentions (le pourquoi de l'action), les modalités de leurs actions et interactions (le comment de l'action) » (Dumez, 2016: 12).

Notre logique de réflexion durant cette thèse peut être qualifiée d'abductive, en ce sens qu'elle part d'un phénomène nouveau (les enjeux stratégiques de la fabrication additive) et qu'elle procède à des allers-retours entre la théorie et le terrain pour faire avancer sa compréhension et, en parallèle, le processus de théorisation (Dumez, 2016). Le point de départ de cette réflexion est la technologie de fabrication, en cela qu'elle se pose comme un enjeu stratégique pour les entreprises. A mesure que cette recherche a progressé, nous nous sommes intéressé au sujet spécifique des relations inter-firmes mises en œuvre face au changement techno-industriel de la fabrication additive. De manière assez traditionnelle, cette réflexion est présentée sous la forme d'études de cas, c'est-à-dire à l'étude de « singularité[s] susceptible[s] d'être isolée[s] » (Dumez 2016: 203).

C'est ce processus de théorisation à partir d'études de cas qui présente un intérêt scientifique. De ce point de vue, notre étude peut être qualifiée « d'heuristique ». Elle a vocation à enrichir des constructions théoriques déjà existantes et à mettre en lumière des mécanismes causaux. Si notre approche peut donner à voir et théoriser ces mécanismes, elle ne peut servir à élaborer des lois universelles et vise donc à construire des développements théoriques qui sont « *de l'ordre de ce que Merton appelait des théories à moyenne portée.* » (Dumez, 2016: 227).

Ce chapitre 5 de la thèse donne d'abord à voir la construction de l'objet et de son analyse tout au long du processus de thèse (section 5.2). Ensuite, la section 5.3 met en évidence les articles dont se composent notre thèse et leur articulation. Enfin, la section 5.4 revient en détail sur l'ensemble de la collecte et de l'analyse des données.

5.2. La construction abductive de l'objet de recherche

Dans cette section, nous décrivons notre parcours de thèse, les directions de recherche que nous avons prises et le contexte de ces décisions. Cette description explique comment nous avons suivi une démarche d'abduction assez classique dans les thèses en gestion (Berkowitz, 2016) en opérant des allers-retours entre la théorie et le terrain. Nous cherchons ici à rendre compte de la façon la plus rigoureuse et fidèle possible de notre démarche et de la façon dont s'est construit notre objet de recherche.

Notre parcours de thèse a démarré avec l'intérêt qu'a suscité pour nous la fabrication additive, et notamment le potentiel de transformation industrielle que cette technologie porte. Ainsi, dès le départ, nous avons opéré une délimitation du sujet du point de vue empirique selon un critère technologique. La catégorie « fabrication additive » nous apparaît suffisamment fine et intéressante, car, comme décrit section 1.3, elle présente une différence notable, observable, et porteuse de conséquences par rapport à d'autres procédés de production. A l'inverse, cette délimitation permet d'englober un certain nombre de réalités différentes autour d'un même principe technique et d'éviter de se concentrer sur un cas qui risquerait d'être anecdotique. Par exemple l'observation d'un unique couple procédé/matériaux aurait risqué à notre sens de faire perdre de son intérêt à notre recherche.

Comme décrit dans la sous-section 2.2.1, la période à laquelle nous débutions cette thèse fut marquée par un grand nombre d'annonces retentissantes sur les conséquences que n'allait pas tarder à provoquer la fabrication additive. De premières lectures nous permirent de cadrer les effets « attendus » de la FA (une version affinée et distanciée de ce premier cadrage se trouve dans les sections sur les onze fonctions stratégiques et sur la perspective d'une révolution industrielle, dans les chapitres 1 et 2), et de mesurer leur ampleur. Cette exploration d'une littérature plutôt empirique nous conduisit assez vite à envisager qu'un changement technico-économique majeur était en train de se jouer. Nous avons alors souhaité étudier les conséquences stratégiques qui en découleraient. En d'autres termes, si une révolution industrielle était en cours, il nous fallait l'étudier. C'est cette réflexion (mêlée d'une forme d'étonnement devant l'engouement suscité par la FA) qui nous a poussé à nous interroger sur les « enjeux stratégiques de la fabrication additive ».

A ce stade, la technologie de fabrication additive était donc identifiée comme un substrat empirique qui servirait de base à notre thèse, notre objet de recherche étant les enjeux stratégiques de cette technologie. La réflexion théorique s'orientait donc naturellement vers les

approches du management stratégique de la technologie et de l'innovation. Cette orientation assez générale fut la première formulation de notre objet de recherche. L'*orienting theory* était alors, de manière très large, management stratégique de la technologie et de l'innovation.

Sur la base du premier cadrage des effets attendus et d'une première exploration du phénomène notamment sur la base de données secondaires, nous nous mettions en quête de cas dans lesquels observer ces effets attendus, cette fameuse « révolution industrielle ». C'est à ce stade (à l'automne 2015) que nous nous sommes intéressé au secteur médical, et plus précisément au secteur de la prothèse dentaire. C'est une parution dans la presse économique, sur laquelle notre directeur de thèse a attiré notre attention, qui nous a conduit à nous intéresser à ce secteur qui semblait évoluer sous l'effet de nouveaux procédés de production numériques, proches de la fabrication additive. On peut ici parler d'opportunisme méthodique (Girin, 1989).

Des entretiens dans le secteur de la prothèse dentaire nous ont vite permis de comprendre que les évolutions dans le secteur de la prothèse dentaire n'advenaient pas de manière simple, linéaire, ou facile pour les acteurs. En d'autres termes, elles ne découlaient pas de manière évidente des opportunités ou de la supériorité des nouveaux procédés de fabrication. Comme le montre le premier article, ces évolutions prennent en effet des formes très différentes selon les acteurs (voire n'adviennent pas) et impliquent différentes difficultés. Face à des publications laissant entendre une supériorité « incontestable » des nouveaux procédés dans le secteur du médical, nous observions donc des difficultés qui révélaient une réalité plus complexe et nous offraient ainsi des éléments structurants pour cadrer théoriquement le phénomène observé. Nous n'étions plus seulement face à une révolution industrielle dont on observerait les effets, mais face à un processus de transformation complexe devant lequel il était intéressant d'explorer les difficultés des acteurs et les stratégies mises en œuvre pour les surmonter. Les différences observées entre les acteurs nous ont conduit à nous poser la question de leurs compétences à évoluer pour s'adapter à ce processus de changement technologique. Le cadre théorique des capacités dynamiques nous a alors semblé pertinent. Par ailleurs, nous avons également rapidement constaté que les enjeux stratégiques se jouaient au niveau des chaînes de valeurs. Les effets stratégiques des nouveaux procédés n'étaient pas uniquement le fait de la capacité de l'entreprise à s'adapter, mais également le fait de leurs interactions avec leurs clients et leurs fournisseurs. L'enjeu du partage de la valeur ajoutée le long de la chaîne de valeur apparaissait alors comme central.

C'est à nouveau par un mélange d'opportunisme méthodique et de réflexion par abduction que s'est construit l'objet de recherche du second article de ce travail de thèse. L'opportunité a

émergé alors que nous approfondissions l'étude du secteur de la prothèse dentaire. Nous poursuivions à cette période notre étude approfondie du contexte général en lisant toutes les publications que nous pouvions trouver sur le sujet. Le rapport publié en décembre 2015 par le Conseil Général de l'Armement et la CCI Ile-de France (Rosenberg, Morand, Turcq, 2015) fut l'une de ces lectures, et nous conduisit à nous intéresser à l'initiative alors naissante de l'*Alliance Industrie du Futur* pour la fabrication additive, qui nous semblait une opportunité de recherche intéressante. Alors que nous avons participé à plusieurs réunions de l'initiative débutée fin 2015 – début 2016 et que nous avons mené des entretiens exploratoires, nous nous sommes rendu en juin 2016 à Cambridge au Royaume-Uni pour présenter nos travaux à la conférence académique *R&D Management Conference*. C'est là que l'opportunité devint encore plus intéressante. Nous avons en effet fait la connaissance du Professeur Tim Minshall, de l'*Institute for Manufacturing* de l'Université de Cambridge, et c'est autour d'une pinte de cidre au bord de la rivière Cam qu'il nous raconta son implication dans une initiative pour la fabrication additive qui avait lieu au Royaume-Uni et qui semblait alors comparable à l'initiative de l'*Alliance Industrie du Futur*. L'observation exploratoire de l'initiative française et la Découverte de l'existence d'une action comparable au Royaume-Uni nous ont amené à constater l'existence de modes de coordination entre les acteurs disposant d'actifs complémentaires. Là où nous avons observé une compétition pour le partage de la valeur entre clients et fournisseurs dans le secteur de la prothèse dentaire, nous observions des dispositifs organisationnels coopératifs impliquant différents acteurs de cette chaîne de valeur. Une différence nous est alors apparue concernant les relations inter-firmes, dans lesquelles la coopération nous semblait prendre un rôle plus important. L'importance du stade d'avancement de la technologie montrait aussi ses effets, et est ainsi apparue comme un enjeu essentiel. C'est à la suite de cette opportunité et avec l'apparition (en deux endroits) de ce fait qui nous a marqué que nous avons décidé du sujet du second article.

Le travail sur cet article (projets coopératifs exploratoires) nous a permis de développer une compréhension fine de l'écosystème français de la fabrication additive. Sur la base de cette compréhension et du suivi continu des publications et actualités liées au secteur de la FA, un autre phénomène notable est survenu : le développement de nombreuses alliances dyadiques pour le développement de la fabrication additive. Cette réalité nous semblait pouvoir apporter une perspective complémentaire concernant les relations inter-firmes qui étaient déjà apparues comme un enjeu important et nous avons alors décidé de l'étudier. Ici, le choix du sujet de l'article ne s'est donc pas opéré uniquement par opportunisme méthodique dans une démarche

« tirée » par le terrain mais dans le souhait d’observer les relations inter-firmes sous une autre forme. En d’autres termes, ce choix relève de l’opportuniste méthodique mais également d’une part d’échantillonnage théorique. Cette étude et ses résultats sont rapportés dans le troisième article de cette thèse.

Ce processus d’abduction fut ainsi composé de choix de terrains par opportuniste méthodique et en suivant la piste de faits ne correspondant pas à notre compréhension théorique du moment. Ce processus nous a ainsi permis tout au long de ce travail de construire notre compréhension théorique en faisant apparaître le sujet des relations inter-firmes comme un enjeu stratégique essentiel de l’émergence du nouveau paradigme techno-industriel de la fabrication additive. C’est ainsi que nous avons répondu au fur et à mesure à la question « de quoi mon cas est-il le cas ? » (Dumez, 2016: 208).

Des occasions d’opportuniste n’ont pas eu de suite parce que les pistes ouvertes ne nous ont pas paru sur le moment être les plus fertiles. On citera par exemple des entretiens avec des médecins hospitaliers envisageant l’usage de la FA, des entreprises développant une activité autour de la FA personnelle, des responsables de syndicats professionnels, de nombreux échanges durant des salons professionnels « Global Industrie » ou « VivaTechnology » ...). Ces entretiens et d’autres discussions informelles menés avec différents acteurs nous ont néanmoins permis de renforcer notre compréhension du contexte, d’élargir notre vision, de nous constituer une culture générale du sujet. Ces échanges furent également des opportunités de réflexion et de choix structurants pour la délimitation de notre objet. En effet, en décidant d’exclure certains aspects du cadre de notre recherche, nous avançons en négatif dans sa délimitation. Bien que chronophages, ces pistes que nous avons envisagées puis abandonnées furent, à leur manière, un enrichissement de notre travail.

5.3. Présentation et articulation des articles de la thèse

5.3.1. Justification et réflexion sur le format « sur article » de la thèse

Un choix structurant de notre design de thèse a été de réaliser une thèse sur article. A l’instar d’autres thèses récentes en gestion (voir par exemple Carton, 2015 ; Berkowitz 2016, Le Pendeven, 2018), nous estimons que le format « sur article » favorise l’emploi de perspectives complémentaires qui sont nécessaires pour embrasser le plus largement possible des phénomènes riches et complexes. Cette approche est ainsi cohérente avec un processus d’abduction (Berkowitz, 2016). Ces trois articles sont articulés dans une discussion théorique

d'ensemble au chapitre 9 de la thèse. Nous présentons de ce processus d'articulation dans la sous-section 5.3.3.

Bien que débattu dans le monde académique, ce format nous semble finalement avoir quelques avantages. Nous souhaiterions en évoquer deux qu'il nous semble intéressant de verser au débat sur le format des thèses en gestion. Cette étape de finalisation de la thèse est sans doute un moment opportun pour tenter de prendre un peu de recul sur ce format qui se développe.

Un des avantages de la thèse sur article dans une démarche abductive pourrait être qualifié d'effet butoir. L'écriture d'articles oblige le doctorant à stabiliser une lecture théorique d'un ensemble d'observations. Dès lors qu'on se dote d'une telle grille de lecture, on l'emporte avec soi sur de nouveaux terrains. Une lecture théorique s'est stabilisée et prend alors une fonction de butoir en renforçant l'identification des « faits étonnants » essentiels au processus d'abduction. En effet, comme le souligne Dumez (2016), pour qu'il y ait étonnement, il faut qu'il y ait une attente, donc une théorie. Si l'abduction est évidemment possible en dehors de ce cadre, il nous a semblé que l'écriture des articles renforçait la stabilisation d'une théorie « butoir », et donc l'effet « fait surprenant ». Par ailleurs, la perspective d'un article suivant offre l'opportunité de remise en cause ou de complément de la théorie qui avait été stabilisée sans qu'elle soit abandonnée. Il nous semble que le format sur article simplifie la prise en compte de différents angles et de différentes lectures théoriques. Cette possibilité de « désalignement théorique » rend l'abduction plus « confortable » pour le doctorant, et plus apparente pour le lecteur, qui peut ainsi, nous l'espérons, se faire une meilleure idée de notre cheminement intellectuel.

Par ailleurs, et en complémentarité avec le premier point, la nécessaire cohérence entre les articles de la thèse oblige également le doctorant à toujours garder en tête la question de ce qui « réunit » théoriquement les différents articles. Cet exercice ne va pas de soi, surtout quand on est « le nez dans le guidon » pour un article en particulier²⁹. L'intérêt de cet exercice est qu'il oblige, nous semble-t-il, à monter en théorisation afin de mettre du lien entre les articles ayant des fondements théoriques différents. Pour notre part, cet exercice a induit un effort d'articulation théorique supplémentaire. Cet effort de théorisation nous semble formateur pour le doctorant.

²⁹Nous souhaitons souligner sur ce point précis l'importance du rôle joué par notre directeur de thèse qui a toujours veillé à nous faire garder en tête la perspective d'ensemble de la thèse, au-delà des articles. Cet exemple met peut-être en avant un des rôles spécifiques du directeur de thèse qui encadre une thèse sur articles. Entre autres bonnes raisons d'être reconnaissant, nous remercions spécialement le Professeur Thomas Durand pour avoir joué ce rôle.

Ces retours d'expérience n'épuisent ni ne tranchent évidemment pas le débat entre la monographie « classique » et la thèse sur article. Nous partageons l'idée que la course à la publication peut avoir des effets délétères. Pour l'apprenti chercheur, elle porte le risque de faire perdre de vue la fin (la création de connaissance et leur diffusion), au profit de certains moyens (l'évaluation par les pairs via la publication). Par ailleurs, nous ne nions pas que le choix d'une thèse sur article contienne une part d'isomorphisme et de tactique visant à maximiser l'efficacité des années de thèse en termes de publication (ce qui est fait avec plus ou moins de succès). Néanmoins, il nous semble que le consensus du format de thèse sur article, devant contenir certaines « figures imposées » de la thèse monographique³⁰, est ce qui permet de rendre « confortable » le processus d'abduction, et de demander un effort supplémentaire de montée en théorie, lequel peut s'avérer être formateur pour le doctorant.

Après avoir justifié et discuté l'emploi de ce format de thèse « sur article », nous présentons de manière plus spécifique comment s'articulent les différents articles dans notre travail de thèse.

5.3.2. Les trois articles

Notre thèse est composée de trois articles dont nous présentons l'approche dans cette sous-section, afin d'expliquer par la suite comment ils s'articulent. L'ordre présenté ici est celui auquel nous faisons référence lorsque nous nous référons aux premier, deuxième et troisième articles de la thèse. Il suit l'ordre chronologique dans lequel nous avons développé nos travaux de thèse, comme décrit dans la section 5.2, au travers de l'explication du processus d'abduction.

Le premier article (chapitre 6) donne à voir l'adoption croissante de la fabrication additive et d'autres nouveaux procédés partageant certaines de ses caractéristiques dans le secteur de la prothèse dentaire en France (voir section 6.9 pour des explications détaillées sur les procédés étudiés). Cette étude permet d'observer l'évolution de ce secteur, autour de quatre reconfigurations types de la chaîne de valeur traditionnelle. Elle décrit également les enjeux structurants et les comportements des acteurs au sein de ces chaînes de valeur.

Le second article (chapitre 7) se penche sur les alliances multipartenaires mises en place pour élaborer des stratégies nationales pour la fabrication additive. Cet article relate l'histoire de deux alliances multipartenaires, une en France et une au Royaume-Uni, qui ont pour but d'élaborer une stratégie nationale pour la fabrication. L'article donne à voir les interactions et

³⁰Voir l'avis publié par la *Société Française de Management* à ce sujet : « Dix propositions à propos des thèses sur papiers (ou « thèses sur articles ») », Décembre 2015.

les arrangements organisationnels mis en œuvre par les acteurs impliqués pour élaborer cette stratégie commune, ainsi que les résultats de ces alliances multipartenaires.

Finalement, le troisième article (chapitre 8) s'intéresse aux alliances dyadiques mises en place pour développer les usages de la fabrication additive. Nous nous penchons plus précisément sur l'exploration de 4 études de cas d'alliances ayant été créées en France. L'étude de ces alliances permet de comprendre leurs logiques, les relations entre les partenaires, ainsi que leurs dynamiques d'évolution.

Dans la thèse, chacun de ces articles est suivi d'une discussion complémentaire qui a vocation à renforcer son articulation avec les autres chapitres de la thèse. Ces discussions complémentaires mettent en avant des idées et des enseignements de l'article et apportent des éléments complémentaires, du point de vue empirique et théorique. Elles présentent des éléments utilisés ensuite dans l'articulation entre les articles réalisée chapitre 9. Après avoir présenté chacun des trois articles, nous expliquons leur articulation dans la sous-section suivante.

5.3.3. Articulation des articles de la thèse

Dans cette sous-section, nous présentons la logique d'articulation des travaux de la thèse. Si l'articulation en elle-même est faite chapitre 9, après la présentation de chacun des articles, nous expliquons ici la logique et le sens de cette articulation.

Dumez (2016) met en avant la complexité de la définition des frontières d'un cas. Une question que le chercheur menant une étude aura sans doute à se poser est : « de quoi mon cas est-il composé ? ». Cette question offre un point de départ pour discuter de l'articulation des trois articles de cette thèse. Toujours selon Dumez (2016: 213) : « *Il n'existe pas, comme on l'a dit, de description exhaustive possible d'un cas. Il faut donc déterminer ce qui va constituer l'intérêt du chercheur à l'intérieur du cas. Le chercheur qui mène une étude de cas va rencontrer des incidents, des phases de changements, des pratiques illustratives de routines, des décisions, etc. Tous ces éléments peuvent constituer des unités de sens et d'analyse, et donc être eux-mêmes des cas. Autrement dit, un cas est fait d'une infinité de cas et non pas de cas emboîtés (ou alors, ce sont précisément des cas emboîtés à l'infini)* ».

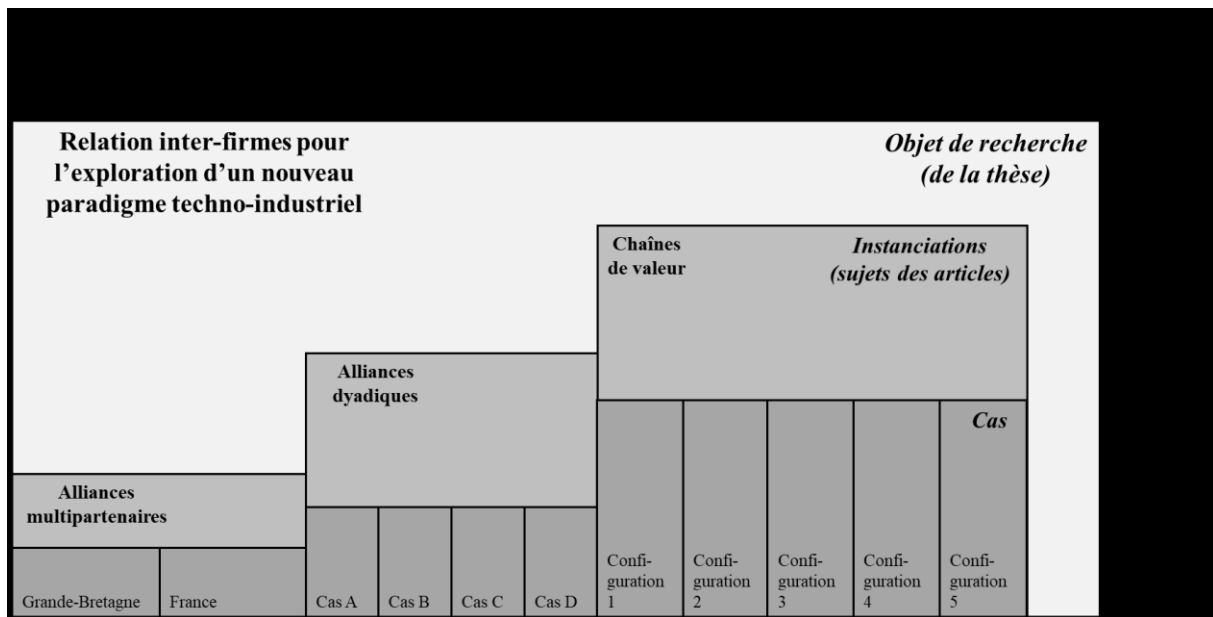
L'articulation des articles de cette thèse suit cette idée d'emboîtement et ce mécanisme de changement des unités d'analyses. Nos trois articles ont chacun une unité d'analyse différente.

Dans le premier article, nous mettons en lumière cinq cas d'acteurs « typiques » donnant chacun à voir la chaîne de valeur dans laquelle ils opèrent. Dans le second article, nous étudions deux cas d'alliances multipartenaires et, dans le troisième, quatre cas d'alliances dyadiques. Dans ces articles deux et trois, l'unité d'analyse est l'alliance (multipartenaire, puis dyadique).

L'articulation des trois articles est opérée dans l'analyse proposée chapitre 9. Dans ce chapitre, le périmètre d'analyse remonte vers un niveau plus macro et devient celui de l'exploration d'un paradigme techno-industriel (la fabrication additive) au sein duquel nous observons les relations inter-firmes mises en œuvre. Si nous ne prétendons bien sûr pas étudier tout l'écosystème en développement de la fabrication additive, nos observations se placent dans ce périmètre. Nous délimitons cet « écosystème » de manière extensive, incluant les producteurs de machines et de logiciels, les revendeurs, les utilisateurs, qu'ils soient spécialisés dans la fabrication additive ou qu'il s'agisse d'industriels utilisant la FA comme un procédé parmi d'autres. Nous incluons également les utilisateurs de pièces diverses fabriquées en FA, dans la mesure où, nous le verrons, ces derniers jouent un rôle important dans le développement des usages. Les divers organismes publics et parapublics impliqués dans ce développement sont également inclus. Finalement, les usages étant en plein développement, nous incluons des utilisateurs en phase de test et d'exploration du potentiel de la FA.

En changeant le niveau d'analyse, les types d'interactions inter-firmes que nous donnons à voir dans les trois articles deviennent des instanciations, au sein du de l'objet de recherche plus large des relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel (celui de la fabrication additive), qui sont alors étudiées à l'intérieur de l'ensemble de l'écosystème en développement de la fabrication additive. La figure ci-dessous illustre l'articulation des onze cas, des trois articles (instanciations des relations inter-firmes) dans lesquels ils sont présentés, de l'objet de recherche de la thèse, et du substrat empirique auquel nous nous intéressons : la fabrication additive.

Figure 8 : Articulation des travaux de la thèse



Dès lors que nous procédons à ce changement de niveau d'analyse pour articuler les différents articles de ce travail de thèse, il convient de définir les éléments que nous comparons entre les différentes instanciations observées. Ces variables deviennent alors nos unités d'analyse. Comme nous l'avons expliqué section 5.2 notre objet de recherche est celui des relations inter-firmes dans le cadre du développement du paradigme de la fabrication additive. Dès lors, notre analyse passe par la décomposition de ces relations inter-firmes en quatre variables qui sont apparues comme structurantes au fur et à mesure de la thèse. Nous en donnons un bref aperçu ici et reviendront plus en détail sur leur contenu dans la discussion que nous proposons chapitre 9. Un premier élément est celui des objectifs des interactions observées, un second est celui des problématiques de gestion majeures qu'elles posent, et un troisième est celui de leurs résultats. Ces trois variables se retrouvent dans les articles de la thèse. Deux autres variables ont émergé de ce changement de niveau d'analyse et de la comparaison des différents types d'interactions observées. Les deux premiers chapitres ont montrés que la fabrication additive englobe des procédés, des matériaux, des fonctions et des secteurs variés. Comme nous l'avons développé dans la synthèse des quatre premiers chapitres, nous appelons modalité une application (ou application possible) du paradigme de la fabrication additive resserrée autour d'un (ou quelques) besoin(s) et une (ou quelques) solution(s) technologique(s). Le contenu des relations inter-firmes en termes de modalité(s) de la FA a émergé comme un élément structurant de l'analyse transversale de nos articles. De plus, le degré de maturité dans l'exploitation de la technologie est aussi apparu comme explicatif des différentes instanciations des relations inter-firmes. Finalement, l'articulation des différentes instanciations observées passe par leur

articulation dans un processus décrivant, à un niveau plus macro, l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel au travers des relations inter-firmes.

5.4. La collecte et l'analyse des données

5.4.1. La collecte des données

5.4.1.1. La collecte de données par entretien

Des détails sur la collecte des données se trouvent dans les sections sur la méthodologie et dans les annexes des articles de la thèse. Nous en donnons ici une vision unifiée et synthétique.

La méthode de collecte principale a été l'entretien. Nous avons mené des entretiens tout au long de ce travail de thèse, entre septembre 2015 et février 2019. Ces entretiens furent chaque fois réalisés pour un des articles en particulier. Au total nous avons mené 58 entretiens.

Sur ces 58 entretiens, nous en qualifions 43 d'entretiens « formels ». Ils furent menés selon la technique de l'entretien semi-directif centré (Romelaer, 2005). Dans la mesure du possible, ces entretiens ont été enregistrés et retranscrits. Plus précisément, tous les entretiens, sauf trois pour le second article, l'ont été. Pour les entretiens non enregistrés, nous prenions des notes, retranscrivant autant que possible les mots exacts utilisés par les interviewés, puis nous les mettions en forme pour l'analyse.

En plus de ces entretiens formels, nous qualifions « d'informels » 15 des entretiens menés. Ils furent menés durant des salons professionnels pour le premier article. En plus de leur durée plus courte, une différence importante ici est que nous allions à la rencontre des interviewés sur les stands des salons sans avoir demandé l'interview au préalable. L'intérêt était ici d'avoir des entretiens plus ciblés sur des questions précises. Ils étaient accompagnés d'une prise de note rigoureuse et notre démarche de recherche était toujours clairement exposée. Dans le cadre du second article, nous avons également eu un certain nombre d'échanges informels avec des membres impliqués sur le terrain, notamment lors des occasions d'observation participante. Ils ont permis une meilleure compréhension du contexte mais la prise de note n'était pas toujours possible (par exemple autour du buffet ou pendant un trajet vers le métro). Le manque de formalisation et de documentation de ces échanges ne permit pas de les utiliser dans un jeu de données pour l'analyse.

Le détail des entretiens menés pour chacun des articles se trouve en section méthodologie ou en annexe de chacun des articles (section 6.8, 7.7, et 8.3).

Pour chaque article, nous avons été amené à interroger des acteurs appartenant à différentes entreprises et organisations. Dans une chaîne de valeur ou une alliance, les différents acteurs n'ont pas toujours des intérêts et des visions convergentes. Les relations inter-organisationnelles de différentes natures constituent alors les interstices où des espaces de convergences, qui permettent la coopération, sont trouvés. Pour comprendre les interactions, il est nécessaire de recueillir les perceptions, les intentions, et les interprétations des différentes parties. C'est suivant cette logique que nous avons procédé à un échantillonnage théorique qui s'est toujours attaché à entendre les différentes parties à l'œuvre dans les relations pour comprendre le point de vue de chacun, et la façon dont des points de vue pas nécessairement convergents peuvent, ou non, se retrouver. Cette démarche est usuelle dans les recherches qualitatives sur les relations inter-firmes, par exemple sur les alliances (voir par exemple Doz, 1996; Ariño et de la Torre, 1998; Ness, 2009). Ce mode de fonctionnement a permis à la fois un enrichissement de l'analyse et la triangulation des données.

Il est toutefois notable qu'aussi intéressante qu'elle soit, cette démarche pose quelques difficultés. En effet, pour comprendre les interactions inter-firmes, il faut comprendre les problématiques qu'elles posent. Les réactions des acteurs du terrain sont différentes faces au chercheur (nous en l'espèce) qui vient s'intéresser à ces relations et aux problématiques qu'elles peuvent poser. S'il y a (heureusement) des personnes ouvertes, d'autres sont plus réticentes à parler de situations conflictuelles, particulièrement dans des situations où des pratiques stratégiques pourraient être jugées comme « agressives ». Cette réticence peut se traduire par un refus de l'entretien et/ou par une expression durant l'entretien dans laquelle on évite les sujets qui fâchent et on embellit la réalité. Un moyen de contourner, ou du moins d'atténuer les effets de cet obstacle est justement d'insister auprès des interlocuteurs sur le risque que nous fassions nôtre, et que nous couchions sur papier, un point de vue qui ne prendrait pas le leur en compte. Insister sur les points pouvant être conflictuels qui généraient la réticence permet souvent, finalement, de venir à bout de celle-ci dans un contexte où les intérêts divergents restent du domaine de l'acceptable (il n'y a rien d'illégal par exemple).

Faire des recherches sur les interactions nous semble également difficile car cela nécessite de regagner l'accord du terrain à chaque entretien (là où, au niveau d'une entreprise, une « porte ouverte » peut permettre de collecter beaucoup de données). Néanmoins, cette difficulté nous semble le prix nécessaire pour accéder à une compréhension riche des mécanismes à l'œuvre à la fois au sein des cas étudiés et à un niveau d'analyse plus macro.

5.4.1.2. L'observation participante comme source de données primaires et secondaires dans le second article

Une autre méthode de collecte de données primaires fut l'observation participante. Cette méthode a été employée pour le second article de la thèse. L'usage de l'observation participante a eu lieu par deux voies différentes selon les deux cas étudiés dans le second article. Dans la première voie, pour le cas français, nous avons approché le terrain en nous rendant à la première réunion publique de l'initiative fabrication additive de l'Alliance Industrie du Futur à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers. Nous avons ensuite participé à deux groupes de travail au travers de 5 réunions de travail et nous sommes rendus à deux réunions plénières (à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers puis au ministère des Finances). Le rôle que nous avons effectivement joué en dehors de l'observation fut assez mineur, en effet, nous ne représentons pas le point de vue ni les intérêts d'une entreprise dans l'alliance multipartenaires ; notre contribution s'est limitée à parfois signaler des informations que nous avons apprises durant nos recherches sur la fabrication additive et, plus rarement, à donner un avis extérieur sur les actions en discussion. Néanmoins, n'ayant que peu contribué et n'ayant que peu de poids, et pas d'intérêts ou de point de vue à défendre de par notre position, il nous semble que notre participation n'a que très peu (voire pas du tout) influencé le cours des choses. La seconde voie par laquelle l'observation participante a été utilisée est, toujours dans le second article, pour le cas anglais. Dans ce cas, nos co-auteurs Tim Minshall et Charles Featherston ont été impliqués comme acteurs centraux dans l'organisation de l'initiative anglaise pour l'élaboration d'une stratégie pour la fabrication additive (organisation et animation de workshops, rédaction de documents de travail...). Ils ont participé à ce titre à plus de 50 réunions et ont eu de nombreux échanges avec les autres acteurs impliqués. On peut noter qu'ici, ils ont sans doute eu une influence plus marquée que la nôtre sur le cours des événements. Néanmoins leur rôle demeure relativement neutre. Tim et Charles avaient en effet été choisis comme support et coordinateurs de l'initiative pour leur position neutre, car leur institution – l'*Institute for Manufacturing* (IfM) de l'Université de Cambridge – n'avait pas d'intérêt économique direct dans une éventuelle stratégie anglaise pour la FA. Notamment, l>IfM ne menait et ne mène pas de R&D sur la FA, et n'avait donc pas vocation à être le bénéficiaire d'investissements publics en R&D.

Pour ce cas, le matériau empirique sur lequel se fonde l'analyse est double. D'une part, il s'agit du texte (25 pages) d'une étude de cas descriptive du processus d'élaboration de la stratégie anglaise pour la fabrication additive par l'alliance multipartenaire (rédigée pour le projet de

recherche). D'autre part, cette étude de cas descriptive est complétée par de nombreuses discussions et réflexions communes que nous avons eues avec nos co-auteurs et qui permettent d'élargir et d'approfondir la compréhension du cas. Si nos coauteurs ont rédigé l'étude de cas, et donc *a priori* décidé de ce qui figurerait dedans, ces échanges ont permis d'explorer d'autres aspects du contexte qui n'apparaissent pas dans leur document. L'analyse de ce matériau dont est issu le second article est essentiellement le fruit du travail et de la réflexion de l'auteur de cette thèse et a été validée par les co-auteurs.

Tim et Charles sont nos co-auteurs pour le second article, les données issues de cette observation participante sont ainsi des données primaires pour l'article, car collectées par certains des auteurs. Néanmoins, dans le cadre de cette thèse, nous considérons l'étude de cas qu'ils ont rédigée comme une source de données secondaires car nous ne les avons pas collectées nous-même. Il s'agit néanmoins de données secondaires internes et de grande qualité car elles l'ont été par des acteurs de l'alliance multipartenaire avec une grande neutralité et à des fins de documentation de la démarche, et qu'elles ont par ailleurs été enrichies par une réflexion commune entre les auteurs et nous-même.

5.4.1.3. Les autres données secondaires

Les autres sources de données secondaires sont des coupures de presse, de rapports, de documents commerciaux, de documents de travail et autres supports de réunions. On notera que le second article utilise un nombre assez important de sources secondaires internes, que le troisième fait appel à un grand nombre de sources secondaires publiques, en particulier issues de la presse et de publications économiques. Dans ce troisième article, le recours à ces sources secondaires a été notamment utilisé dans la phase d'exploration. Enfin, le premier article s'appuie sur un plus grand nombre de documents commerciaux. Cela s'explique d'une part par le fait que c'est le seul article dans lequel les offres de marché sont stabilisées, et d'autre part parce que ce type de documents offre une vision claire du rôle des acteurs dans les chaînes de valeur (dont l'étude est au cœur de cet article) – les deux points étant évidemment liés.

La synthèse des données collectées durant le travail de thèse se trouve dans le tableau 4 ci-dessous

Tableau 4 : Synthèse des données collectées

	Entretiens	Observation participante	Données secondaires
Article 1	23 (1656 minutes)	3 réunions plénières (~15 heures) 5 réunions de travail (~10 heures)	+ 40 sources internes 1 étude de cas interne (25 p)
Article 2	8 (498 minutes)		+ 100 documents consultés
Article 3	12 formels (850 minutes) 15 informels (~225 minute)		31 documents sélectionnés

5.4.2. L'analyse des données

L'ensemble des données collectées pour la thèse ont fait l'objet d'une analyse qualitative. Dans cette sous-section, nous revenons sur les processus d'analyse que nous avons suivis. Nous donnons d'abord la méthode d'analyse commune aux différents articles. Ensuite, les processus d'analyse ayant varié de manière importante selon les articles, nous détaillons le processus suivi pour chacun des articles.

De manière générale et en lien avec la construction de l'objet de recherche présentée section 5.2, notre approche de l'analyse des données a été abductive. Nous avons fait, pour les jeux de données propres à chaque article, de nombreux allers-retours entre nos données et des littératures parfois variées. Par ailleurs, l'analyse a également souvent été menée en parallèle avec la collecte des données.

L'analyse de nos données a été réalisée par codage ouvert. Si elles étaient guidées par des cadres théoriques que nous avions à l'esprit, nous avons toujours procédé en laissant émerger autant que possible des catégories d'analyse de nos terrains de recherche afin d'éviter de « plaquer » des théories sur nos différents cas.

Ainsi, même si les articles sont classiquement présentés en suivant des plans dans lesquels les éléments théoriques sont présentés avant les résultats, de nombreux éléments théoriques mis en avant sont en réalité issus de recherche dans la littérature concernant des éléments que nous avons vu émerger dans les cas observés. Ceci est d'ailleurs clair dans les méthodologies des différents articles qui spécifient bien que la méthodologie est abductive.

Par ailleurs, les codages ont toujours été multinominaux : nous nous autorisons à coder des unités de sens issues des données dans plusieurs catégories conceptuelles (les codes). Ces codages ont toujours été une étape clé dans la mise en avant des éléments intéressants des terrains étudiés, qui ont ensuite été restitués au travers de l'écriture des cas tels qu'ils le sont dans nos articles de recherche.

De manière générale, la méthode d'analyse des données suivie se rapproche de celle décrite par Dumez (2016). Notre processus de codage contient en effet une dimension « bricolage » et a été réalisé en essayant d'éviter le risque de circularité et pour faire émerger des enseignements à la fois intéressant et correspondant aux faits.

Dans les trois sous-sections qui suivent, nous donnons les détails de notre processus de codage et d'analyse mené pour chacun des articles.

5.4.2.1. Détail du processus d'analyse des données pour le premier article

Le travail sur le premier article s'est étendu sur la plus grande durée de la thèse. Pour cet article, on peut distinguer le processus d'analyse sur les données en deux temps. Dans un premier temps, l'analyse a consisté à repérer les différentes reconfigurations de chaînes de valeur à l'œuvre dans le secteur de la prothèse dentaire. Bien que relativement descriptive, cette première étape de compréhension consistait en un travail sur les ressemblances/différences entre les chaînes de valeur décrites demandant un effort d'analyse et de synthèse de techniques qui se trouvaient décrites de manière éparsée dans le matériau. Une seconde étape a été de se questionner sur les causes d'émergence de ces nouvelles configurations de chaînes de valeur, en utilisant le cadre des capacités dynamiques comme *orienting theory*. Une première analyse proposée a fait émerger des conclusions que l'on retrouve dans l'article (sous-sous-sections 6.4.4.4, 6.4.4.5, et 6.4.4.6), ainsi que dans d'autres parties de la thèse (discussion de l'article section 6.9, et synthèse de l'article section 9.1.1). Cette analyse a été proposée pour répondre à un appel à communication du *Journal of Operations Management*. Les évaluateurs nous ont alors demandé une révision en nous suggérant d'adopter un autre cadre théorique d'analyse, celui du management des opérations. Nous avons alors revu notre analyse en ce sens en reformulant, les conclusions issues du cadre des capacités dynamiques qui nous semblaient fondamentales.

Ce processus d'analyse en plusieurs étapes et orienté par des évaluateurs dont la sensibilité théorique était différente de la nôtre nous a permis de construire une compréhension du terrain étudié dans le second article qui nous semble complète et qui permet de limiter le risque de circularité.

5.4.2.2. Détail du processus d'analyse des données pour le second article

L'analyse pour le second article a, comme l'ensemble du travail de thèse, construit un modèle par abduction. En parallèle d'une première entrée sur le terrain (dans le cas français),

d'entretiens exploratoires, et de premières discussions avec nos co-auteurs qui étaient familiers du cas anglais, nous avons envisagé l'adoption de premières orientations théoriques ou *orienting theory* (Strategy as Practice) et de premiers angles d'analyses (les intentions individuelles des acteurs) qui nous apparurent peu explicatifs et difficiles à mettre en œuvre. Un approfondissement de l'analyse du terrain (écriture du cas anglais et de nouveaux entretiens sur le cas français) fut l'occasion d'une première tentative d'analyse systématique des données, orientée par la littérature sur les alliances stratégiques. Plus précisément, nous avons envisagé la perspective du fonctionnement des relations dans les alliances qui suggère que ces interactions entre partenaires d'une alliance suivent des logiques soit plutôt coopératives, soit plutôt compétitives. C'est lors de ma période de *visiting* à l'*Institute for Manufacturing* (printemps 2017) que nous avons tenté une analyse systématique guidée par cette approche théorique. Cette approche s'est avérée infructueuse, et nous avons évité l'écueil qui aurait consisté à « forcer » les données en cherchant à tout prix des éléments empiriques sur lesquels nous aurions pu plaquer le cadre théorique, éloignant ainsi le risque de circularité.

Une revue de la littérature permit de se rendre compte que les recherches sur le fonctionnement des alliances multipartenaires ne proposaient pas de cadre analytique général des relations entre les partenaires. Nous avons alors adopté une approche inductive en recherchant les similarités entre les deux cas. Cet abord par rapprochement permettait de suggérer un cadre théorique intégrateur du fonctionnement des relations dans les alliances multipartenaires basé sur deux cas (donc mieux documenté). C'est pourquoi elle a été privilégiée, malgré le fait qu'une approche recherchant les différences aurait pu faire émerger d'autres conclusions intéressantes. Cette piste apparaît comme une voie de recherche future.

5.4.2.3. Détail du processus d'analyse des données pour le troisième article

L'analyse des données pour le troisième article s'est déroulé simultanément à leur collecte. L'identification de l'existence d'alliances dyadiques comme mode de relation inter-firme nous a intéressé, ce qui a donné lieu à l'identification des quatre cas, d'abord étudiés sur la base de sources secondaires. Ces dernières, étudiées au prisme de la littérature sur les intérêts et objectifs des alliances nous ont permis un premier niveau de compréhension des objectifs des alliances étudiées.

Alors que nous démarrions la collecte des données par entretien, une revue de la littérature nous a conduit à identifier un certain nombre de thèmes mis en avant dans la littérature sur le management et les dynamiques relationnelles au sein des alliances dyadiques : objectifs des

alliances, complémentarité stratégique et organisationnelle entre les partenaires, choix du partenaire, dynamiques relationnelles coopératives et compétitives au sein des alliances, mode de gouvernance, de décision, et de management dans les alliances, évolution de ces différents aspects. Ces thèmes structurèrent la collecte des données (donc, d'une certaine manière, leur première analyse), mais la conduite d'entretiens semi-directifs laissaient néanmoins la place à l'émergence de nouveaux thèmes. Grâce à cette ouverture est apparue la problématique de la gestion de l'équilibre entre exploration et exploitation qui est au cœur de l'article. A ce moment (à l'automne 2018), nous n'avons pas mené tous les entretiens. Nous avons analysé les entretiens déjà menés (5 sur 8, dont au moins un par cas) avec une approche chronologique et dans un processus de codage ouvert avec pour but de comprendre la logique de l'alliance à sa formation, ses mécanismes de gestion, les difficultés rencontrées et leur mode de résolution, et les résultats de ces alliances à la date de l'entretien.

Cette analyse nous a permis d'identifier plus clairement la tension exploration-exploitation et ses manifestations dans les différentes alliances. Cette tension est apparue comme structurante du fait de l'état d'avancement des différents procédés et usages de la fabrication additive dans les cas étudiés. L'analyse a montré que dans trois cas sur quatre, les acteurs souhaitent opérer la bascule entre développement des technologies et usages (exploration), et application opérationnelle et commercialisation (exploitation), mais rencontrent des difficultés. Ces difficultés s'avèrent structurantes dans le management et les dynamiques de coopération dans les alliances. La conduite des trois derniers entretiens a permis de vérifier l'importance de cette problématique et d'approfondir l'étude de sa gestion dans des trois des quatre cas.

Synthèse du chapitre 5 : démarche et design de la recherche

Notre problématique porte sur la façon dont s'organisent les relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. La thèse aborde cette problématique par une démarche compréhensive telle que décrite par Dumez (2016). Nous avons construit l'objet de recherche de manière abductive, par de nombreux allers-retours entre la théorie et les observations de terrain. Les résultats de cette démarche sont notamment décrits dans les chapitres suivants au travers de trois articles de recherche qui se penchent au total sur 11 études de cas. Si les articles portent chacun des résultats de manière autonome, un changement de niveau et d'unité d'analyse permettra (chapitre 9) de faire émerger une vision d'ensemble d'un périmètre plus large, celui de l'émergence d'un nouveau paradigme techno-industriel, au sein duquel nous nous intéressons aux relations inter-firmes mises en œuvre pour son exploration.

Au travers de ce changement de niveau d'analyse émerge la variable de la modalité de la FA qui apparaît comme essentielle ainsi qu'une vision processuelle de l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel par des relations inter-firmes. Au total, l'observation s'est déroulée au travers de 58 entretiens, d'une démarche d'observation participante pour le second article, et de nombreuses données secondaires, dont notamment une étude de cas interne pour le second article. Ces données ont été analysées par un processus de codage ouvert et multinominal, permettant de faire émerger du terrain des apports théoriques préalablement aux enquêtes.

Avec ce cinquième chapitre sur la méthodologie, se clôt la première partie de notre thèse. Dans la suivante, nous présentons les résultats des recherches empiriques menées au travers de trois articles autonomes. Chacun de ces articles est suivi d'une discussion ayant vocation à en extraire des éléments saillants pour l'analyse et l'articulation d'ensemble que nous présenterons au chapitre 9.

Seconde partie

Résultats

6. Premier article : Disintermediation factors in the wake of the digitization of manufacturing: Evidence from the French dental industry

Abstract:

The digitization of manufacturing has the potential to transform supply chains. We examine how and why some supply chain players have been disintermediated in the wake of the digitization of manufacturing. Specifically, we identify operational factors related to digital manufacturing (DM) that trigger disintermediation in supply chains. Our comparative case study of a craft industry captures current trends in the French dental prosthesis industry. We describe five supply chain configurations, explain actor disintermediation (or lack of it), and derive theoretical propositions from these findings. We identify two factors of disintermediation: the transition from handcraft to mass customization, and production location choices driven by customer lead time reduction. We also show that disintermediation is hampered by manufacturers' limitations as regards their absorption of customization and by customizers' ability to appropriate new manufacturing practices. Finally, we suggest that complementary services provided alongside machines and software help to reduce lead time by bringing fabrication close to the customer and thus foster disintermediation. Theoretically, this paper contributes to the field of operations management by exploring disintermediation factors in the context of manufacturing digitization.

Keywords: digitization; disintermediation; supply chain; mass customization; lead time; location.

6.1. Introduction

Digital manufacturing (DM) is the use of digital tools in production. Design is implicit in the term, which refers to the coupling of digital design and manufacturing of products. DM has opened up new possibilities in various sectors. For example, 3D scanners allow real-world shapes to be captured and converted into digital models. Computer Aided Design (CAD) software supports product design. Computer Aided Manufacturing (CAM) machines automate the fabrication of products following a digital design—increasing reliability, precision, and the achievable level of complexity. Some CAM machines (e.g. computer numerical control (CNC) milling) reduce production lead times compared to craft techniques and digital tools can be highly flexible (e.g. CNC milling, additive manufacturing). Digital designs can be exchanged through the Internet and combined with versatile machines that can be run wherever production is needed. Thus the digitization of manufacturing might drastically reduce the need for transportation. DM should make it easier to transform digital designs into physical objects and *vice versa*. Similar to what Chuck Hull's (2012) said about additive manufacturing, DM could be “*an ideal path between the digital and physical worlds*”.

These technologies can offer new options for each step of the supply chain. For example, additive manufacturing (AM), also called 3D printing, has the potential to trigger changes in the organization of industrial operations (D'Aveni, 2015; Petrick and Simpson, 2013; Weller *et al.*, 2015; Rayna and Striukova, 2015). Even if some researchers have emphasized the limits of AM (Holweg, 2015), a substantial transformation could be underway. Since DM could drastically change the way we produce things, an operations management point of view is needed to understand this new phenomenon. Digitization has been identified as a major driver of change in supply chains (Holmström *et al.*, 2016; Ford *et al.*, 2016; Khorram *et al.*, 2017). Ford *et al.* (2016) have noted a gap in the literature—little work has been conducted on the impact of AM on supply networks—and asked: “How is the application of AM changing the structure and complexity of supply networks? What types of suppliers are being disintermediated through the application of AM?”

Jiang *et al.* (2017) have drawn up four scenarios for the future of AM, contrasting traditional in-house mass production with the opportunity to sell digital files that can then be manufactured by the consumer. However, due to the opportunities arising from DM, a great deal of local variation may occur and exchange within the supply chain may take complex forms, differing from the simplified scenarios they suggested. Other research on supply chain changes due to

DM also relies on accepted models of supply chains to highlight and assess the opportunities provided by DM (Holmström *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2013; Bogers *et al.*, 2016). However, in-depth study of the impact of DM on supply chains is still needed if we wish to understand how and why radical transformations of traditional supply chain arrangements happen, and to sketch the related theoretical relationships that underpin them.

To understand these transformations, we adopted the view that the supply chain is a locus of competition between actors, including intermediaries, to capture the greatest value (Cox, 1999; Cox *et al.*, 2001). From this perspective, disintermediation is “*the removal or a weakening of an intermediary within a supply chain*” (Mills and Camek, 2004). We studied disintermediation to gain insights into what is at stake beyond the transformation of the supply chain triggered by DM. In other words, we examined how and why some supply chain players have been disintermediated in the wake of the digitization of manufacturing.

To answer our dual research question (how and why), we looked at the specific context of a craft industry transitioning to DM. Craft manufacturing consists of the production of handmade goods requiring specialized skills and is often used for traditional customized production. It is carried out by a highly skilled artisan who handcrafts tailor-made products. Customization is viewed as one of the most important outputs of DM (Tuck and Hague, 2006; Reeves *et al.*, 2011; Holweg, 2015; Deradjat and Minshall, 2016), which suggests that DM could transform customization and thus have a strong impact on craft industries. Hence it is particularly relevant to study the impact of DM on these industries.

Moreover, craft manufacturing has been largely replaced by industrialized production. However, in industries where skilled handwork remains the most effective method, craft manufacturing has survived successive industrial transformations. In this context, we might assume that the digitization of manufacturing will have a stronger effect on industries that were less affected by previous transformations compared to industries that have continuously changed in step with manufacturing technologies. In other words, craft industries appear to be an extreme case of transformation and could yield many insights.

Two other reasons reinforce the relevance of craft industry to our research question. First, from an operational point of view, DM technologies are progressing toward the potential automation of non-routine and complex manual tasks. Hence manual workers are expected to be among the most affected (Frey and Osborne, 2013; Brynjolfsson and McAfee, 2014). Second, from an organizational point of view, craft SMEs are typically very small firms working with few

resources that do not necessarily apply modern managerial principles (D'Amboise and Muldowney, 1988). They rely on tacit knowledge, and have a stronger focus on technical skills and operational efficiency than on management (Gamme *et al.*, 2017). From an organizational point of view, craft SMEs are thus considered to be less capable of strategizing and implementing transformation and adaptation (D'Amboise and Muldowney, 1988). Hence, craft industries are likely to be affected by the full force of the digitization of manufacturing.

Our research followed a multiple case study methodology, capturing the details of current developments within the French dental prosthesis industry (Eisenhardt, 1989; Eisenhardt and Graebner, 2007). The current transition constitutes a period of digitization of this customization industry. We will describe five illustrative cases based on the clustering of actors in the industry. Then, we will highlight disintermediation factors and link them to models of supply chain configurations to explain how and why they foster (or hinder) disintermediation.

In the next sub-section (6.2), we will discuss elements of the literature that shed light on our topic. Then, in sub-section 6.3, we will describe our methodology. Sub-section 6.4 will present the findings of our empirical investigation. Finally, we will discuss our findings and their implications in sub-section 6.5 before concluding.

6.2. Literature review

6.2.1. Digitization of manufacturing and operations management

Digital manufacturing (DM), and more specifically additive manufacturing (AM), have been identified as major drivers of change in the supply chain (Holmström *et al.*, 2010; Ford *et al.*, 2016; Khorram *et al.*, 2017). The literature highlights several factors that can potentially interact with the digitization of manufacturing and lead to disintermediation in supply chains: quality, mass customization, lead time, and production location (Tuck *et al.*, 2007; Holmström *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2013; Mellor *et al.*, 2014; Bianchi and Åhlström, 2014; D'Aveni, 2015; Gao *et al.*, 2015; Weller *et al.*, 2015; Ford *et al.*, 2016). We will review these factors below and then discuss the conclusions reached in the emergent literature on the impacts of the digitization of manufacturing on the supply chain.

6.2.2. Quality

Quality has been recognized as a central variable of competition, one that highly depends on operations management. Quality can be subdivided into eight

dimensions according to Garvin (1987), among which reliability and esthetics. The multidimensional nature of both quality and DM seems to have prevented their interaction from being explored. However, if DM does improve some aspects of quality, then it could prove a factor of disintermediation.

6.2.3. Mass customization

Following Fogliatto *et al.* (2012), we define mass customization (MC) as “*a production strategy focused on the broad provision of personalized products and services (Davis, 1989; Pine et al., 1993), mostly through modularized product/service design, flexible processes, and integration between supply chain members.*” This summarizes the main idea behind MC: associating the respective advantages of mass production and customization, which requires specific techniques.

Beyond this definition, there is a rich literature about MC—including on manufacturing technology, of particular relevance to this paper. Both digital manufacturing and additive manufacturing have been described as beneficial to MC since a common process can be used for the production of customized goods (Fogliatto *et al.*, 2012, Tuck and Hague, 2006, Tseng and Radke, 2011; Reeves *et al.*, 2011; Chryssolouris *et al.*, 2009). Indeed, since MC requires adjusting to customers’ needs while producing large quantities, a production process that is suitable for ever-changing products is an essential resource, as suggested by previous research (Zhang *et al.*, 2003). Flexibility in general has been defined as “*the ability of a system to adapt to internal or external influences, thereby acting or responding to achieve a desired outcome*” (Reichhart and Holweg, 2007: 1148). Manufacturing flexibility in particular is the capacity to change production (i.e. product and quantity) to meet changing customer demand “*without excessive costs, time, organizational disruptions or performance losses*” (Zhang *et al.*, 2003: 173). Machine flexibility—the speed and cost at which machines can be versatile—is a type of manufacturing flexibility (Beach *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2003; Reichhart and Holweg, 2007), of which it is an essential aspect. Given that DM tools are more versatile than many other manufacturing technologies, they foster manufacturing flexibility. They can thus be a means to achieve mass customization. This link is illustrated in Fogliatto *et al.*, (2012), who mentioned flexibility and digital manufacturing as sources of MC.

In the introduction, we suggested that DM technologies would make it possible to industrialize handmade production of customized products in a “made to order” context, thus moving toward

mass customization. Since DM seems beneficial for the development of mass customization, research on the transition to MC may generate insights into the topic of digitization of manufacturing. Previous studies indicated that such a shift would require the integration of traditional mass production techniques with customization (Duray, 2002, Oettmeier *et al.*, 2016). However, this is a difficult process (Rungtusanatham and Salvador, 2008; Fogliatto *et al.*, 2012). Duray (2000) classified types of mass customizers according to the point of the production process at which *customer involvement* and *modularity* were implemented. In her typology, mass customizers involving the customer early (at the design or fabrication stages) are the most similar to traditional non-mass customizers, whereas late customer involvement (at the assembly or use stage) is closer to traditional manufacturers (mass producers of standardized goods). As for modularity, it typically made it possible for mass manufacturers to mass-produce modules and then, at a later stage, recombine products out of the modules in ad hoc, customized ways.

Later, studying the roots of MC capabilities, Duray (2002) explained that both traditional manufacturers and traditional customizers could shift toward MC. Consistently with her previous typology, she found that traditional manufacturers moving toward MC mostly involve their customers late in the production process, contrary to traditional customizers moving toward MC, who mostly involve their customers early. These findings suggest that early customer involvement in production is difficult to achieve for traditional manufacturers. In a context where DM may help industrialize handmade production and achieve mass customization, the issue of early customer involvement raises the question of the roles of these two types of actors within the MC supply chain.

6.2.4. Reducing customer lead time by producing close to the customer

Reducing lead time to deliver products faster, and simultaneously reduce stocks and storage costs, is a fundamental element of performance (Stalk Jr, 1988, Heikkilä, 2002; de Treville *et al.*, 2004). When it comes to cutting lead times and logistics costs, temporal considerations may play a more central role in decisions concerning production location than the intrinsic advantages of a location (e.g. cost, access to knowledge) or organizational criteria (Ketokivi *et al.*, 2017). The digitization of manufacturing, especially AM, could promote local production close to the customer, thus significantly reducing lead times (especially from the customer's point of view) and cutting transportation costs (Tuck and Hague, 2006; Holmström *et al.*, 2010, Liu *et al.*, 2013; Jia *et al.*, 2016). This matter is key in the digitization of manufacturing.

However, empirical evidence illustrating this business opportunity is lacking in the literature. In the rest of the paper, we will use the wording “customer lead time” to specify the “lead time from the customer’s point of view” as this appears to be the most important dimension of lead time that could be detected during our case studies.

6.2.5. Digitization of manufacturing and transformation in the supply chain

The notion of local production of customized goods close to the customer has led researchers to focus on the potential of personalized production by consumers themselves in a “consumer-centric business model” (vs “manufacturer-centric”) (Bogers *et al.*, 2016). In the consumer-centric model, production is carried out locally by the consumer while the manufacturer provides a platform for designing, sharing the design with a community and, possibly, for innovation (Rayna *et al.*, 2015). Here, centralized producers are disintermediated for they abandon a large part of their activity. In the same vein, Jia *et al.* (2016) emphasized the issue of customized production control in supply chains using AM. The authors compared two models relying on two different supply chains for personalized, made-on-demand chocolates. One was “manufacturer dominant”, i.e. the personalized product was made at the manufacturer’s plant while the other was “retailer dominant”, i.e. the personalized product was created at the retail store. Their paper reported on a computer simulation assessing the profitability of each actors in these two supply chain. The authors acknowledged the competitive issue of controlling on-demand customized fabrication and pointed out that the profit of the manufacturer that used to control production decreased in the “retailer dominant” model.

In the aircraft spare part supply chain, other studies have compared the use of AM in a small number of centralized regional production centers versus a larger number of decentralized local centers providing maintenance and repair services (Holmström *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2013). The latter is seen as reducing lead time and inventory costs, improving value to customers; and implying the disintermediation of the regional distribution centers because digital models to be manufactured were sent directly to local centers by the original equipment manufacturers (OEM). Finally, Jiang *et al.* (2017) have stressed that consumer production of digital designs and local production are potential (and even probable, according to their findings) sources of transformation of traditional supply chain arrangements.

This recent literature illustrates the expected advantages and effects of close-to-the-customer, customized, and customer-made production, and the potential combinations of these new

practices. Their implementation would imply a transformation of operations, largely based on shortening the supply chain, which would, in turn, imply disintermediation of some actors. Other research has emphasized the limits to the implementation of such distributed supply chains (Holmström *et al.*, 2010; Holweg, 2015; Liu *et al.*, 2013). However, these developments remain rather generic and very little empirical data illustrating such practices has been published.

An empirical investigation of the digitization of manufacturing in the hearing aid industry has taken the opposite stance: the conclusion was that it had not led to disintermediation in the supply chain (Sandström, 2016). These divergent findings seem to show that the disintermediation effect is highly industry-specific. Moreover, due to scarce empirical research, it remains difficult to have a clear picture of the impact that the digitization of manufacturing may have on disintermediation in supply chains. We identified this as a gap in the literature.

The notion of disintermediation appeared in the early 1990s to define the threat, for a physical commercial agent, of being excluded from the supply chain by e-commerce actors (Mills and Camek, 2004; Ritchie and Brindley, 2000). This was in the context of the development of web shopping and retail digitization; it is thus closely linked to digital technologies (Mills and Camek, 2004). This view of the supply chain as the locus where buyer-supplier relationships imply competition to capture the greatest value was developed within the literature on power in the supply chain (Cox, 1999; Cox *et al.*, 2001). Power in the supply chain relies on the control of key resources (Crook and Combs, 2007). One essential resource—controlling customer relationships—has been recognized as increasingly important since the 1990s; as a result, value creation in the manufacturing industry has moved toward providing services at the downstream end of the supply chain (Wise and Baumgartner, 1999). More recently, and in the same vein, Vendrell-Herrero *et al.*, (2017) have shown how digital servitization can increase the power of actors at the downstream end of the supply chain, while upstream actors owe their power to the fact that they control unique resources (intellectual property, technologies, knowledge, organizational culture and flexibility, etc.). Along similar lines, we aim to explore the relationship between the development of digital technologies and disintermediation.

All in all, we became aware of the fact that the literature did not provide enough empirical insights into why (factors) and how (players, processes, and extent) DM could lead to some forms of disintermediation—which involves removing or weakening some players, and expanding the role of other players. We looked at the dental industry in France to find answers to these questions.

6.3. Methodology

6.3.1. Research methodology

Our aim was to understand how and why digitization might lead to disintermediation of some actors within a supply chain. Thus we intended to contribute to the field of operations management by following a theory elaboration rationale (Ketokivi and Choi, 2014). For this reason, and also because we addressed “how” and “why” questions, and studied a transformation process, a qualitative approach was more appropriate (Yin, 2014; Pratt, 2009). By conducting a multiple case study we could both explore contemporary developments in depth, and identify patterns and specificities through cross-case analysis (Eisenhardt, 1989; Eisenhardt and Graebner, 2007; Yin, 2014).

We decided to analyze the French dental prosthesis industry for three main reasons. First, in this industry, each prosthesis is custom-made for the patient. This need for customization makes DM particularly suitable for the industry. Second, in France it is a traditional craft industry, with 85% of companies having fewer than seven employees. Hence dental prosthesis industry is likely to be a relevant empirical field in which to observe the emergence of digitization in a craft industry. Third, the French dental industry is undergoing a sweeping transformation—although the first digital machines for dental prostheses production appeared about thirty years ago—notably because of recent advances in intraoral digital scanning technologies.

Moreover, in their study about the future of employment, Frey and Osborn (2013) ranked dental technicians among the top 8% of occupations that were most susceptible to computerization among the 700 occupations they studied. Even if the overall conclusions of the study have been criticized, this ranking illustrates the depth of the transformation faced by this industry. In short, process innovations relying on the digitization of manufacturing are significantly changing the industry, and in the dental industry such a radical transformation is a rare circumstance. This suggests that the sector is an extreme setting that may illustrate the various impacts of digitization on supply chains particularly well (Siggelkow, 2007). Previous research on the digitization of manufacturing in dentistry confirms that something significant and noteworthy is happening in an industry whose supply chain has not been researched yet (Liu *et al.*, 2006; van Noort, 2012; Deradjat and Minshall, 2016).

6.3.2. Data collection and analysis

We followed the usual guidelines for case study research (Stuart *et al.*, 2002; Barratt *et al.*, 2011; Yin, 2014). Hence we combined different sources of data. We collected and read professional publications and industry press releases. Once our understanding of the case studies had become more settled, we decided to keep thirteen sources, considered to be the most relevant, for the final analysis. We also conducted a total of 27 interviews (formal + informal). We conducted twelve in-depth (formal) semi-structured interviews. These interviews dealt with several main topics: technology/process used, business model, changes in the company's process and supply chain, financial considerations, interactions with other industry actors (suppliers and clients), and general point of view on the industry. All these interviews were recorded and transcribed. Moreover, we visited two trade fairs: one dedicated to dentists and one to prosthetists. These two business events provided the opportunity for a total of fifteen additional informal exchanges (from ten to thirty minutes each). The notes taken during informal exchanges were also transcribed. In addition, we collected sixteen marketing documents about available offers and commercial claims.

Interviewees and data sources were selected so as to encompass each type of activity and supply chain in the industry, distinguish between more and less innovative actors, and include different points of view. This diversity of sources supports the internal validity of our findings. Details concerning our data sources are provided in Table 5.

----- Insert Table 5 about here -----

Since our research follows a theory elaboration rationale (Ketokivi and Choi, 2014), we iterated between theory and data to perform the analysis. We refined our analysis through the constant comparison between our growing dataset and the theoretical framework, which we were continually narrowing down (Glaser and Strauss, 1967; Barratt *et al.*, 2011). We researched seventeen actors (dentists, prosthetists, and equipment manufacturers) from the dental prosthesis industry. We soon identified very similar situations and started to cluster the seventeen actors according to the supply chain configuration in which they operated. Please note that an actor could actually belong to more than one configuration (e.g. a manufacturer selling machines to both dentists and prosthetists; or a prosthetist using a digital machine to mass produce prostheses while producing handmade esthetic).

As we progressed with our field interviews, we increasingly asked interviewees not only about their own supply chain configuration(s), but also about other configurations that they could

identify. We also came back for a follow-up interview with some of the actors to confirm the supply chain configuration in which we had classified them, asking them additional questions about the dynamics of the configuration, other actors typically operating in the same way, or the factors that had triggered their transformation. In addition, we interviewed six “industry insiders” who provided insightful views that helped us refine our classification. All in all, we found five different configurations. We kept verifying these—through all subsequent meetings and in the documents collected—in order to cross-validate them. Each configuration is, in fact, a cluster that emerged along the way as we collected our data (details of the classification are provided in Table 5). In short, as we made progress in collecting our empirical data, our fieldwork became a multiple case study of the five supply chain configurations that we had detected.

We will start with an overview of the dental prosthesis industry in France (sub-section 6.4.1 and 6.4.2). Then, emulating examples of multiple case studies in operations management (e.g. Choi and Hong, 2002; Holweg and Pil, 2008), we will present our findings in a within-case analysis, followed by a cross-case analysis. First we will describe our five cases of supply chain configuration, each illustrated by a key actor of the supply chain (sub-section 6.4.3). We will then present our cross-case analysis of the factors that have been driving the reconfiguration of the supply chain (carried out using NVivo 11 Pro software) in sub-section 6.4.4. Finally, we will model each of the configurations, and discuss how and why DM has led to disintermediation. The names of companies and individuals have been changed in the text for anonymization purposes.

6.4. Empirical findings: Disintermediation in the wake of the digitization of manufacturing

6.4.1. Industry context

Since their early development about thirty years ago, digital manufacturing tools for the production of dental prostheses have progressed tremendously, becoming more efficient. With the traditional craft method, the patient comes to the dental practice, where the dentist casts a physical imprint of the patient’s teeth. The dental imprint is then sent to the prosthetist. In the dental prosthesis laboratory, the prosthetist creates a plaster model of the patient’s teeth on the basis of this imprint; this is used to design and handcraft a prosthesis that is sent to the dentist,

who then fits it in the patient's mouth. The patient has to visit the dental practice several times. The overall process typically takes several weeks.

Nowadays, production (i.e. design and fabrication) of dental prostheses partly relies upon DM technologies (3D scanner, CAD, CAM, or AM technologies). These digital technologies have led to a new, five-step process:

1. Generate a digital 3D model of the patient's teeth. This can be done by the dentist who directly "scans" the patient's mouth with an intraoral scanner.
2. Design a digital model of the prosthesis from the 3D model of the patient's teeth by using CAD software.
3. Create the prosthesis from the digital model with an automatic DM machine.
4. Perform manual post-treatment and "make-up" the prosthesis for a better esthetic result.
5. Once the prosthesis has been produced and sent to the dentist, fit it into the patient's mouth.

There are some variants on this scheme. For example, Step 1 can still be carried out by the dentist making a physical imprint (without a 3D scanner). In such instances, the prosthetist will make a plaster model of the patient's teeth from the physical imprint sent by the dentist and then scan it (this still calls for a traditional physical imprint and plaster model—we call it "Step Zero").

The new method has spread significantly over the past few years. Clearly, technological substitution has already started. In this context, we noted that digitization enables product and service improvement in different ways, leading to different new configurations of the supply chain implying different types of disintermediation of some of the actors. This is what we will describe in the next sub-section.

6.4.2. Players in the supply chain

We identified three main types of actors in the supply chain, each with different characteristics. The first type are dentists, who are medical practitioners. There are 42,000 dentists in France, of which 84% are self-employed in a private dental practice (our research focuses on these independent practitioners). A majority is associated with other dentists in a group practice (47.4% of all practitioners), while a slightly smaller number (40% of all practitioners) are solo practitioners. The second type are prosthetists, who traditionally make prostheses in France. They are legally classified as craftsmen (not as medical practitioners), and the craft tradition is

important in their professional culture. In France, 3,800 dental prosthesis laboratories (firms) employ 14,650 people, and most of these laboratories (77%) employ one to six people (statistics dating from 2012). About 8% have no employees (they are one-person businesses, though this set-up has been decreasing over the last ten years), and 15% employ seven people or more³¹. The third type are manufacturers, who are primarily defined by their roles in the supply chain. They supply material, tools and equipment to dentists and prosthetists (notably DM tools). However, as will be illustrated later, their role has partially expanded—with some manufacturers now taking on parts of prosthesis production. Manufacturers also differ from dentists and prosthetists in the size and span of their activities. These are significantly larger than the activities of dentists and prosthetists. Moreover, some of the manufacturers in our case studies are a division of national, middle-sized industrial and distribution companies specialized in the dental industry (about 450 people and €100M turnover), others are middle-sized global manufacturers specialized in the dental industry (about 410 people and €76M turnover), and finally some others are a division of Fortune 500's MNE (about 340k employee and €75Md turnover for the Group).

Dentists, prosthetists and manufacturers are the three categories of actors that populate the five supply chain configurations that we detected during our case studies. The (final) customer of the dentistry's supply chain is the patient receiving dental treatment and a prosthesis. From the patient's perspective, the supply chain creates a product (the prosthesis) associated to a service (the treatment performed by the dentist).

6.4.3. Within-case description

Case 1 – Initial supply chain of craft method

Mr. Dupont is a prosthetist who owns his dental laboratory as a one-man business. He has been working in the industry for 35 years. His clients are independent dentists. He knows them all personally and extremely well, having worked for most of them for several decades. About five years ago, he heard about new digital tools but was not really interested. He was, and still is convinced that crafting dental prostheses is an art and that no machine can replace the craft skills he acquired through decades of practice. Moreover, he plans to retire in about five years and does not want to make any significant new investment. In any case, he knows that his clients

³¹ Data from an industrial report on the dental prosthesis industry (2015) and industrial report on dentistry (2015) cited in the secondary data, Table 5.

trust him and value his work. He does not expect them to let him down by switching to another prosthetist. He does not view himself as a supplier but rather as a long-term partner to the dentists.

Accordingly, Mr. Dupont keeps working in the old ways. He creates dental prostheses by following a handcraft method—a fully physical production process. The imprint of the patient's teeth is traditionally made by the dentist, who then sends it to him. From this imprint, he creates a plaster model of the teeth to fabricate the prosthesis; this is sent back to the dentist to be placed in the patient's mouth. Mr. Dupont completes all the work for the dentist on his own, without any digital tools.

He is thus the only first-tier supplier of the dentists (his clients) as regards the production of prostheses. In 2016, estimates suggested that about half of all dental prosthesis laboratories in France were still using the traditional craft method, like Mr. Dupont. Although it still constitutes a large part of the dental prosthesis industry, the traditional supply chain configuration is clearly declining.

Case 2 – Outsourcing by the prosthetist

Mr. and Mrs. Sauzay own a dental prosthesis laboratory with eight employees in the center of Paris. They are esteemed by their clients (dentists). Three years ago, the couple decided to buy a 3D scanner for their laboratory. It has allowed them to regulate the workload by partly outsourcing production to manufacturers when demand peaks. They also use it to outsource the manufacturing of complex parts that they used to handcraft with much difficulty and uncertainty. These new technologies have changed their working habits but turned out to be very useful for their activity.

This illustrates the supply chain configuration whereby the prosthetist invests in a scanner and outsources part of the production (fabrication) to manufacturers who use their own DM machines. Hence, the manufacturer captures part of the value that used to flow to the prosthetist. The latter is thus partially disintermediated.

In this setting, the dentist and/or prosthetist first generate the digital 3D model of the patient's teeth (either the dentist scans the patient's mouth or the prosthetist scans a plaster cast made

from the dental imprint received from the dentist). Next, the prosthetist digitally designs the prosthesis using CAD software and outsources fabrication to the manufacturing center. Finally, post-treatment and make-up of the prosthesis are manually carried out by the prosthetist, who sends the final product to the dentist. According to estimations by the French prosthetists professional association, about half of all dental prosthesis laboratories in France have invested in 3D scanners.

Case 3 – Industrialized and digitized prosthetist

Mr. Farri is a prosthetist who is very involved in the national prosthetists professional association. He knows the industry well and he understood early on that digital tools were about to trigger a significant transformation. He understood that outsourcing fabrication would lead to part of the value being transferred to the manufacturer. However, buying equipment for his own activities would not have been profitable because of the small quantity of prostheses that he makes every year. He thus decided to bring together some colleagues whom he knew well, all based in his district in eastern France (close to Besançon) to build up a group. In 2012, they joined forces to invest in a pooled manufacturing machine and to hire a technician who would operate the new piece of equipment. They decided to share the investment, maintenance, and salary costs—in the hope that they would all benefit from this partnership. In this way they acquired the resources required for DM.

After five years of operation, they are rather satisfied with their initiative. By mid-2016, there were seven operational cooperatives working under this supply chain configuration in France. In the same way as cooperatives, some dental prosthesis laboratories decided to expand in order to reach volumes that would make investing in machines profitable. An industry report on the prosthesis sector suggests that it is changing, with the development of larger laboratories equipped with DM tools. In 2004, 33.5% of laboratories were one-person companies and only 11% had more than 7 employees. By 2012, only 8% were one-person businesses and 15% had more than 7 employees. Simultaneously, the number of laboratories specialized in CAD/CAM increased from 0% to 4%³². Strong dynamics seem to be at work.

³² Data from a report on the dental prosthesis industry (2015) cited in the secondary data, Table 5.

In this supply chain configuration, prosthetists acquire a 3D scanner as well as a machine for internal digital design and fabrication. The supply chain follows the various steps of the digital process (with one possible variant: the physical Step 0, as in Case 2). As far as the actors involved in the prosthesis production supply chain are concerned, this configuration is very close to Case 1 (direct dentist-prosthetist contact). The difference is that prosthetists need a sufficient volume of activity before they can buy DM devices from a manufacturer. Beyond a minimum output volume they can amortize machinery costs, with proportionally lower employment costs than with the handcraft method.

Such an investment allows prosthetists to avoid outsourcing manufacturing, which would mean giving up a significant part of their gross profits (i.e. partial disintermediation). In this setting, the prosthetist pays the price of the machines to the manufacturer but is not disintermediated. However, due to the need for higher production volumes, the size of the business has to be larger than used to be the case with the traditional small craft laboratory.

Case 4 – Disintermediation by the dentist

Doctor Brandt is a dentist working in a rather wealthy district of Paris. In his forties, he is a relatively entrepreneurial man, open to change and new technologies. He is teaching digital technologies for dentistry at university. He was a pioneer and quickly understood that DM equipment would allow him to produce prostheses directly in his dental practice during the appointment and thus perform the entire treatment during a single appointment (which, in fact, is the second visit by the patient, the first one being for diagnosis). That would make a difference both to his patients and to himself. He adopted DM at his practice in 2002 and now uses it daily. He liked the idea of limiting the number of appointments for a patient and leaving out, whenever possible, the lengthy interaction with prosthetists. He claims that he saves time and delivers a faster service to the patient. The €75,000 that he invested were worth it. While the prosthesis is being manufactured by the machine, he can offer other services to his patients or let them contemplate the machine working while he treats another patient. After one and a half hour, patients leave the practice with a prosthesis fitted in their mouths.

Dr Brandt can directly scan the patient's mouth with his 3D intraoral scanner to obtain a digital model of the teeth; in this process, a physical Step 0 is no longer relevant. He then digitally designs the prosthesis on his CAD software and his machine fabricates the prosthesis in real

time (about fifteen minutes) in his practice. He then proceeds to a short post-treatment and make-up of the prosthesis before fitting it into the patient's mouth.

This entails a full disintermediation of the prosthetist, for innovation by dentists and manufacturers is making it possible to provide both the product and service locally at the dental practice. This one-stop shop is fully reshaping the supply chain configuration at the cost of the prosthetist. The dentist can adopt CAD/CAM by making a significant investment (from €60,000 up to €120,000) thus incorporating prosthesis fabrication locally at the practice. This allows a substantial reduction of lead time, especially customer lead time. Manufacturers supply devices to dentists, who win back prosthetic activity into their own business, as Dr Brandt did and, as a result, the prosthetist's laboratory is excluded from the supply chain. In France, by mid-2016, estimations by manufacturers suggested that between 3% and 5% of dentists (i.e. about 1500 of 42,000 dentists) were equipped in this way.

Case 5 – Digital design and services center

Set up in 2014, Rally is a subsidiary of Dent Bleue, a manufacturer specialized in dental equipment that focuses on digital technologies. Dent Bleue quickly understood that locating prosthesis production at the dentist's practice implied too many difficult changes for some dentists. Many dentists were interested in the potential of new technologies but were not ready to change their work practices. The company sensed a business opportunity: they created Rally as a start-up dedicated to offering support to dentists engaged in digital transformation. They decided not only to sell 3D scanners and DM machines but also to provide dentists with complementary services. Rally has thus combined the distribution of scanners, the manufacturing and distribution of manufacturing machines (for sale or for rental), and online digital design services in real time. To this end, Rally had to recruit prosthetists who are now employed to perform digital design on the manufacturer side. Rally also provides dentists with training and support during their digital transformation.

In this supply chain configuration, the dentist scans the patient's mouth and sends a digital dental imprint online to Rally—who work as a design center. Rally creates the digital model of the prosthesis remotely before sending it back to the dentist who will then have it fabricated on a machine at the practice. Here, the treatment is completed in one appointment, as long as Rally is available on-demand and in real time. Again, the dentist may use the time available (between

8 and 45 minutes depending on the complexity of the prosthesis) to carry out complementary treatment on the patient or treat another patient.

Dent Bleue has set up a variety of business units to cover an array of activities: supplying equipment, remotely providing digital design of prostheses, fabricating them when needed (as in Case 3), and renting CAD/CAM equipment to dentists. The manufacturer rents out machines to the dentist in exchange for a minimum amount of orders of designs per month. The rental scheme helps overcome the financial barrier to investment in a scanner and a CAM machine. The design service helps dentists to remain focused on their traditional practice—avoiding the uncertainties of becoming a digital prosthetist. Dent Bleue is the only example of this supply chain configuration in the dental industry in France.

6.4.4. Factors of disintermediation

In this sub-section, we will conduct a cross-analysis of the five cases presented above. Our aim is to identify and review the factors that either foster or hinder disintermediation in the supply chain in the wake of the digitization of manufacturing.

6.4.4.1. Quality: esthetics and reliability

Craft production, as illustrated by Case 1, is still a sizeable part of the market. The better esthetic results achieved by craft techniques compared to DM are a particularly important factor for visible teeth and partly explains the persistence of this supply chain configuration:

When you make it by hand, actually we do what is called stratification, you can really play on volumes. (...) You clearly have a much more natural appearance! (A prosthetist)

This esthetic advantage has led to the continued existence of a residual niche market for high-end craftwork, which limits disintermediation of the traditional prosthetist:

(...) some dentists will want some kind of high-end prostheses, so to speak handmade. This way, some craftsmen will remain. (Representative of a prosthetists association)

The esthetical dimension of quality seems to limit the demand for prostheses produced by DM and the associated disintermediation of prosthetists who use the traditional craft method.

In contrast, however, DM improves production process reliability. For example, DM is more dependable than the craft method for complex prosthetic pieces where precision is usually more important than esthetic considerations (e.g. several implants in the jaw):

So we had this concern for the quality of precision work that was impossible to achieve manually. But the fact that it is made “industrially”, actually we get an industrial quality. So, we have traceability, a guaranteed passivity [i.e. the implant does not put pressure on the jaw], and then we bring... our finish; [It] will be artisanal for the personal esthetics.

(A prosthetist)

Here, we see that reliability has encouraged the adoption of DM and the associated transformation of the supply chain. All in all, the type of quality required depends on the type of prosthesis: the handcraft method gives better esthetic results for visible prostheses and DM improves the reliability of complex parts. Esthetic considerations have thus limited disintermediation by maintaining a market for craftwork (Case 1), while reliability makes DM useful to reach the precision needed for complex parts, and has thus fostered the inclusion of the manufacturer in the supply chain that we noted in Cases 2 and 3.

6.4.4.2. Transition from handcraft to mass customization

Dental prostheses require customization and for this reason were traditionally produced using handcraft techniques. However, the digitization of manufacturing allowed for higher production volumes of these personalized products in Cases 2 and 3. In other words, it facilitated the transition from handcraft customization to mass customization:

Working on the computer, you can, in the morning—in four hours—you can [design] (...) about thirty pieces that you will receive [fabricated by the manufacturer] the next day (...). About thirty pieces, manually... knowing that you sculpt at most around four [pieces] an hour, it is a quarter of an hour per piece. So, you see, in four hours you’ve done four times four, sixteen. And these are in wax [design stage], they’ve not been cast or machined yet [fabrication stage]. There are only sixteen [compared to 30 using the computer].

(A prosthetist)

It is worth noting that the numbers involved at the prosthesis laboratory were limited (typically about thirty prostheses designed in half a day, to be fabricated by the manufacturer). Beyond increased quantities processed by each prosthetist (as shown in the quote above), the outputs of manufacturers were higher since they produced for several prosthetists. In Case 2, there were

sixty employees running eight heavy industrial machines twenty four hours a day at the manufacturing center 2; this gives an indication of the manufacturer's production scale.

Yet, it does not seem appropriate to speak about mass production: "mass customization" (MC) seems more adequate in this context. Indeed, there is still a need for customization, but quantities are much more significant than by handcraft. Moreover, the definition of MC (p. 5) described a "production strategy" and notably emphasized flexibility as a way to achieve MC. Indeed, Cases 2 and 3 did involve production strategies based on process flexibility. For these reasons, and despite the limited overall quantities processed by the laboratory, we argue that we can observe a trend toward MC.

We make them [prosthetists] save time, we make them improve their volume of work (...). So, digital makes them gain time and money, well, let's say, higher volumes to improve their revenue. (A manufacturer)

Thus, digital manufacturing made it possible to achieve mass customization by including the manufacturer who provided either DM services (Case 2) or machines (Case 3). In Case 2, the prosthetist was partially disintermediated by this inclusion of the manufacturer.

6.4.4.3. Customer lead time reduced by producing close to the customer

DM tools can contribute to significantly reducing customer lead time by performing the treatment in a single ninety-minute appointment as opposed to two or more appointments often separated by several weeks for other methods. This was a significant advantage in Cases 4 and 5. Customer lead time reduction was achieved thanks to local production of the prosthesis close to the customer—at the dental practice, which is where the resulting "product" (i.e. the prosthesis) was needed. This avoided transportation and delays associated with the traditional physical exchanges of inputs and outputs between the dentist and the prosthetist—not to mention possible errors linked to the logistics. We call this a reduction of "customer lead time" (CLT) to distinguish it from time saved by the prosthetist thanks to DM rearrangements.

Finally, if dentists appropriately reorganized their surgeries, DM could simplify their time schedules:

This avoids waiting for the prosthesis which would have been sent by the prosthetist; this saves the stress that it might not be delivered on time for the appointment with the patient. Finally, the day's schedule is simpler since a single long appointment is easier to set up than

three short appointments. For patients, the single appointment has significant benefits. It is also simpler and the patient is anaesthetized only once, which creates less discomfort

(A dentist using digital techniques)

CLT reduction was thus an important factor of disintermediation and was achieved by locating the production close to the customer. Cases 4 and 5 illustrate how CLT considerations fostered this development, which means the exclusion of the prosthetist from the supply chain.

As part of the discussion of factors that affect disintermediation, we also have to discuss the obstacles faced by some of the actors when it comes to deciding and implementing changes triggered by DM, and how actors overcame or circumvented these obstacles.

6.4.4.4. Manufacturers' limitations absorbing customization

In a context of reshuffled roles in the supply chain, some prosthetists felt threatened by the full disintermediation that would happen if manufacturers were to absorb the entire prosthesis production (i.e. including the design step, digital fabrication, and the handcrafted post-treatment and “make-up”). However, the manufacturer that fabricated (Step 3) the prosthesis in Case 2 did not absorb the entire prosthesis production process. In the context of the supplier-customer direct relationship that they maintained with the dentist, prosthetists kept the prosthesis design phase as well as post-treatment and make-up. This can be explained by three limitations encountered by manufacturers when faced with integrating customization into their activities

First, taking over post-treatment and make-up would require them to absorb craft activities. This would mean a significantly different type of organization compared to their traditional manufacturing activities:

They [the manufacturers] automate everything, there is no staff, just machines... We [the prosthetists] have huge labor expenses whereas manufacturers spend on transport, communication, research and development. We don't do the same thing and we don't have the same types of costs. (A prosthetist in a cooperative)

Second, coordination between the prosthetist and the dentist is largely informal. This is made possible by the fact that they both share professional skills rooted in dentistry. In contrast, managing this part of the customer relationship with the dentist would be difficult for the manufacturer:

- Nothing is formalized?

- No, absolutely not. No, it remains very... let's say intuitive. It is about exchange, this is why we form a pair. Because there is synchronization between two individuals within the professional space. (...) What is true for one practitioner [a dentist] is not necessarily true for another. (A prosthetist using digital techniques)

The manufacturer relied on the prosthetist's laboratory to manage this close relationship with the dentist. This was needed from the design step (in which the dentist was involved through creating the imprint of the patient's teeth and informing the prosthetist about the medical case) to the approval step:

Practically, on full frames [a type of prosthesis], we need proximity to dentists. There is an approval step every time (...). So, I think we need this proximity to prosthetists [that gives us proximity to the dentist, which provides the proximity] to the patient ... (A manufacturer)

Third, historically, prosthetists have had professional links with dentists. Concretely, this entails many business relationships with individuals who constitute their customer base. For the manufacturer, managing close relationships with so many dentists in a customer base would be difficult:

I think there is also... their network. As a manufacturing center, we do not have this network of dental implantology specialists or general dentists carrying out prosthetic treatments. I think it has an impact. Every prosthetist has an own network of dentists for whom he works. I don't think a manufacturing center would be able to... It would have to be on an international scale... (A manufacturer)

Due to these limitations regarding (1) the organizational requirements of craftwork, (2) the need for a close relationship with the dentist, and (3) the management of a large customer base of dentists, manufacturers who absorbed fabrication in Case 2 and sold machines in Case 3 did not take over customer relationships, nor handcrafted post-treatment and make-up. These steps were still carried out by the prosthetist. Put simply, these manufacturers' limitations can explain why prosthetists have not been fully disintermediated.

6.4.4.5. Customizers' ability to appropriate manufacturing practices

In Case 2, the manufacturer took over the fabrication step of prosthesis production. To avoid being disintermediated in this way, some prosthetists (Case 3) appropriated DM for the design and fabrication steps. This relied on the customizers' ability to appropriate manufacturing

practices to integrate them with customization. Beyond the purchase of machinery, engaging with DM implied the ability to appropriate manufacturing capabilities:

We hired a technician on digital machines. This person was already trained (...), without training it's impossible to run the machine. For example, I am utterly unable to make it [the machine] work. (A prosthetist in a cooperative)

A typical obstacle was the need to reach a sufficiently high production volume to pay the investment back:

You must group together in order to pool productive assets that are not profitable when underexploited. (CAD/CAM for Dental Handbook — released by a professional prosthetists association)

Hence the abilities (or limitations) of customizers (prosthetists) regarding the absorption of manufacturing capabilities and growth in production volumes affected disintermediation: prosthetists who were capable of both engaging with DM and reaching higher volumes curbed the disintermediation effects of the trend toward mass customization observed in Case 2.

6.4.4.6. Complementary services help to bring fabrication close to the patient

In Case 4, the entire prosthesis production was carried out by the dentist in his practice. However, beyond the limited range of prostheses that can be produced by machines in dental practices, taking over prosthesis production may prove difficult for the dentist. Complementary services can be offered to dentists helping them bring fabrication close to the customer. Firstly, as the fixed cost of the equipment required for the dentist's surgery is significant, the dentist is likely to prefer focusing on activities that create the highest added-value. In this sense, digitally designing the prosthesis may not be the best use of the dentist's time:

The design part cannot be done by the dentist because it is not a beneficial use of his time given the high fixed costs that the dental practice represents. (A manufacturer selling machines)

In Case 5, the design center helped the dental practice by providing a remote design complementary service to the dentist:

(..) we sell the digital 3D scan, the software—but not so much used by a dentist—and the fabrication machine. However, after that, he [the dentist] can call to make the design—the

digital modeling—made by our prosthetists, however, they [the prostheses] are machined on the machine in the dental practice. (Project Manager at the design center)

Moreover, the conclusions of a marketing study³³ about CAD/CAM in the dental industry identified investment costs as the main barrier to the absorption of prosthesis production by dentists (71% of dentists responding to the survey who did not absorb production mentioned this reason). Among other services, the manufacturer in Case 5 also offered funding solutions:

“We take care of everything [for the dentist]”, Dent Bleue notably handles machine maintenance, client support for new design techniques, and technological updating of the machines. Payment is made through a monthly package corresponding to the design of a minimum of 30 prostheses [to pay off the cost of the equipment].

(A manager at the design center)

Finally, support for digital transformation of the dental practice did help dentists take over prosthesis production:

First you don't get the dentist bogged down in new technologies, second you split the [steps] ... leading their practice to digital, it's not only buying a camera. It's a new organization, a new way of working, new training for assistants. Many things are involved in digital transformation. And introducing this step by step allows the dentist to make a step, organize their practice around this step, and then to make the next step. So, it is a significant advantage, you don't install everything and let him cope with it (...). It is real support.

(Project Manager at the design center)

In summary, Case 5 shows how complementary services offered by the manufacturers helped dentists bring fabrication close to the customer, fostering local production, and thus leading to disintermediation of the prosthetist. In the next sub-section, we will model the five supply chain configurations and discuss the effects of disintermediation factors in each case.

6.4.5. Supply chain configurations and factors of disintermediation

Figure 9 presents the supply chain configuration of the traditional craft method related to Case 1, which survived partly owing to esthetic considerations and, also, to obstacles to adoption by different actors. This protected prosthetists from disintermediation.

³³ Data from a national survey on CAD/CAM use by dentists published in a specialized dentistry magazine, cited in the secondary data, Table 5.

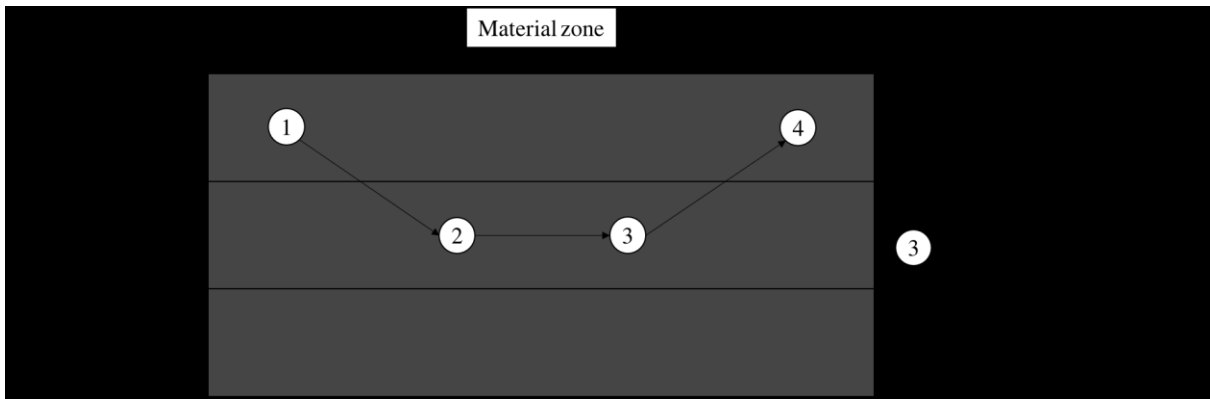


Figure 9: The traditional handcraft method

Now turning to Cases 2 and 3, let us discuss which of the factors identified are transforming the supply chain configuration. In this setting, we identified mass customization (MC) and increased reliability stemming from digitization as factors of disintermediation. Cases 2 and 3 illustrate how the digitization of manufacturing both allowed a transition to MC and improved the reliability of complex products. Manufacturers made digitization possible by providing fabrication services (Case 2) or machines and software (Case 3) to the prosthetists, and thus played an essential role (as well as capturing value) in the new, reconfigured supply chains. In both situations, the prosthetist was affected by the trend toward MC and improved reliability.

Figure 10 below illustrates the supply chain configuration for Case 2, where the prosthetist outsourced fabrication to the manufacturer and thus abandoned part of the value created.

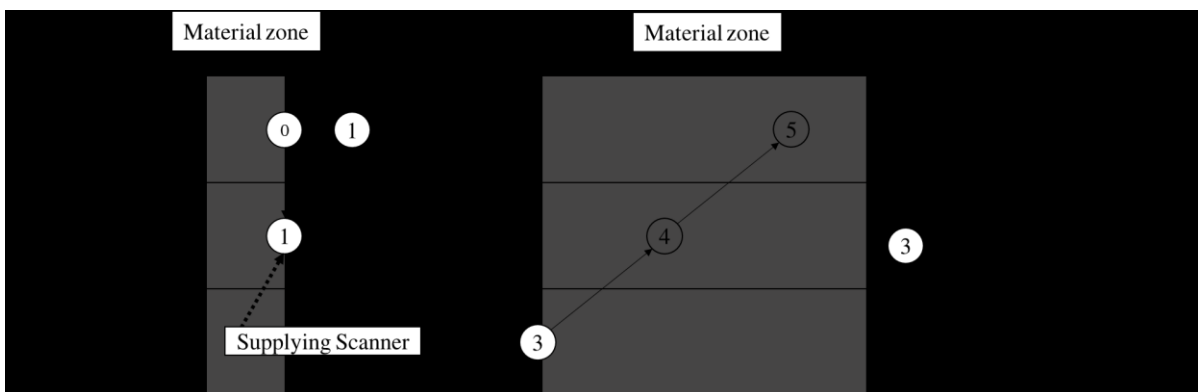


Figure 10: Outsourcing by the prosthetist

In this supply chain configuration, the prosthetist did not take over digital fabrication and thus had to rely on the manufacturer's fabrication service (Step 3) to achieve MC and greater

reliability. However, due to the manufacturer’s limitations when it came to absorbing customization, steps 1, 2, and 4 were still performed by the prosthetist.

These limitations were: the organizational requirements of craftwork, the need for a close relationship with dentists, and the management of a large customer base of dentists. In other words, we did not detect a full disintermediation of prosthetists but rather the emergence of a new intermediary (the manufacturer).

Since this new intermediary captured part of the value but did not fully disintermediate prosthetists, we call this situation “partial disintermediation”. In summary, the trend toward mass customization and the greater reliability enabled by DM fostered a partial disintermediation of the prosthetist. Full disintermediation did not take place due to manufacturers’ limitations regarding customization and interaction with dentists.

In the next supply chain configuration, associated with Case 3 (see Figure 11 below), the machine supplier (i.e. a manufacturer) also captured some value. However, some prosthetists managed to appropriate manufacturing activities by investing in DM machines and thus avoided disintermediation.

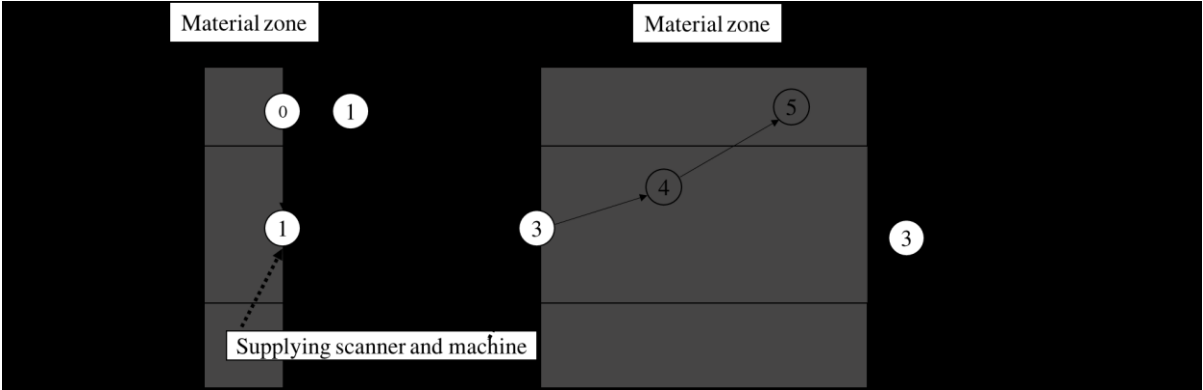


Figure 11: Industrialized and digitized prosthetist

Here, be it within the dental laboratory or in a cooperative, prosthetists benefited from the advantages of DM in terms of mass customization and reliability without having to outsource fabrication to the manufacturer. Rather, prosthetists appropriated DM by managing to appropriate manufacturing practice, and to reach sufficiently high production volumes. Here, prosthetists avoided disintermediation by exercising their ability to adopt manufacturing practices. As a consequence, manufacturers improved their role in the supply chain by selling machinery but dental prosthesis laboratories were not disintermediated. Put simply, prosthetists

accepted to share some value with the manufacturer (by investing in DM tools to benefit from mass customization and greater reliability) but their customizing culture and ability to integrate manufacturing practices with it hindered disintermediation.

In Cases 4 and 5, other factors were at work behind the supply chain configuration. DM allowed radical customer lead time (CLT) reduction (i.e. treatment in a single appointment) thanks to local production in the dental practice. In Case 4 (Figure 12), local fabrication was implemented to cut CLT thanks to the manufacturers who provided equipment. The emergence of this configuration entails the complete withdrawal of the prosthetist from the supply chain, i.e. full disintermediation.

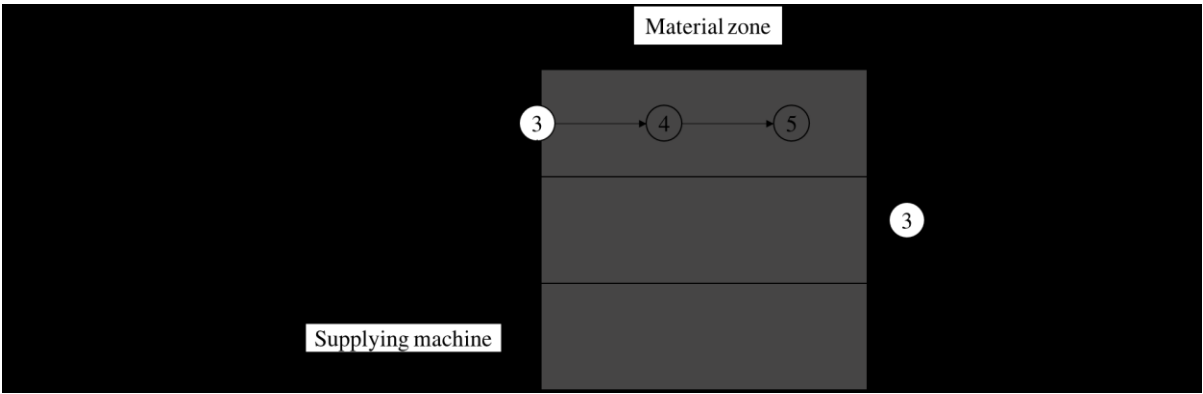


Figure 12: Disintermediation of the prosthetist by the dentist

Despite the opportunity provided by a strong CLT advantage, dentists faced obstacles to prosthesis production. First, designing prostheses in the dental practice may not be the best use of their time. Second, the corresponding financial investment may be unappealing. Third, adapting the dental practice to DM tools might be difficult. These obstacles have tended to hinder the adoption of local production close to the customer. Yet, as in Case 5, manufacturers may smooth out some of these difficulties.

In Case 5 (Figure 13), the prosthesis design was created remotely at the design center thanks to the digital exchange of 3D files (the model of the patient’s teeth and the design of the prosthesis). This reconfiguration led to the full disintermediation of prosthetists. The prosthetists’ activity have been “absorbed” by the manufacturer.

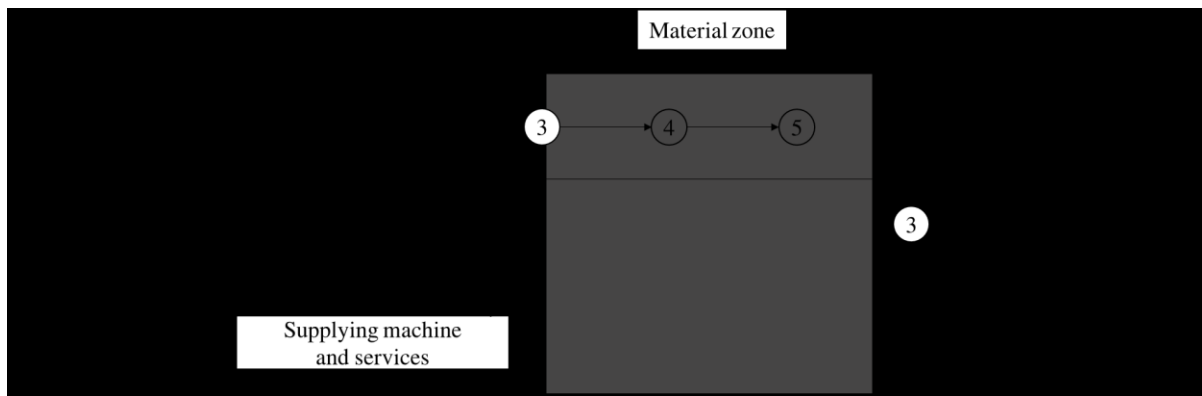


Figure: 13. Digital design and services center

Apart from providing machines, the manufacturer offered complementary services (remote design of the prosthesis, support for the dental practice’s digital transformation, and funding solutions or rental equipment) helping to bring fabrication close to the customer.

These last two cases (4 and 5) illustrate how the opportunity to reduce customer lead time thanks to the use of DM tools close to the customer, with or without any complementary services, led to disintermediation.

In this section, we emphasized the disintermediation observed in each case study, and the impact of influencing factors. Table 6 below summarizes our findings as regards the different types of reconfiguration, the disintermediation associated with each, and driving factors.

----- Insert Table 6 about here -----

6.5. Implications and discussion

Building upon the case studies of the dental industry, we aimed to explain how and why some players in the supply chain are disintermediated in the wake of the digitization of manufacturing. Our study shows that manufacturers offer DM equipment and services that lead to disintermediation in the supply chain of this craft industry: some actors capture more value while others lose value and may even be excluded. It also highlights factors fostering and hindering this disintermediation.

In this section, we will formulate propositions based on our findings. In addition, we will review their implications in connection with the literature on the digitization of manufacturing.

We illustrate that DM technologies can transform a customization industry into a setting for mass customization. This is consistent with the literature that pointed out that the flexible nature of DM machines is a means to achieve flexibility (Beach *et al.*, 2000; Reichhart and Holweg, 2007; Zhang *et al.*, 2003), therefore contributing to mass customization (Fogliatto *et al.*, 2012; Tuck and Hague, 2006; Zhang *et al.*, 2003; Tseng and Radke, 2011; Reeves *et al.*, 2011; Chryssolouris *et al.*, 2009). Our findings extend these conclusions by showing how the transition to MC can lead to disintermediation (Case 2).

Proposition 1: The transition from customization to mass customization fosters disintermediation.

In the French dental industry, the prosthetist is a traditional (non-mass) customizer who is moving toward MC in Case 3, while in Case 2, the manufacturer is a traditional (mass) manufacturer who is partly transitioning to MC. This simple comparison matches Duray's (2002) findings, namely that MC can originate both from mass production and customization.

In the literature, it has been reported that early (vs. late) customer involvement in MC was closer to traditional customization than to mass manufacturing (Duray, 2000), and that mass manufacturers shifting toward MC were more likely to involve customers later in the production process (Duray, 2002). This suggests that early customer involvement is difficult for manufacturers.

We noticed that the building up of close relationships with dentists was a unique skill of prosthetists, operating as a protective shield. Customization is achieved for final customers (patients) who are *de facto* involved early in the production process, since dentists initially take their dental imprints. Moreover, dentists connect and communicate with prosthetists about the specific medical case and associated prosthetic needs. Our findings also show that in this situation where early customer involvement is required, manufacturers have little choice but to rely on prosthetists to manage relationships with dentists, who have the direct connection to patients. This illustrates the fact that managing early customer involvement is difficult for mass manufacturers, corroborating Duray's point (2000, 2002). Building on this, we show that early customer involvement is an issue for mass manufacturers, thus hindering disintermediation of customizers: in a context where transition to mass customization takes place by combining customization and mass manufacturing practices, mass manufacturers face their own limitations regarding customization. In turn, this leads to partial disintermediation (Case 2).

More generally, our findings illustrate the limitations of manufacturers, which are preventing a transition toward the full appropriation of customization by the manufacturer. This complements earlier studies on hindrances to a shift by mass producers toward MC (Rungtusanatham and Salvador, 2008; Fogliatto *et al.*, 2012). Our findings extend this line of research by showing that manufacturers' limitations create obstacles to the transition toward fully integrated MC and end up hindering disintermediation—or limiting its extent.

Proposition 2.1: The manufacturer's limitations as regards the absorption of customization negatively moderate the relationship between mass customization and disintermediation.

These limitations leave some room for the prosthetist to avoid disintermediation by being the one actor who can integrate digital manufacturing activities with traditional customization. In Case 3, DM is taken over by customizers (prosthetists) who thus avoid being disintermediated. Customizers' ability to integrate manufacturing practice with traditional customization therefore protects them from disintermediation: while they share some of the value with the manufacturer supplying machines and software, they are not disintermediated.

Proposition 2.2: Customizers' ability to appropriate manufacturing practices negatively moderates the relationship between mass customization and disintermediation.

These two propositions, 2.1 and 2.2, suggest that the degree of disintermediation caused by the shift toward MC in the wake of the digitization of manufacturing depends on the capacity of actors to absorb new complementary activities, respectively customization for the traditional manufacturer and mass manufacturing practices for the traditional customizer. These findings suggest that the literature on mass customization methods and associated capabilities (Fogliatto *et al.*, 2012) ought to be connected with the nascent literature on DM as an enabler of mass customization (Tuck and Hague, 2006, Tseng and Radke, 2011; Reeves *et al.*, 2011; Chryssolouris *et al.*, 2009).

Ketokivi *et al.* (2017) remind us that lead time considerations (Heikkilä, 2002; de Treville *et al.*, 2004) may determine choices for the location of production. Our findings (Cases 4 and 5) confirm that drastic customer lead time (CLT) reduction can be achieved thanks to local digital fabrication close to the customer. This shift in the location of production entails full disintermediation of the traditional prostheses producer. We thus argue that cutting CLT may lead to disintermediation. This confirms that local production of customized goods close to the customer could lead to disintermediating traditional manufacturers-customizers (Bogers

et al., 2016; Jia et al., 2016; Holmström et al., 2010, Liu et al., 2013); our findings thus contribute to filling the lack of empirical evidence in this area.

Proposition 3: By guiding choices on production location, customer lead time considerations foster disintermediation.

Our empirical findings (Case 4) illustrate the advantages but also difficulties of locating production close to the customer, even if a professional customer such as a dentist is thinking of taking this step. This supports the literature highlighting the limits to the implementation of a supply chain based on production close (or by) the customer (Holmström et al., 2010; Holweg, 2015; Liu et al., 2013). In this context, complementary services provided by the manufacturer (as in Case 5) may help develop local production, in turn fostering disintermediation.

Proposition 4: Complementary services provided by equipment manufacturers help develop local production and thus foster disintermediation.

Figure14 below depicts the theoretical relationships captured by our propositions.

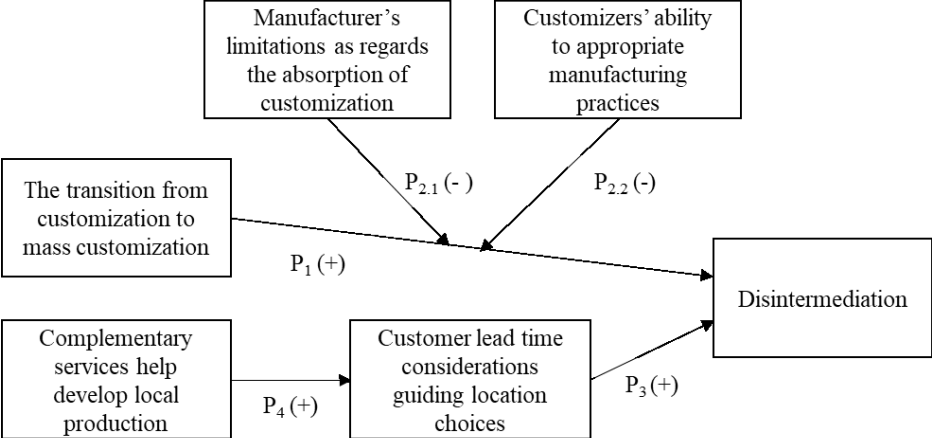


Figure 14 : Factors of disintermediation in the wake of the digitization of manufacturing.

We showed that DM improved reliability, which can foster disintermediation. However, superior esthetics can still be achieved with the handcraft method, which partly explains its persistence. Esthetic factors can thus be viewed as a brake to disintermediation. In other words, the multidimensional nature of quality (Garvin, 1987) does not allow us to identify a straightforward relationship between quality and disintermediation.

As mentioned earlier, when studying disintermediation within supply chains, we viewed the supply chain as a locus where buyers and suppliers compete to capture value (Cox, 1999; Cox *et al.*, 2001). Following this perspective, we identified factors of disintermediation in the context of digitization. Discussing the same issue in the retail sector, researchers predicted the disintermediation of traditional retailers when digital retail emerged in the 1990s (Mills and Camek, 2004; Ritchie and Brindley, 2000). In hindsight, we can see that while digital retail has indeed won a significant market share, traditional stores still occupy an important position in the retail industry.

Our study points to a similar direction, suggesting that the relationship between digitization of activities and disintermediation of traditional actors is a long and winding road. Studying the digitization of manufacturing in another craft industry (hearing aids), Sandström (2016) concluded that digitization had not disrupted its structure. Our findings diverge from Sandström's given that digitization clearly is having a disruptive impact on dentistry. Sandström (2016) also suggested that stability at the downstream end of the supply chain fostered industry stability. Indeed, we noted that the adoption of digital manufacturing by the dentist—the downstream player in the chain facing the patient—led to full disintermediation of the traditional actor (the prosthetist). This confirms Sandström's suggestion that power in the supply chain in a context of digitization relies significantly on downstream actors controlling customer relationships (the dentist is the only possible interacting agent with the final client, i.e. the patient).

However, we found a significant difference: disintermediation is happening in the dental industry even in the absence of change at the downstream end of the supply chain (Case 2). This difference could be explained by contextual variables. Sandström (2016) detected very homogeneous transformations in the hearing aid industry, which involve producers that are relatively large manufacturing firms, whereas we witnessed a polymorphic transformation in an industry where a myriad of actors with different characteristics (dental laboratories, dentists, equipment manufacturers) are adopting a variety of strategies in the face of digitization.

Shifts of power in the supply chain have also been researched in the context of digital servitization in the publishing industry. The conclusion was that power had moved to the downstream end of the supply chain—due to control of customer relationships—while upstream actors were able to preserve their positions by mastering unique resources (Vendrell-Herrero *et al.*, 2017). Is the digitization of manufacturing comparable to digital servitization? If we view the dental prosthetics supply chain as consisting of the manufacturer upstream, the

prosthetist in the middle, and the dentist downstream (serving the patient), we may conclude that mastering customer relationships (for the dentist) and unique resources (i.e. DM technologies for the manufacturer and/or customization skills for the prosthetists) are sources of power. This is similar to the conclusions reached by Vendrell-Herrero *et al.* (2017). Such consistency in the findings, in spite of two different contexts, is interesting: in the publishing industry, digitization comes from downstream through digital servitization by new retailers, whereas in the dental industry, digitization comes from upstream, with manufacturers bringing new, unique (technological) DM resources. Exploring these sources of power in other digitization settings could be a promising area for further work.

However, in both industries, control of the downstream and customer relationships (or involvement) are sources of power. This control is a consequence of the nature of the medical industry, where treatment providers at the downstream end of the supply chain (in this case, dentists) occupy a fixed position. Upstream, manufacturers also bring unique resources (DM technologies) that allow them to increase their power in the supply chain. Thus, we suggest that downstream and upstream advantages are comparable in the different contexts of digital servitization in the publishing industry and the digitization of manufacturing in the dental industry.

6.6. Conclusion

Our research echoes other works on the digitization of manufacturing. Our case studies of supply chain reconfigurations under digitization constitute an empirical step toward a better understanding of the implications of digitization for supply chains (Ford *et al.*, 2016; Holmström *et al.*, 2016). We showed how and why factors such as the shift from handcraft to mass customization, and customer lead time reduction guiding location choices (potentially leading to produce close to the customer) are leading to disintermediation in supply chains. We also described how, on the other hand, manufacturers' limitations (when it comes to absorbing customization) and customizers' ability to appropriate manufacturing practices are hindering disintermediation. Finally, we explained that complementary services provided by manufacturers in addition to machines and software help to bring fabrication close to the customer and thus foster disintermediation.

Our empirical findings demonstrate that the digitization of manufacturing is leading to disintermediation through a complex set of variables resulting in multiple outcomes. We contributed empirical insights into the effects of the key factors of change, discussed these

analytically, and suggested a number of formal propositions. Yet, there remains a need for more empirical evidence and theorizing on the topic; we should exercise great caution about reaching hasty conclusions, as suggested by Holweg (2015).

In practical terms, given the importance of potential supply chain transformations flowing from the digitization of manufacturing and the competitive stakes behind disintermediation, we believe that practitioners may be interested in the empirical description of the cases we explored. Actors involved in industries exposed to the digitization of manufacturing may gain some insights, thanks to our work on the emergence of digital manufacturing in the dental industry and the factors of disintermediation that we identified. The consistency of our findings, as well as the diversity of our sources, support the internal validity of our research. However, it remains exploratory. No predictions may be derived from it, and our propositions should be tested in other contexts. Since we chose a qualitative methodology, observation did not rely on measurements. Designing measurements and applying them to cases of digitization of manufacturing would allow us to develop a quantitative analysis of the issue and test the generalizability of our findings.

Owing to our methodology, the external validity of our findings—generalizability—is limited by the context. Dentistry is a medical industry embedded in a local setting. In addition, the French dental industry is specific. This limits the generalization of our findings to other geographical settings. However, some contextual elements do allow us a perspective for theoretical generalization. Everywhere in the world, the dental industry requires customization and, as medical practitioners, dentists cannot be excluded from their position at the downstream end of the supply chain. These features of the dental industry may enable some degree of generalization. Most medical treatments need to be performed by certified professionals and are customized. According to our conclusions, even if some tasks could be supported by digital tools and other technologies (manufacturing of prostheses or artificial intelligence to perform diagnosis), the medical practitioner at the downstream end of the supply chain seems to be relatively protected from disintermediation.

More generally, the example of prosthesis production supported by digital manufacturing and the factors that hinder disintermediation of prosthetists suggest that there is a need to combine skills in traditional activities (in our case, craftwork for prosthesis manufacturing) with skills in DM (i.e. the use of software and machines). The idea of coupling traditional skills with digital ones could be explored in other industries. Studying other contexts—where customization, legal regulations, and control over supplier relationships differ—may allow for an increased

generalizability of our findings. In the wake of the digitization of manufacturing, which is ongoing in many sectors of the economy, more studies should investigate the impact of DM on the structure and resilience of supply chains.

6.7. References

- Barratt, M., Choi, T. Y., Li, M., 2011. Qualitative Case Studies in Operations Management: Trends, Research Outcomes, and Future Research Implications. *Journal of Operations Management*. 29 (4): 329–42.
- Beach, R., Muhlemann, A. P., Price, D. H. R., Paterson, A., Sharp, J. A., 2000. A Review of Manufacturing Flexibility. *European Journal of Operational Research*. 122 (1): 41 – 57.
- Bianchi, M. Åhlström, P., 2014. Additive Manufacturing: Towards a New Operations Management Paradigm. 20th International EurOMA Conference.
- Bogers, M., Hadar, R., Bilberg, A., 2016. Additive Manufacturing for Consumer-Centric Business Models: Implications for Supply Chains in Consumer Goods Manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*. 102: 225–39.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A., 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
- Choi, T. Y., Hong, Y., 2002. Unveiling the Structure of Supply Networks: Case Studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler. *Journal of Operations Management*. 20 (5): 469–493.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, G., Georgoulas, K., 2009. Digital Manufacturing: History, Perspectives, and Outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 223 (5): 451–62.
- Cox, A., 1999. Power, Value and Supply Chain Management. *Supply Chain Management: An International Journal*. 4 (4): 167–75.
- Cox, A., Sanderson, J., Watson, G., 2001. Supply Chains and Power Regimes: Toward an Analytic Framework for Managing Extended Networks of Buyer and Supplier Relationships. *Journal of Supply Chain Management*. 37 (1): 28–35.
- Crook, T. R., Combs, J. G., 2007. Sources and Consequences of Bargaining Power in Supply Chains. *Journal of Operations Management*. 25 (2): 546–55.

- D'Amboise, G., Muldowney, M., 1988. Management Theory for Small Business: Attempts and Requirements. *The Academy of Management Review*. 13 (2): 226.
- D'Aveni, R., 2015. The 3-D Printing Revolution. *Harvard Business Review*. 40–48 (May 2015).
- Davis, S., 1989. From future perfect: mass customizing. *Planning Review*. 17 (2), 16–21.
- Deradjat, D., Minshall, T., 2016. Implementation of Rapid Manufacturing for Mass Customisation. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 28 (1), 95-121.
- de Treville, S., Shapiro, R. D., Hameri, A.-P., 2004. From Supply Chain to Demand Chain: The Role of Lead Time Reduction in Improving Demand Chain Performance. *Journal of Operations Management*. 21 (6): 613–627.
- Duray, R., 2002. Mass Customization Origins: Mass or Custom Manufacturing? *International Journal of Operations & Production Management*. 22 (3): 314–28.
- Duray, R., Ward, P. T., Milligan, G. W., Berry, W. L., 2000. Approaches to Mass Customization: Configurations and Empirical Validation. *Journal of Operations Management*. 18 (6): 605–25.
- Eisenhardt, K. M., 1989. Building Theories from Cases Study Research. *Academy of Management Review*. 14 (4): 532–50.
- Eisenhardt, K. M., Graebner, M. E., 2007. Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges. *Academy of Management Journal*. 50 (1): 25–32.
- Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J. C., Borenstein, D., 2012. The Mass Customization Decade: An Updated Review of the Literature. *International Journal of Production Economics*. 138 (1): 14–25.
- Ford, S., Mortara, L., Minshall, T., 2016. The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue. *Technological Forecasting and Social Change*. 102: 156–59.
- Frey, C. B., Osborne, M. A., 2013. *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation*. Oxford Martin Programme on Technology and Employment.
- Gamme, I., Seim, E. A., Lodgaard, E., Andersen, B., 2017. Operational Integration in a Craft-Oriented Small Enterprise. *The TQM Journal*. 29 (2): 240–56.

- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C.B., Wang, C.C.L., Shin, Y.C., Zhang, S., Zavattieri, P.D., 2015. The Status, Challenges, and Future of Additive Manufacturing in Engineering. *Computer-Aided Design*. 69: 65–89.
- Garvin, D. A., 1987. Competing on the Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*. 57, 173-84.
- Glaser, B. G., Strauss, A. L., 1967. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine Publishing Company, Chicago.
- Heikkilä, J., 2002. From Supply to Demand Chain Management: Efficiency and Customer Satisfaction. *Journal of Operations Management*. 20 (6): 747–67.
- Holmström, J., Partanen, J., Tuomi, J., Walter, M., 2010. Rapid Manufacturing in the Spare Parts Supply Chain: Alternative Approaches to Capacity Deployment. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 21 (6): 687–97.
- Holmström, J., Holweg, M., Khajavi, S. H., Partanen, J., 2016. The Direct Digital Manufacturing (R)evolution: Definition of a Research Agenda. *Operations Management Research*. 9 (1–2): 1–10.
- Holweg, M., 2015. The Limits of 3D Printing. *Harvard Business Review*. June 23.
- Holweg, M., Pil, F., 2008. Theoretical Perspectives on the Coordination of Supply Chains. *Journal of Operations Management*. 26 (3): 389–406.
- Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., Hou, L., 2013. Additive Manufacturing and Its Societal Impact: A Literature Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 67 (5–8): 1191–1203.
- Jia, F., Wang, X., Mustafee, N., Hao, L., 2016. Investigating the Feasibility of Supply Chain-Centric Business Models in 3D Chocolate Printing: A Simulation Study. *Technological Forecasting and Social Change*. 102: 202–13.
- Jiang, R., Robin, K., Piller, F. T., 2017. Predicting the Future of Additive Manufacturing: A Delphi Study on Economic and Societal Implications of 3D Printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*. 117 (2017) 84–97.
- Ketokivi, M., Choi, T.Y., 2014. Renaissance of Case Research as a Scientific Method. *Journal of Operations Management*. 32 (5): 232–40.

- Ketokivi, M., Turkulainen, V., Seppälä, T., Rouvinen, P., Ali-Yrkkö, J., 2017. Why Locate Manufacturing in a High-Cost Country? A Case Study of 35 Production Location Decisions. *Journal of Operations Management*. 49–51 (March): 20–30.
- Khorram Niaki, M., Nonino, F., 2017. Additive Manufacturing Management: A Review and Future Research Agenda. *International Journal of Production Research*. 55 (5): 1419–39.
- Liu, P., Huang, S. H., Mokasdar, A., Zhou, H., Hou, L., 2013. The Impact of Additive Manufacturing in the Aircraft Spare Parts Supply Chain: Supply Chain Operation Reference (Scor) Model Based Analysis. *Production Planning & Control*. 25 (13–14): 1169–81.
- Liu, Q., Leu, M. C., Schmitt, S. M., 2006. Rapid Prototyping in Dentistry: Technology and Application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 29 (3–4): 317–35.
- Mellor, S., Hao, L., Zhang, D., 2014. Additive Manufacturing: A Framework for Implementation. *International Journal of Production Economics*. 149: 194–201.
- Mills, J.F., Camek, V., 2004. The Risks, Threats and Opportunities of Disintermediation A Distributor's View. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 34 (9): 714–27.
- Oettmeier, K., Hofmann, E., Steenhuis, H.-J., Ortt, R., 2016. Impact of Additive Manufacturing Technology Adoption on Supply Chain Management Processes and Components. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 27 (7).
- Petrick, I. J., Simpson, T. W., 2013. 3d Printing Disrupts Manufacturing: How Economic of One Create New Rules of Competition. *Research-Technology Management*. 56 (6): 12–16.
- Pine, B. J. II, Victor, B., Boyton, A.C., 1993. Making mass customization work. *Harvard Business Review*. 71: 108–119.
- Pratt, M. G., 2009. From the Editors: For the Lack of a Boilerplate: Tips on Writing up (and Reviewing) Qualitative Research. *Academy of Management Journal*. 52 (5): 856–862.
- Rayna, T., Striukova, L., 2015. From Rapid Prototyping to Home Fabrication: How 3D Printing Is Changing Business Model Innovation. *Technological Forecasting and Social Change*. 102: 214–24.

- Rayna, T., Striukova, L., Darlington, J., 2015. Co-Creation and User Innovation: The Role of Online 3D Printing Platforms. *Journal of Engineering and Technology Management*. 37 (July): 90–102.
- Reeves, P., Tuck, C., Hague, R., 2011. Additive Manufacturing for Mass Customization, in: Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J. C. (Eds.), *Mass Customization*. Springer, London, pp. 275–289.
- Reichhart, A., Holweg, M., 2007. Creating the Customer-responsive Supply Chain: A Reconciliation of Concepts. *International Journal of Operations & Production Management*. 27 (11): 1144–72.
- Ritchie, B., Brindley, C., 2000. Disintermediation, Disintegration and Risk in the SME Global Supply Chain. *Decision*. 38 (8): 575–83.
- Rungtusanatham, M. J., Salvador, F., 2008. From Mass Production to Mass Customization: Hindrance Factors, Structural Inertia, and Transition Hazard. *Production and Operations Management*. 17 (3): 385–96.
- Sandström, C. G., 2016. The Non-Disruptive Emergence of an Ecosystem for 3D Printing — Insights from the Hearing Aid Industry’s Transition 1989–2008. *Technological Forecasting and Social Change*. 102 (January): 160–68.
- Siggelkow, N., 2007. Persuasion with Case Studies. *Academy of Management Journal*, 50 (1): 20.
- Stalk, G., 1988. Time - the next source of competitive advantage. *Harvard Business Review*. 66, 41 – 51.
- Stuart, I., McCutcheon, D., Handfield, R., McLachlin, R., Samson, D., 2002. Effective Case Research in Operations Management: A Process Perspective. *Journal of Operations Management*. 20 (5): 419–433.
- Tseng, M. M., Radke, A. M., 2011. Production Planning and Control for Mass Customization – A Review of Enabling Technologies, in: Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J. C. (Eds.), *Mass Customization*. Springer, London, pp. 195–218.
- Tuck, C., Hague, R., 2006. The Pivotal Role of Rapid Manufacturing in the Production of Cost-Effective Customised Products. *International Journal of Mass Customisation*. 1 (2–3): 360–373.

- Tuck, C., Hague, R., Burns, N., 2007. Rapid Manufacturing: Impact on Supply Chain Methodologies and Practice. *International Journal of Services and Operations Management*. 3 (1): 1.
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., Parry, G., Georgantzis, N., 2017. Servitization, Digitization and Supply Chain Interdependency. *Industrial Marketing Management*. 60 (January): 69–81.
- Van Noort, R., 2012. The Future of Dental Devices Is Digital. *Dental Materials*. 28 (1): 3–12.
- Weller, C., Kler, R., Piller, F. T., 2015. Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of Additive Manufacturing Revisited. *International Journal of Production Economics*. 164 (June): 43–56.
- Wise, R., Baumgartner, P., 1999. Go Downstream: The New Profit Imperative in manufacturing. *Harvard Business Review*. 77 (5), 133–141.
- Yin, R. K., 2014. *Case study research: Design and methods*, fifth ed. SAGE Publications, Newsbury Park.
- Zhang, Q., Vonderembse, M. A., Lim, J.-S., 2003. Manufacturing Flexibility: Defining and Analyzing Relationships among Competence, Capability, and Customer Satisfaction. *Journal of Operations Management*. 21 (2): 173 – 191.

6.8. Appendix

Table 5: Details of data sources

	Type of actor	Duration	Supply chain configuration and content
In-depth interview			
08/10/2015	Dentist using CAD/CAM to produce prostheses	45 minutes	Disintermediation by the dentist
03/11/2015	Prosthetist using digital techniques. Working in association (testing, conferencing about new techniques) with manufacturer	140 minutes	Disintermediation by manufacturer/industry insider
25/02/2016	Traditional prosthetist. Starting to implement new techniques	129 minutes	Traditional handcraft supply chain / Outsourcing by prosthetist
19/02/2016	Teacher in a school for dental prosthetists	50 minutes	Industry insider
15/01/2016	Prosthetist, manager in the company implementing the design center	90 minutes	Design center
15/12/2015	Employee of a prosthetists professional association	56 minutes	Industry insider/Industrialized and digitized prosthetist
29/12/2016	Employee of a dental prosthesis laboratory leading the implementation of DM	60 minutes	Traditional handcraft supply chain / Outsourcing by prosthetist
09/12/2016	Former dentist, founder of a new company developing an additive manufacturing machine for dentistry	90 minutes	Traditional handcraft supply chain Industry insider
15/03/2016	Salesman of a company selling scanners/machines to dentists	82 minutes	Disintermediation by the dentist
23/02/2018	Prosthetist, member of a cooperative	23 minutes	Industrialized and digitized prosthetist
26/02/2018	Engineer Project Manager in the company implementing the design center	30 minutes	Design center
28/02/2018	Manufacturer selling machines and manufacturing services	55 minutes	Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
Prosthetists trade fair		5 to 30 minutes	
07/04/2016	Prosthetists - official of a professional association		Industrialized and digitized prosthetist
	Scanner and machine supplier		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
	Machine manufacturer from Korea		Industry insider
	Scanner supplier		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized
	Scanner supplier/Manufacturing center		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
	Scanner and machine supplier /Manufacturing center		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
	Machine supplier/Manufacturing center		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
	Scanner and machine supplier/Manufacturing center		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist
	Machine supplier		Outsourcing by prosthetist / Industrialized and digitized prosthetist

Table 5 (continued): Details of data sources

	Type of actor	Duration	Supply chain configuration and content
Dentist Trade fair		5 to 30 minutes	
25/11/2015	Machine and scanner supplier		Disintermediation by the dentist
	Machine and scanner supplier		Disintermediation by the dentist
	Manager of the design center		Design center
	Machine and scanner supplier		Disintermediation by the dentist
	Machine and scanner supplier		Disintermediation by the dentist
	Dentists professional association		Industry insider
Secondary data			
Published 01/06/2015	Dentist website		Technical considerations
Consulted 13/10/2015	Prosthetist review		Industrialized and digitized prosthetist
Published 26/11/2014	Business press		Industrialized and digitized prosthetist
Published 1/12/2014	Business press		Financial considerations
Published 21/12/2014	General press (Belgian newspaper)		Disintermediation by the dentist
Published 2/12/2015	Investment documents		Industrialized and digitized prosthetist
Published 5/05/2015	General press		Design center
Published 11/09/2015	Industrial report on the dental prosthesis industry		Industry context
Published 02/06/2015	Interview with inventor of CAD/CAM technology for a dentistry website		Industry context
Published 01/12/2013	Industrial report on dentistry		Industry context
Published 14/10/2011	CAD/CAM for dental handbook - released by a professional association for prosthetists		Industrialized and digitized prosthetist
Published 7/09/2015	Industry report on dentistry		Industry context
Published 20/06/2017	National survey on CAD/CAM use by dentists, dentistry specialized magazine		Disintermediation by the dentist
Different dates	16 commercial documents about scanners, machines, and service provider for prosthetists and dentists		Industry context
Different dates	Websites of different actors in the industry (professional associations, manufacturers, laboratories...)		Industry context

Table 6: Disintermediation and factors involved in case studies

Case	Type of disintermediation	Factors involved (and effect)
Case 1 – Initial supply chain of craft method	No disintermediation	Esthetics (-)
Case 2 – Outsourcing by prosthetist	Partial disintermediation	MC (+), reliability (+), manufacturer’s limitations (-)
Case 3 – Industrialized and digitized prosthetist	No disintermediation	MC (+), reliability, manufacturer’s limitations (-), customizers’ ability to appropriate manufacturing practices (-)
Case 4 – Disintermediation by the dentist	Full disintermediation	CLT (+)
Case 5 – Digital design and services center	Full disintermediation	CLT (+), complementary services (+)

6.9. Discussion du premier article

Cette discussion sur l’article qui précède met en avant des éléments des cas étudiés, pour les articuler avec les relations inter-firmes examinées dans la thèse. Ces éléments ne sont pas au cœur des contributions de l’article lui-même mais ils s’avèrent essentiels pour suggérer une articulation des observations contenues dans les différents articles, ce que nous ferons au chapitre 9. Le premier de ces éléments est la modalité du paradigme techno-industriel de la fabrication additive dont il est question dans les cas étudiés dans l’article, telle que définie dans la synthèse des 4 premiers chapitres. Il s’agit donc des fonction(s), secteur(s), procédé(s), et matériau(x), dont il est question dans les relations inter-firmes observées dans chacun des articles. Le second élément que nous mettons en avant pour nourrir l’analyse transversale aux articles est la logique de participation des acteurs aux relations inter-firmes décrites. Ces dernières sont pour les acteurs un moyen d’adaptation au changement technologique de la fabrication additive, nous qualifions donc les logiques de participation de ces acteurs au prisme du cadre théorique des capacités dynamiques.

6.9.1. Les modalités en jeu dans l’article

Dans ce premier article, nous donnons à voir des transformations de la chaîne de valeur suscitées par des acteurs qui ont choisi de se lancer dans le nouveau paradigme, créant ainsi de premières trajectoires technologiques, au sens de Dosi (1982). Nous sommes dans le champ de l’action, avec la mise en œuvre de stratégies de captation de valeur. Cela ne signifie pas que l’effort d’exploration (ciblage marketing de besoins pertinents, R&D, tests de modèles

d'affaires) ne se poursuit pas en parallèle, mais nous sommes là dans la phase aval où le passage à l'exploitation a eu lieu et où la bagarre concurrentielle est en cours sous des formes nouvelles liées au nouveau paradigme. Dans cet article, nous étudions 5 cas d'acteurs s'insérant dans des chaînes de valeur au sein desquelles la fabrication additive et d'autres technologies de fabrication numériques sont adoptées de différentes manières. Du point de vue technologique, comme il n'est pas uniquement question de fabrication additive, nous parlons donc de fabrication numérique.

Selon la présentation de Ford, *et al.*, (2016) exposée dans la section 1.3, la fabrication additive a trois caractéristiques : elle est additive, numérique et non-outillée (*tool-free*). Comme nous l'avons présenté dans la section 1.4, ces caractéristiques rendent possibles diverses fonctions. Dans ce premier article, les fonctions de personnalisation et fabrication locale – typiquement désignées comme des fonctions clés de la FA grâce à son caractère numérique et flexible – sont permises par des technologies de fabrication numérique non nécessairement additive, énumérées dans le premier paragraphe de ce premier article (section 6.1).

Nous avons détaillé dans la section 1.5 de cette thèse les limites techniques et économiques de la fabrication additive. Par exemple, le processus additif de solidification de poudre par laser est encore très coûteux comparé à d'autres procédés traditionnels. En conséquence, les fonctions permises par la dimension numérique de la fabrication additive (transfert de modèles 3D numériques pour une fabrication locale) demeurent peu développées en FA, pour des raisons de coûts de production liés au caractère additif de la technologie. Dans cet article, incluant dans l'observation d'autres technologies de fabrication numérique que la fabrication additive, nous pouvons identifier les conséquences des usages permis par le caractère numérique de la fabrication. De cette manière nous pouvons approcher les effets et les implications stratégiques de la dimension numérique de la FA en « neutralisant » les limites techniques dues au caractère additif. Nous n'étudions donc ici pas uniquement la fabrication additive mais l'ensemble plus large de la fabrication numérique (« *digital manufacturing* »).

On peut identifier quatre technologies essentielles dans les chaînes de valeur de ce troisième article. Une première ne relève pas de la fabrication mais de la numérisation 3D. En effet, les techniques de numérisation (scanners 3D) permettent de réaliser un modèle 3D numérique d'un objet physique. Cela rend possibles la conception assistée par ordinateur de prothèses et l'utilisation de machine de fabrication numérique. L'autre possibilité essentielle de l'utilisation de scanners et de modèles numériques 3D est la possibilité de collecter les informations pour la personnalisation auprès du patient (scanner la bouche du patient/prendre ses mesures), afin de

faire concevoir à un autre endroit, puis de fabriquer proche du patient dans la foulée. Cette possibilité de conception à distance et de fabrication personnalisée, immédiate, et proche du lieu d'usage est un avantage décisif. La numérisation de la chaîne de valeur est essentielle dans la transformation observée dans nos cas. En plus de la numérisation, il y a trois technologies de fabrication numérique, utilisées en fonction de la pièce à fabriquer et des compétences de chaque acteur. Les prothèses personnalisées sont le plus souvent fabriquées en céramique par usinage numérique, donc par fabrication numérique mais non additive. Par ailleurs, la fabrication additive est utilisée pour fabriquer certaines pièces prothétiques et implantaires en métal, lorsque les cas médicaux (moins fréquents) impliquent un besoin de pièces particulièrement complexes. La technologie utilisée est alors la solidification de poudre par fusion laser. Si la FA a ici un avantage, le procédé utilisé implique des machines industrielles lourdes et coûteuses. Ces machines sont exploitées par des centres de productions « industriels » mais trop importantes pour l'être au sein d'un cabinet dentaire. L'usinage numérique est ainsi la seule technologie de fabrication numérique pouvant être utilisée au sein des cabinets dentaires pour la fabrication locale. Enfin, les procédés de polymérisation de résine sous l'action d'un laser commencent à être utilisés pour des prothèses en céramique, mais la technique, très récente, demeure rare. En outre, si ce type de pièces n'entre pas dans le périmètre de notre recherche qui se concentre sur les prothèses, notons que la fabrication additive (polymérisation de résine ou projection de gouttes de matériaux) est assez largement adoptée pour de nombreuses autres pièces utiles aux soins dentaires (aligneurs et appareils dentaires, guides chirurgicaux, moules pour fabrication de prothèses, modèles de mâchoires permettant au dentiste et/ou au prothésiste de tester ses pièces ou « simuler » ses soins...).

En synthèse, un couple procédé-matériau principal est utilisé dans ce secteur (usinage numérique en céramique), alors que d'autres sont utilisés soit pour des besoins spécifiques (fabrication additive métal), soit de manière encore émergente (fabrication additive céramique). Ces technologies sont utilisées pour trois des fonctions identifiées dans la section 1.4. Les deux principales fonctions dans les cas observés dans ce premier article sont la personnalisation des pièces (fonction 6) et la fabrication « locale », proche du lieu d'usage (fonction 7). La fabrication de pièces complexes (fonction 3) permise par la FA est également mise en œuvre dans certains cas. Finalement, les entreprises et les chaînes de valeur que nous observons dans cet article appartiennent à une filière unique, celle de la production de prothèses dentaires.

Les modalités étudiées dans ce premier article sont essentiellement un couple procédé-matériau : l'usinage numérique de la céramique. C'est la dimension numérique qui nous

intéresse particulièrement ici en ce qu'elle permet d'observer les conséquences de certaines fonctions de la FA (personnalisation et fabrication locale), dont l'exploitation via la FA demeure rare. Nos cas montrent que le marché et l'exploitation de l'usinage numérique de céramique est stabilisé en comparaison des technologies de FA qui ne sont employées que de manière auxiliaire. Ce couple procédé-matériau essentiel (usinage numérique de céramique) est mis en œuvre pour deux fonctions (personnalisation et fabrication locale), et dans un secteur unique (la fabrication de prothèses dentaires).

C'est ce que nous sommes convenus de qualifier de modalité : des solutions technologiques spécifiques, appliquant la FA à un nombre limité et précis de besoins ciblés, dans un ou quelques secteur(s) utilisateur(s). Ces modalités (de la fabrication numérique) ont été mises en œuvre via des relations inter-firmes relevant principalement de mécanismes de marché et de développements et d'apprentissages organisationnels internes.

6.9.2. Relations inter-firmes

Dans cet article, nous observons des relations inter-firmes le long de la chaîne de valeur des prothèses dentaires, il s'agit donc de relations clients-fournisseurs au sein d'une filière économique. La chaîne de valeur traditionnelle du secteur est transformée sous l'effet de la numérisation de la production. Cette transformation consiste en différentes reconfigurations des rôles au sein de la filière. Les acteurs sont interdépendants mais se font concurrence, au travers de ces reconfigurations, pour capter de la valeur au sein de la filière.

Dans ces relations inter-firmes, certains acteurs démontrent une plus ou moins grande propension à absorber des compétences complémentaires à leur cœur de métier. Si les *manufacturers* n'absorbent pas les compétences traditionnelles de personnalisation (proposition 2.1), certains *customizers* (les prothésistes) démontrent qu'ils peuvent absorber des compétences hors de leur champ habituel et qui sont traditionnellement celles des *manufacturers*. Les acteurs intégrant les compétences qui ne sont pas leurs compétences d'origine, en réponse à une évolution de l'environnement (technologique), démontrent des capacités dynamiques qui relèvent de la capacité dynamique de transformation des compétences (*reconfiguring*) au sens de Teece (2007). Les compétences intégrées par les *customizers* sont co-spécialisées à leur compétence principale, c'est-à-dire que les compétences de prothésiste (notamment la relation client avec le dentiste) et de personnalisation prennent plus de valeur si elles sont combinées à des compétences en fabrication numérique, et réciproquement.

Ces observations de terrain et leur conceptualisation dans le cadre des capacités dynamiques montrent combien la compétence « métier » est aussi importante que la capacité à offrir des solutions technologiques. En d'autres termes, l'exploration des potentialités du nouveau paradigme suppose de combiner des capacités au contact des besoins autant que des compétences technologiques.

Les résultats de ce premier article sont la mise en lumière des mécanismes à l'œuvre dans une chaîne de valeur qui se transforme sous l'effet de la numérisation, permettant ainsi un développement de la personnalisation de masse et de la fabrication locale. Nous observons que ces mouvements conduisent à la désintermédiation d'acteurs ne s'adaptant pas à la numérisation de la chaîne de valeur, et que la capacité (existante ou non) des différents acteurs à s'approprier les compétences complémentaires à leur métier d'origine influence cette désintermédiation. La transformation radicale de la chaîne de valeur sous l'influence de fonctions permises par la FA est ici clairement observable. Néanmoins, une transformation aussi profonde n'est pas (encore ?) à l'œuvre dans de nombreux autres secteurs, où nous observons des relations inter-firmes différentes. Ce premier article a donc observé l'aval du processus par lequel les acteurs cherchent à tirer parti de la FA. Déplaçons maintenant notre loupe vers d'autres « moments » et d'autres formes de ce processus, pour y observer d'autres relations inter-firmes.

7. Second article : A Comparison of Relational Practices in Additive Manufacturing Multipartner Alliances in France and the UK

Co-authored with Tim Minshall¹, and Charles Featherston²

¹Institute for Manufacturing, Cambridge University, United Kingdom.

²The UK Government Office for Science, United Kingdom.

Abstract:

Multipartner alliances (MPA, i.e. alliances with more than two partners) dedicated to innovation have multiplied in the last decades. Their specificities raise important managerial questions. Among them, concrete interactions and relations between partners are not well understood. Yet they are essential to understand these organisational arrangements and to win the innovation race of our time. That is why this paper studies the relational practices taking place in MPA. We claim that the framework of relational practices identified for dyadic alliances (Ness, 2009) is insufficient and suggest a complete framework of relational practice in MPA to fill this gap. We elaborated this framework drawing on a broad range of literature and by inferring relational practices from case studies. Our theoretical proposition is that besides integrative and distributive relational practices (i.e. consisting mainly in value creation or value capture), a third relational practice is implemented that is specifically appropriate to MPA. We thus name it Multipartner relational practice. This relational practice consists of three governance mechanisms: community, interpreneurship and sub-groups; and one negotiation strategy: consensus reaching. The two cases we study and compare are MPA dedicated to additive manufacturing national strategies in France and the UK. They can be more precisely named National Technology MPA. These cases allow us to theorize from contemporary empirical contexts. They are also appropriate for comparison because they take place in similar contexts. Our observations show that both National Technology MPA are evolving through different phases (that can be differentiated by their aims even if they overlap) using common relational practice. During an initiation phase, the creation of the MPA, the interactions rely on a community and interpreneurship based governance with a problem-solving negotiation strategy. Later, during the operation phase, when strategizing is an important task, the MPA is

governed by sub-groups and interpreneurship governance, with a consensus-based negotiation. When the times comes for implementation– at the outcome phase – actors implement a sub-group and price-based governance mechanisms. Common observations between the two cases illustrate elements of our framework and reveal patterns of evolution of relational practices in MPA. However, theoretical generalization remains limited to a relatively narrow range of contexts and our research should be deepened with other case studies. Our results contribute to fill the gap of relational practices taking place in MPA and their evolution. Our study is also embedded in the context of innovation policy. If it is not the focus of this paper, the research could also bring insights to this literature.

Keywords: Mutlipartner alliances, relational practices, networks, additive manufacturing, innovation policy.

7.1. Introduction

Additive Manufacturing (AM) technologies, also called 3D printing, are recognized as a strategic turning point for industry (D’Aveni, 2015; Ford, Mortara, and Minshall, 2016; see Gao *et al.*, 2015 for a description in engineering). The US, China, Germany, the UK and France have developed, among other countries, national strategies for competitiveness in the development of these technologies. If AM is proved to be a game changer, the success of these initiatives should be crucial in the international economic competition. These large inter-organisational cooperative arrangements dedicated to innovation at a national level become more and more significant (Meissner, 2015; Etzkowitz and Leydesdorff, 2000; Provan, Fish, and Sydow, 2007) and raise several issues. Much remains to be understood about the way they operate and this understanding could be a key to future economic competition.

In France and the UK, these strategies rely on collaboration between different types of organisations. These organisational settings echo the growing literature on the different types of collaborative innovation that have become more and more common during the last decades. These arrangements have led to research on alliances (Mitchell and Singh, 1992, Doz and Hamel, 1998, Osborn and Hagedoorn, 1997, Kale and Singh, 2009), networks (Powell, Koput, and Smith-Doerr, 1996; Perks and Jeffery, 2006; Gibbert and Durand, 2007), technology partnerships (Duysters, Kok, and Vaandrager, 1999) or R&D consortia (Katz, 1986; Sakakibara, 2002). They are broadly recognised as enabling innovation and adaptation to technological change (Sakakibara and Cho, 2002; de Vaan, 2014).

Literature on multipartner alliances (MPA) defined as “*inter-organizational cooperative arrangement between three or more partners built for a common purpose*” (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015) provides insights into management of these cooperative arrangements. The different governance structure of these arrangements have been studied (Provan and Kenis, 2007; Provan, Fish, and Sydow, 2007; Li *et al.*, 2012), and the role of the central firm or group has been emphasised in particular (Dhanaraj and Parkhe, 2006; Reuer and Devarakonda, 2016). Equally, some specific management activities that these arrangements require have been reported upon (Saz-Carranza and Ospina, 2011; Gustafsson and Jarvenpaa, 2017). Researchers have recently suggested integrative perspectives on these collaborative initiatives. For example, Gustafsson and Jarvenpaa (2017) suggested a community management perspective on Triple Helix organisations. An inclusive framework on collaborative initiative has also been suggested from a public sector perspective (Bryson, Crosby, and Stone, 2015). However, beyond such research on governance and management of MPA, the practical interactions and relations between members are still to be studied if we want to understand how to manage MPA. In a nutshell, our aim is to contribute to fill this gap of relational practice within MPA. Our research question is hence: *How do actors relate and interact in a multipartner alliance context?*

To suggest theoretical insights into this question, this paper starts with a framework developed by Ness (2009) about relational practices in alliances defined as “*the interaction pattern ‘agents typically use for coordinating activities and relation’*” (Windeler and Sydow, 2001 cited by Ness, 2009, 452). It then unites pieces of other research to complement the framework for the context of MPA. Following this, we present the comparison of two cases studies based on this framework. As we are investigating a “how” question, the case study approach was the relevant methodology (Yin, 2014). We studied the cases of the French and the British strategies for AM to provide answers to our research question. These cases provide relevant manifestations of the MPA phenomenon and help generate our theoretical propositions. If contextual elements inevitably influence the MPA we study, they also bring a special relevance to our cases.

The main finding of our research is the theoretical framework we suggest, derived from theory and data. Besides integrative and distributive relational practices typically used for dyadic alliances, we describe a Multipartner Relational Practice with modes of interaction specifically appropriate for the MPA context. More precisely we show how, in the first and second phase, actors interact through Integrative and Multipartner relational practices. Relationships rely notably on problem solving and consensus-based negotiation, and on the two pairs of

governance mechanisms: entrepreneurship-authority and trust-community. We then illustrate how, in a third phase, the evolution towards an acquisition of financial resources by the MPA and a price-based governance is difficult. Moreover, we also illustrate how community is a relational practice as well as a strategic aim of observed MPA, blurring the line between strategy process and strategy content.

This research contributes to advance our understanding of how multipartners alliances operate, specifically regarding the interactions between actors within MPA. Focusing on the relational aspect of these arrangements, we offer a complementary perspective compared to the framework based on community management (Gustafsson and Jarvenpaa, 2017), more broadly contributing to a systemic understanding of MPA initiatives (Provan, Fish, and Sydow, 2007; Bryson, Crosby, and Stone, 2015; Albers, Schweiger, and Gibb, 2015) by – following Ness (2009) – developing a relational practices approach on MPA. We also offer a complementary perspective compared to this last research, by complementing relational practice perspective in the MPA context which follows Ness’s remark about specificity that multiple organisations collaborative context might have on relational practices, and the research gap on this issue (Ness, 2009: 478). Also, as these groups of organisations collaborating at a national level to innovate are embedded in public policies, they thus relate to the literature on national systems of innovation (Lundvall, 1992, Nelson, 1993, Freeman, 1995, Mowery, 2011). Involving academics, firms and the public sector, they could be described as having Triple Helix Model (Etzkowitz and Leydesdorff, 1995, Etzkowitz and Leydesdorff, 2000). This aspect is probably a blind spot of this research. In other words, if our work may provide insight into this research field, analysing our cases through (or even using our framework) this lens could be a future avenue of research. Among other limitations of this research, the intrinsically limited generalizability and the need for other case studies to reinforce our framework must be noted.

The next section of our paper (7.2) details the building blocks of our theoretical framework. Afterward, we explain our research methodology. In section 7.4, we present the findings of the comparative case study. Finally, we discuss the implications of our results and conclude.

7.2. Conceptual framework

7.2.1. Multipartner alliances

As it is largely identified in the literature on alliances, interfirm cooperative relationship also include a share of competition (e.g. Hamel, 1991). This mix of cooperation and competition

can be understood as a tension between self-interest and shared interest in the alliances (T. K. Das and Teng, 2000). This tension takes a more complex form in MPA and thus requires a specific management approach (Das and Teng, 2002; Zeng and Chen, 2003). The framework of multilevel embeddedness suggested by Gudmundsson, Lechner, and van Kranenburg (2012) advocates for the idea that the balance between self and collective interest imply complex and rich interaction mechanisms.

In recent years, there has been an increasing amount of literature on collaboration between multiple actors (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015; Das and Teng, 2002; Provan, Fish, and Sydow, 2007; Perks and Jeffery, 2006; Bryson, Crosby, and Stone, 2015; Davis, 2016; Fjeldstad *et al.*, 2012). If this literature employs different terms to define this inter-organisational cooperation (e.g. network or constellation) (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015), we use the comprehensive term of multipartner alliance (MPA). Research identifies some features of these organisational arrangements that have an impact on their management and the way they operate.

In their literature review, Albers, Schweiger, and Gibb (2015) sum up these specific features of MPAs. The “complexity effect” is caused by the number and the variety of partners and, hence, the number of different relationships between these partners. Das and Teng (2002) highlight that this complexity constitutes a context of generalised exchange (i.e. reciprocity doesn’t take place between two actors but is indirect) requiring a specific system of exchange (Das and Teng, 2002; Fjeldstad *et al.*, 2012; Lerner and Tirole, 2005). The “power allocation effect” reflects the diversity of potential power distribution and their sources stemming from the diversity of possible MPA configurations (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015). Studies on power allocation have also considered governance of these arrangements (Provan, Fish, and Sydow, 2007). Finally, the “timing effect” describe how partners may enter and exit the MPA in a rapid continuous way. This aspect increases the fuzziness of MPAs needs to be managed (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015).

7.2.2. Relational view of alliances

Emphasising the idea that alliances are evolving agreement and are thus places for negotiation, Ness (2009) suggests integrating negotiation strategies in the understanding of alliance governance in what he terms relational practices. Drawing on broadly recognised theoretical development regarding governance and negotiation, Ness (2009) suggest a framework to understand relational practice.

Three governance mechanisms are identified. The first is price (i.e. the economic or market-based structure of a relationship), the second is authority (i.e. the hierarchical features of the governance – explicit or implicit as legitimate traditional authority), and the third is trust (i.e. including parties trust that the other will not try to exploit their vulnerabilities, trust in terms of competence trust, and share common norms).

Ness also identifies two main types of negotiation. He explains that “*integrative strategies contribute to value creation and goal realisation of alliances, while distributive strategies are linked to realisation of private goal and value claiming*” (2009:455). Drawing on these elements, the author suggests two relational practices: the combination of a problem-solving negotiation strategy with a trust and authority-based governance contributes to the integrative relational practice; the combination of contending negotiation strategy with price contributes to a distributive relational practice.

Ness (2009) identifies relational practice in contexts of dyadic relationships, and the specific features of MPA are likely to imply the need for other relational practices. For example, the complexity of exchange would have an impact upon negotiations which will take place in an MPA context. Moreover, the difficulty of power allocation will probably have consequences on possible hierarchical governance. Hence, taking this specific context into account, we build upon existing literature on MPAs to suggest an expanded theoretical framework of relational practice in MPAs.

7.2.3. Multipartners relational practice

We gather under the concept of Multipartners relational practice the governance and negotiation patterns specifically suitable for the MPA context.

Due to the features of the MPA, a fine-grained management of its sometimes messy action is difficult. Thus, the alignment of partners toward a common goal and its pursuit, require a shared culture that has been described as a common cooperative macroculture (Das and Teng, 2002) or a social system of shared rules and norms (Sydow and Windeler, 1998; Uzzi, 1997). We name *community* the governance mechanism through which the structuration of actions within the MPA are based on a largely shared culture, values, norms and topics of interest. Community is notably reached through recognition of a common situation and stakes, openness that allows for plurality, socialisation (Gustafsson and Jarvenpaa, 2017) or fostered communication between members (Saz-Carranza and Ospina, 2011; Zeng and Chen, 2003).

Moreover, MPAs' features make the usual market and hierarchy drivers insufficient. Hence, collective action in a MPA may need a particular impetus. In this loosely managed organisational setting, this impetus may be given by entrepreneurs of interfirm cooperation. We name *Interpreneurship* the action of an individual creating, developing, and animating the MPA. To the best of our knowledge, the idea of interpreneurship has seldom been used in management literature. Exceptions focus on the networking aspect of entrepreneurship (Richter and Teramoto, 1995), the attempt to elaborate on external influence of intrapreneurship (Antoncic, 2001), and a focus on the intergenerational renewal of family business (Poza, 1988; Hoy, 2007). Finally, interpreneurship has been seen as having an impact upon the process of institutional change driven by networking coalitions (Miller, 1987).

Organisations involved in MPA have different ties with each other. Specific close relationships and common activities between some members of MPA lead to the existence of sub-groups, sometimes called cliques or clusters (Provan, Fish, and Sydow, 2007, see for example Gustafsson and Jarvenpaa, 2017). Sub-groups providing particular services can, in some cases, lead to greater efficiency of the overall MPA (Provan and Sebastian, 1998). Moreover, Davis (2016) recently illustrated the importance of sub-relations in triadic alliances. We define *sub-group* as the governance mechanism through which achievement of some activities is conducted by specific groups of members of the MPA.

As partners' self-interests and their points of view may significantly vary in MPAs, the decision process should entail large scale discussion to encompass the different positions of partners. Management of these incongruous positions can be achieved through the representation of partners in decision-making (Gustafsson and Jarvenpaa, 2017). Addressing this need has also been understood as a 'framing work' (Saz-Carranza and Ospina, 2011), which consists of extensively taking account of different positions to create shared objectives based on common interests. We call *consensus reaching* the negotiation strategy which consists of making a decision which is accepted by all the partners.

These governance mechanisms and negotiation strategies form a multipartner relational practice which aims to set and achieve the goals of numerous partners. Table 7 below summarises our analytical framework.

Table 7: Relational Practice in MPA

	Integrative	Multipartner	Distributive
Governance	<p>Trust Parties trust that other will not try to exploit their vulnerabilities, trust in terms of competence, common norms</p> <p>Authority The hierarchical features of the governance – explicit or implicit as legitimate traditional authority</p>	<p>Community Structuration of actions within the MPA based on largely shared culture, values, norms and topics of interest.</p> <p>Interpreneurship Action of an individual creating, developing, and animating the MPA</p> <p>Sub-groups Achievement of some activities is conducted by specific groups of members of the MPA</p>	<p>Price The economic or market based structure of relationship</p>
Negotiation strategies	<p>Integrative (problem solving, inaction) Contribute to value creation and goal realization of alliance</p>	<p>Consensus reaching Making a decision which is accepted by all the partners.</p>	<p>Distributive (contending and concession making) Linked to realization of private goal and value claiming</p>

7.3. Methodology

In this paper, we intend to observe and theorize about relational practices in multipartner alliances. The literature approaching this question provides fragmentary answers but remains unorganized. Consequently, our intent is to refine and collate such theoretical pieces, and to draw on empirical observation to elaborate on this framework and provide theoretical insights about our research question.

Due to the complexity of the phenomenon we study, we decided to compare two qualitative longitudinal case studies. This method was selected as it allows in-depth exploration that grasps relational practice in action, as well as identification of commonalities and divergence, during contemporary events (Eisenhardt, 1989; Eisenhardt and Graebner, 2007, Yin, 2014). Yet our reasoning is not purely inductive as we have also built from pieces of existing research. Indeed, we iterated between theory and data and refined our analysis, based on the constant comparison between our growing dataset and the theoretical framework we were continually narrowing (Corbin and Strauss, 1990, Suddaby, 2006). From an epistemological standpoint, we thought abductively.

We studied and compared two cases. The first was the development of the *UK AM national strategy* and the second, in France, the *AM initiative of the Alliance for the Industry of the Future*. The two cases are MPA created at a national level to develop a strategy for AM. They both verify the complexity, power allocation and timing effect mentioned in the literature. They are thus relevant to our question. Moreover, both cases take place in very close contexts,

involving the same technologies, the same types of actors, and have comparable national contexts regarding political systems, economic power, level of development, and country size. Hence, using these cases allows us to approach replicability in our study. If complete replicability cannot be achieved in qualitative studies where settings are intrinsically unique, our cases are close enough to be compared without too much contextual noise. Some contextual elements must also be noted. First, AM is a radical innovation, sometimes envisioned as the trigger of an ‘industrial revolution’. Our research is thus embedded in the context of radical innovation. Moreover, both the MPA we study are embedded in a national policy agenda. More broadly, awareness of the potential of AM has raised and has led to a worldwide intense competition between countries. Taking into account these context specificities, we could name more accurately the phenomenon we study by using the term of national technology MPA. This creates the limits of the theoretical generalizability of our findings. However, radical innovations are a field of fierce economic competition which is particularly relevant for strategy research. Also the “National System of Innovation” aspect of our case means that this specific context provides another good theoretical reason to be studied.

The process of data collection was slightly different for the two cases: it involved participant observation in the UK versus a mix of participant and non-participant observation in France. In France, 23 formal interviews (21 recorded and transcribed, 2 with note taking), lasting between 30 minutes and two hours, were held between December 2016 and September 2017. These interviews were mainly conducted with central members of the MPA. Some ‘simple participants’ were also interviewed. We also had a regular exchange with a main informant, who can be considered as the head of the initiative, to keep us updated with the evolution of the initiative. Moreover, more than 30 sets of presentation material used in meetings, and some working documents as well as public information were used as secondary sources of data. Finally, we took part in three plenary meetings and five working group meetings, where we had the occasion to discuss informally with participants who knew we were observing the case for research purposes. In the UK, primary data were essentially captured in participant observation by some of the authors who were also members of the strategy’s Steering Group. As such, they took part in more than 50 meetings and regularly exchanged with the working group. They also undertook much of the data gathering and analysis that was used to underpin the formulation of the strategy documents. Secondary sources of evidence were also used: these included published reports, presentations and articles relating to AM development and adoption. Based on the collected data, we wrote up detailed story lines of both cases and used them as the basis

for the analysis. At the time of submitting this version of the paper, actors from the field were mobilized to verify the details and accuracy of cases narratives, following a member check procedure (Lincoln and Guba, 1985). Short versions of these cases are presented in the next section. Following Das and Teng's (2002) view of alliance evolution, we present the alliances evolving in three phases: initiation, operation, and outcomes. These schematic phases structure the narrative of the case but tend to simplify a complex reality where activities' boundaries are blurred.

7.4. Findings

7.4.1. Uk additive manufacturing national strategy case study

7.4.1.1. Initiation (early 2014 – early 2015)

In 2014, following the publication of a series of reports by various industrial and policy groups, the idea of developing a strategy for the UK to profit from additive manufacturing appears. It was not initiated directly by the UK government but emerged during a meeting of academics and industrialists in April 2014. This led to the formation of a Steering Group that brought together civil servants, industry and academia representative to explore the scope and process of developing a national AM strategy for the UK. An initial activity of this group was the writing of a 'positioning paper' for AM. This paper presented the broad challenges facing AM, three scenarios for intervention, and emphasised the need for "[...] *a government supported UK Strategy for (...) AM*".

At that time, representatives of public institutions made clear that the intent was not to produce a government strategy for AM, but rather for this Steering Group to coordinate the development of an industry-led strategy for the UK with the Government's support. In order to clearly signal this intent, leading figures from the UK manufacturing industry wrote a joint letter to the then Minister of State for Skills and Enterprise. To signal this 'industry-led' approach, it was decided that the steering group would be headed by an industrialist. On its side, the government declared recommendations would be 'welcomed'.

The Steering Group recognised the need for input from a wider range of sources representing the views of UK organisations all along the technology value chain. The Steering Group also recognised the importance of signalling that the strategy development process was to be as open as possible, with the strong engagement of private and public stakeholders. The decision was

made to gather evidence from a series of multi-organisation workshops and an on-line open call for input.

7.4.1.2. Operations (early 2015 - October 2016)

Three multi-organisational workshops were thus organised and they used a common evidence gathering process. Attendees' perceptions were synthesized through a roadmapping methodology. All attendees were then given a chance to review a full set of the maps, and to provide comments on any arising issues. In addition, throughout the process, members of the Steering Group were sent sources of secondary data that were reviewed and catalogued. All sources were reviewed to identify common themes and their frequency of appearance in the primary and secondary data. Contributors to the workshops and the on-line call for evidence were also asked to consider the main opportunities for AM in the UK.

During this period the steering group agreed that increased industrial representation was important and invited two additional industrialists onto the steering committee. It also became clear that the involvement of the High Value Manufacturing Catapult (the UK collective R&D centres created by the government) would be critical to align the developing strategy with existing manufacturing-related support activities. To address this concern the Director of Operations at High Value Manufacturing Catapult was invited to join the Steering Group.

To develop the content of the strategy, seven thematic working groups were formed. They were mandated to further investigate the main issues identified in the initial round of data collection. Members of the Thematic Working Groups were drawn from a broad range of organisations within the UK AM community: companies (manufacturing, banking, legal services, design services...), government departments, government agencies, universities, and consultancies. Some of these members were invited and some had volunteered. Each Working Group was given the freedom to address the task as they saw fit, and used a variety of mechanisms. The Steering Group brought the Working Group chairs together from time to time to encourage cross-fertilisation of approaches and results. Through this process, the Working Groups provided a key input to the development of strategy and the implementation plan.

Moreover, to keep collecting data and to help connect the community, the steering group decided to establish a single-point-of-contact. This led to protracted discussions regarding conflicts of interest, the need to maintain neutrality, and avoidance of any preferential promotion of services. The Steering Group decided that the UK National Centre for Additive

Manufacturing (based at the Manufacturing Technology Centre, part of the High Value Manufacturing Catapult) should organise and manage a website of key relevant events, resources, and people under the banner of ‘Additive Manufacturing UK’. The lack of other options was key in this choice.

For the purpose of gathering together the UK AM community again, two other actions were initiated. First, a proposal was submitted to InnovateUK’s Knowledge Transfer Network (KTN) programme to set up an Additive Manufacturing Special Interest Group. This was approved and launched in 2016. Second, the Steering Group discussed at length the possible need for a trade association for the UK AM companies. The Steering Group was approached by, or made aware of, existing trade associations whose management believed that their association or network already represented the UK AM community. The complexities revealed by these interactions led to the Steering Group deciding that the case for the establishment of a new AM-specific trade association was not sufficiently compelling at that time.

In June 2016, the Steering Group began to draft a strategy document that summarised the outputs of the previous data collection and reflection. However, the result of the 2016 Brexit referendum and the development of a UK Industrial Strategy presented the Steering Group with a dilemma: on the one hand, the uncertainty caused by the Brexit decision pointed to a need to delay publication of the strategy; on the other, the announcement of the intent to develop a UK Industrial Strategy pointed to the need for a clear strategy for AM that could explicitly feed-in to the Industrial Strategy. Following debate, the compromise decision was made to release an interim document, called a – *platform document* – which would provide an update on progress, present the emerging recommendations, but also highlight the need for further refinement and targeting of implementation activities, and thus postpone the publication of the actual strategy document. This document was published in September 2016 at a public event for the AM community in order to avoid the risk of disengagement of these volunteers that could result from the decision to delay publication of the final strategy. The decision to publish the final strategy document in 2017 was also announced at this time.

7.4.1.3. Outcomes (October 2016 – December 2017)

Following the publication of the Platform for Engagement document, the Steering Group met to review its approach within the changing economic and policy context. Sub-groups of the Steering Group took on the responsibility of engaging with the Working Groups to discuss

connections and overlaps between their respective works, and with various UK industry leadership councils to focus on sector-specific issues.

Also, as anticipated, the government announced in its autumn economic statement the formation of a ‘Challenge Fund’ (which became known as the Industrial Strategy Challenge Fund (ISCF)). It was designed to fund industry-research collaborations aimed at addressing specific industrial challenges related to a range of technologies. The steering group targeted some efforts on preparing a bid for the Industrial Strategy Challenge Fund (including a synthesis of identified challenges and of activities requiring funding and a governance structure to allocate resources). An outline bid was submitted in May 2017. Over the summer of 2017, a series of ‘Challenge Workshops’ and ‘Deep Dives’ to identify and quantify the most compelling areas for ISCF support were conducted by the UK government. One result of these activities was, after some discussion, the merging of the AM ISCF bid with a separate bid which had been submitted on the topic of industrial digitalisation. This merged bid was not successful in obtaining funding in this round of the ISCF programme. However, if the MPA was not funded here, some of the participants were involved in other research projects, partially funded by the European Union since 2013.

By the end of 2016, there was a clear view from the Steering Group that a final version of the strategy document should be released as soon as possible. The group believed that a failure to do so could result in a loss of credibility and goodwill among the AM community that had been fostered over this three-year period. The task of drafting the final version of the UK AM National Strategy was taken on by a sub-group of the Steering Group in January 2017. This sub-group drew upon all the evidence captured to date, and the process of analysis and synthesis undergone to produce the Platform for Engagement document and the ISCF bid document. The strategy was revised many times before being finished and then published in September 2017.

7.4.2. Additive manufacturing initiative of the French Alliance for the Industry of the future case study

7.4.2.1. Initiation (June 2014 – March 2016)

In June 2014, the French Ministry of the Economy launched an industrial policy programme named *The 33 plans for the new industrial France*. The programme aimed at reviving French industry by supporting the implementation of digital technologies. A few months later, a 34th plan was created. It was first named *Factory of the Future* before the focus broadened and led

to the programme being renamed *Industry of the Future*. The government wanted to include industry representatives in the process of reflection and assigned its development to the heads of two industrial companies. A range of actors, drawn from among professional federations, industrialists, research labs and academics were also intended to play a role in this reflection. This is how the *Alliance for the Industry of the Future* (hereafter the *alliance*) was envisioned and then created in July 2015. At the beginning, 11 founding members took part, though this number increased to reach 34 members in June 2017. The alliance is a non-profit association, supported although not controlled by the government, mainly funded by membership fees, and topped up by a public grant, it has 3.5 full time equivalent employees. Among technological priorities, AM was identified as a very important priority. This idea was shared by public and private actors, even before the creation of the alliance.

During the second half of 2015, several driving forces converged toward the creation of an AM focused initiative (hereafter the *initiative*). In September 2015, a report on AM in France was submitted to the prime minister. This report highlighted the potential of the French industry in AM, the need for coordination, and led the author to identify and get in contact with many actors involved in AM in France. The government informed him of the convergence between the report's conclusion and the alliance's beginning actions. Meanwhile, preliminary discussions started between industrialists, research centres, professional federations and academics; among which were some members of the alliance. Observing events such as General Electric's acquisitions in AM or the developing national programmes for AM in industrial countries, many actors involved in AM understood that this competitive context required to coordinate efforts and share actions, notably at the national level. In the same period, three important collaborative R&D projects, financially supported by government agencies, were launched by three industrial companies of the CAC40 which were involved in the initiative. One of these companies also was already working on another future collaborative R&D platform. Among other projects, a research centre was appointed by a French government agency to build cartography to show where the AM research skills were present in France. This cartography later included inputs from the members of the nascent AM focused *initiative*. In this context, a preliminary meeting, gathering 50 people from 12 organisations took place the 7th January 2016. This meeting produced a first working draft (based on a version 0) and was the starting point of the initiative.

During this formative stage, the question to make this initiative free, open, and inclusive was raised. This openness principle was different from the Alliance membership regime that implies

the payment of a subscription, and indeed openness was seen by some actors as opposed to their interests. After some debate, the decision was finally made to make the initiative open. From the early development of the initiative, an informal steering group was formed by the director of the alliance (employee of the alliance), the appointee of the alliance's programme *developing the Future Technology Offer* from which the initiative was created (*employee of a research centre member of the Alliance*) and three other participants: two industrialists already involved in pre-existing collaborative research projects and one research centre conducting the pre-existing cartography project. The governance of the initiative is hence informal rather than explicit, as was the decision process on the leading role played by participants. Leading positions informally falls on some participants as they became essential in the process through their engagement and action. In other words, the choice of governance, through the formation of this informal steering group, was an informal emerging process. Other participants were involved in a 'facilitating transversal group' of 13 people, and they were also members of the pre-existing community.

7.4.2.2. Operations (March 2016 – December 2016)

The 15th of March 2016 a kick-off meeting officially launch "*The Additive Manufacturing Initiative: building together a strong French economic ecosystem.*" This one-day meeting was dedicated to explain the purpose and planned operations of the initiative, to present existing projects on AM, and to give the floor to participants to start to collect opinions and points of view. To avoid competitive issues the steering group decided that the focus of the work would be explicitly on the precompetitive field. These first discussions allowed for the identification of 10 themes around which 10 working groups were to be built. Between mid-March and June 2016, participants in the initiative (up to 145 people registered to take part in the process) were divided into 10 thematic working groups. These working groups organised meetings during this period which produced 80 "draft action sheets". Then, members of the facilitating transversal group organised these "draft action sheets" in seven transverse axes in a process of "*convergence*". A synthesis of the results of this phase was presented in a third open meeting of the initiative on 24 June 2016 attended by 120 people.

After this meeting, the next phase was intended to be a maturation process, which would lead from the 80 "action fiches" to "concrete action fiches" which could be easily used as a basis for action by the public authorities. In the end, this maturation consisted of a meeting of the 'facilitating transversal group' where fiches were prioritized using a classifying matrix based on importance and accessibility of actions. This synthesis led to the writing of the first roadmap

issued in late November 2016 during an open meeting where other projects in progress (R&D projects, industry studies...) were also presented. The positive and consensual reception of the roadmap by the participants shows that the roadmap was representative, at least to a certain extent. At the end of August 2016, before the presentation of the roadmap, a new French Minister of the Economy was appointed. Hence, the presentation of the roadmap to the minister was postponed. At this point, if the document was officially a “roadmap”, members of the steering group considered it more as a “master plan” to insist on the fact that the document framed, and made sense for, collective action but still remained flexible and in a process of development.

7.4.2.3. Outcomes (December 2016 – September 2017)

On 1 December 2017, the French president announced that he would not run for a second mandate in the next elections, scheduled for May 2017. This slowed down the work of the government and ministerial offices. If it did not stop all activities, it led to postpone some discussions with the government and some participants saw the electoral period as a break in the initiative action.

During the first months of 2017, members of the Alliance presented the roadmap to the government agency for business to discuss what could be done, and by whom. In March 2017 the government gave a communication about actions and projects led by important members of the initiative. Some of these projects had been in progress since before the beginning of the initiative (e.g. collaborative research projects, as mentioned in the initiation phase) and they were not implemented by the initiative itself but rather by some participants in the initiative, collaborating with other organisations. In this communication, the roadmap was the only outcome of the initiative itself.

The next public meeting took place in June 2017, and it was the occasion to give feedback on the action of the initiative, to present the content of the roadmap, different projects and regional R&D platforms. During this meeting, a call was made for “Industrial Crowdfunding”, which received a cautious reaction from some industrialists who awaited the announcement of public financial support. Indeed, as the time had come for the implementation of elements of the roadmap, financing actions have become key. However, rules of funding by the government are directed toward projects (by industrialists, academics, semi-public research centres...) and the intermediation of an association such as the alliance that would then allocate resources was thus difficult. Public funding for the initiative, which was open and had no formal governance

or boundaries, would have been impossible. On the other hand, companies didn't want to fund the MPA either. Instead, their intent was to secure a public funding for a project in which they planned to invest.

The second half of 2017 was mostly an idle time for the initiative. A new R&D platform was launched in early December 2017. It grouped 18 founding organisations among which were four members of the initiative steering group (all of them except the director of the alliance which was not a founding organisation), and, at least, six participants in the initiative. The platform has a budget of 40 million € over 5 years, partly funded by the Ile de France Regional Council (i.e. not at the national level). (The project had already been envisioned by one of the industrial companies represented in the steering group, as this vision was in fact presented during the kick-off meeting of the initiative).

7.4.3. Comparative analysis

This part presents the cases comparative analysis, it is summarised in Table 8.

Table 8: A common process of MPA evolution

Phase	Relational practice
Initiation	<ul style="list-style-type: none"> • Government as a principal or supportive • Strong impetus from some interpreneurs • Open Community to gather people around a common topic of interest
Operation	<ul style="list-style-type: none"> • Strategizing through sub-group • Consensus reaching methods used in strategizing • Strategic synthesis and other actions through interpreneurs and authority
Outcomes	<ul style="list-style-type: none"> • Missed evolution of the MPA toward price. However, funded initiatives exist through sub-group

7.4.3.1. Community

The collective raising of awareness in both countries led to the emergence of communities of people willing to cooperate to leverage the new technological paradigm. This governance of the creation of the MPA through a community linked by a common topic of interest is important in the initiation phase.

This community-based governance is also important in the operation phase to gather people in order to collect points of view and opinion useful to gain understanding of the needs of the nascent industrial ecosystem. Both in France and the UK, the strategizing process went through a data collection phase based on large open meetings. Gathering people at these events requires community governance, as the only reasons for attendance are the interest in the technology and the belief in the relevance of a national level initiative.

Moreover, the question of boundaries has been raised in both MPA, and both decided to be open to everyone interested. This openness principle is a central aspect of community, it allows for multiplication of the points of view and the development of a more accurate view of national industry's needs. These insights are essential for governments whose mission is to work for the national interest.

7.4.3.2. Interpreneurship

Interpreneurship played a key role during the initiation of both MPA. Whether the government provided the impetus (as in France) or the MPA emerged from a 'private' initiative, individual initiatives really allowed for establishing the existence of the MPAs. Members of the first steering group in the UK, who wrote an initial letter to the Prime Minister, or those involved in the first exchanges and preliminary discussions in France, or the actors from different organisations who invite interested people to a first meeting make the MPA possible at the beginning. Then, interpreneurship also was a very central governance mechanism as groups steering the MPA relied on the initiative, energy and time that their members give to the MPA despite the absence of dedicated resources and corporate objectives behind them. As there is no strong hierarchy or market mechanisms to steer the initiation and operation phases, actors that act as facilitators of interfirm cooperation are needed and thus gain legitimation in so doing.

7.4.3.3. Sub-groups

During the operation phase, governance by sub-groups was well established in both MPA. For the data collection step of the strategizing process, topic-related working groups were created in both MPA. Then, after this data collection stage, sub-group governance mechanism was also in use for other specific tasks. The UK case illustrates where a sub-group of the steering group notably engaged with the working groups. Also, the collective strategizing process required at some point a synthesis of the inputs of participants and the production of an outcome document (a strategy, a roadmap). These phases represent an important amount of work which was governed through a sub-group mechanism (with a certain amount of consensus reaching as we will see later).

Otherwise, we observe a difference in how sub-group governance is implemented. In France, groups of organisations implement projects linked to AM, such as R&D projects or advisory missions for SMEs interested in AM. These projects are parts of an emergent strategy as some of them started before the release of the roadmap (Mintzberg and Waters, 1985). They are consistent with the strategic options chosen and are presented during meetings of the initiative. Also, they are undertaken by participants of the initiative, and in a large part by members of the steering group. The initiative and more broadly the alliance and MPA acted here as facilitators, social clubs, and endowed sub-groups with legitimacy. However, the projects remain loosely coupled as they are financially and organisationally fully independent from the alliance. The implementation of the strategy (with a certain amount of emergence) is, hence realised through

a sub-group governance mechanism. We didn't observe this mechanism in the UK. In a way the hybrid dyadic alliances discussed later in article 3 (chapter 8) can be seen as de facto sub-groups, except they often appeared independently of the MPA.

7.4.3.4. Consensus reaching

The craft of reaching consensus is central in MPA, as collective making decision accepted by every partner is essential to maintain engagement of actors and links between them. Indeed, as we emphasized, MPA are open to many companies with possibly divergent interests. Hence to achieve a common strategic proposition, choosing directions which are accepted by all is essential. In both cases, the data collection phase was as open and inclusive as possible, leading to rich exchanges with participants to take into account as many issues as possible. The writing up of the strategy also aimed to include all the evidence captured. Both these elements illustrate the importance of consensus reaching in the strategizing activities of an MPA.

7.4.3.5. Distributive relational practice

Governance through Price (an element of the distributive relational practice) requires some comments. None of the MPA was funded at the beginning. If the French Alliance has some resources for its regular operation, the MPAs (i.e. the initiative) does not. The MPAs thus operated without a monetary mechanism. Thus, governance mechanisms from multipartner and integrative relational practice were used. At some point, when the time came to implement the strategy, financing become necessary. Here, the structures of observed MPA represent an issue, notably due to institutional reasons. In France, financing the MPA was revealed to be institutionally difficult, as shown in the outcome phase of the French case description. As a consequence, funding and price-based governance came with sub-groups governance mechanism as illustrated by the R&D project launched in December 2017. In the UK, it was envisioned to directly finance the MPA when bidding for the ISCF. However, the MPA was not awarded funding, and hence did not evolve to a price based relational practice. If the MPA was not funded here, many participants were involved in other AM-related research projects, partially funded by the public sector.

7.4.3.6. Integrative relational practice

Integrative relational practice was important in both the MPA. At a general level, we observed in our cases the general adoption of a problem-solving negotiation strategy with multipartner relational practice. Indeed, the value created by the MPAs is indirect and distant. As we

mentioned, there was no funding nor price based governance. In this situation, adopting a distributive negotiation strategy would have been irrelevant and premature. An indirect distributive negotiation strategy existed to the extent that participants may have kept their organisation's self-interest in mind when pursuing the collective aims.

Hence a problem-solving logic seems to be the major one that can guide the participant under the "complexity effect" within the MPA operations. It is for example shown by the openness of both initiatives and in the choice of a neutral actor as a single point of contact in the UK.

At a more precise level, we identify two couples of governance mechanisms in which multipartner governance mechanisms go hand in hand with integrative ones. The first couple is composed of community and trust governance mechanisms. The large number of participants in an MPA make difficult the direct exchange between members. This situation requires a certain degree of community between members, this community is linked to a generic trust that integration in the community will create value and not be wasted time or lead to opportunism by other members. Moreover, participants must trust that the competence of the community will lead the common action to succeed. Hence, building a community as a governance mechanism seems impossible without a certain amount of generalised trust. We thus claim that these two mechanisms go together in the context of an MPA. The second couple is composed of interpreneurship and the authority governance mechanism. For example, the steering groups were composed of interpreneurs who occupy the position because of what they bring to the MPA and what they achieve for the community. In the context of the power allocation effect described in the introduction, there is no simple and explicit power structure in MPA. Hence, the hierarchical authority that exists rely on this interpreneurship which is its source of legitimacy. The two governance mechanisms go together.

7.4.3.7. Role of government

In the initiation phases the support of the government is important. However, in France, the first move came from the government (or at least private and public wills met) whereas in the UK the first move clearly came from non-government actors, who then gained the government's support. In both situations, the government was in a position to receive recommendations from industry experts, in order to help implement its policy. If government is rather supportive of industry, we also see that the political context may hinder the development of a national technology strategy. This is illustrated in both cases by a slowdown of the work of the initiatives due to political reasons.

7.4.4. A common process

From the analysis above, we describe in this sub-section the common process followed the two MPAs we observed.

At the beginning, the collective raising awareness in both countries led to the emergence of communities of people willing to cooperate for this strategy. This illustrates how the creation of the MPA was governed by a community linked by a common topic of interest. Also, both MPA appears thanks to the initiative of entrepreneurs who start preliminary discussion and coordinate with involved people in the government. For example, the first members of the steering group in the UK wrote an initial letter to the Prime Minister to announce their project. There was no letter in France but the initiative started with discussions between actors, that decided to launch the MPA, invite other partners and eventually steered the initiative. Participation in MPA was free, open, and with no reward except what would be done by members. We see that as fully oriented toward the realisation of the alliance's goal, without regards for private goals, a manifestation of the problem-solving negotiation strategy.

Strategizing notably took place by splitting the participants in thematic working group. Then, individuals from the steering group performed the synthesis dedicating their energy and time to the MPA despite a lack of dedicated resources. The first observations show the sub-group governance and the second the importance of entrepreneurship. In both cases, the data collection phase was as open and inclusive as possible, leading to rich exchanges with participants to take into account as many issues as possible. The write up of the strategy also aimed to include all the evidence captured. Both these elements illustrate the importance of consensus reaching in the strategizing activities of an MPA.

Finally, both MPA envisioned but did not adopt a price governance because funding of these structure was irrelevant. However, outcomes came through sub-groups of organizations implemented projects such as collaborative R&D projects. These projects can be seen as parts of an emergent strategy as some of them started before the release of the formal strategies (Mintzberg and Waters, 1985). They are consistent with the strategic options chosen (typically: collaborative R&D) are presented during meetings of the initiative (in France), and notably undertaken by participants of the initiative (in both MPAs). These projects are loosely coupled with the MPAs, notably fully independent from an organizational and financial point of view. Their funding mechanisms show that the price governance mechanism played an important role.

7.5. Conclusion

In this paper, we drew on a literature review and two case studies to understand how do actors relate and interact in an MPA context. The first contribution of this research is the framework we suggest to answer this question. We provide pieces of evidence that specific governance mechanisms and negotiation strategies take place in multipartner alliances context. These types of interactions form a relational practice we name multipartner relational practice. It is composed of community, entrepreneurship and sub-group governance mechanisms and of a consensus reaching negotiation strategy. Multipartner relational practice takes place in interaction with integrative and distributive negotiation strategies identified by Ness (2009).

The second contribution, based on our case studies, is the illustration that these relational practices evolve in relation to specific activities of MPA. The analysis of activities proved to be more relevant than phases to understand MPA's evolution. Indeed, if we used the Das and Teng's (2002) three-phase model of alliance evolution to describe our findings, our cases show that fuzziness of MPA blurs the lines between phases of evolution because some partners may follow parallel agendas. Thus, the trio initiation, operation, outcomes; describe actions that can occur simultaneously and thus follow a non-linear path rather than a purely chronological order. Specifically, emergent strategies (Mintzberg and Waters, 1985) occur as MPA's outcome may be achieved by subgroups alongside the initiation and the operation phases notably dedicated to strategizing. A pattern of interaction of relational practice with activities of the MPA could be described in three associations:

- Initiation activity seems to require to apply a governance based on community associated with trust; in interaction with entrepreneurship associated with authority. During this activity, an integrative negotiation strategy takes place, based on the goodwill of actors to solve an identified problem with the idea they would benefit from the collective actions.
- Operation activity, notably consisting of strategizing, is characterized by common governance mechanisms: community and trust allow insight collection and entrepreneurship and authority govern the synthesizing of insights needed to formalize the strategy. In this activity, a consensus reaching negotiation strategy is used to achieve a collective agreement on the strategy.
- Outcome activity, consisting in realizing the strategy, rely on sub-group associated with price governance mechanism.

Another point that should be noted is the dual nature of the community relational practice. In our view, MPAs rely on community relational practices to achieve a common purpose. However, more than a means, community is also an end *per se*. Indeed, MPAs are also platform allowing people with related business stakes to meet in a cooperative mindset. The attempts to build a community may lead to sub-group cooperation and between participants more decisively to the emergence of a consistent and competitive ecosystem comprising actors all along the value chain. This expectation existed in the two cases we studied. It raises the question of the relation between MPAs dedicated to innovation and emergence of productive ecosystems.

These results contribute to the literature by complementing research on relational practices in alliances (Ness, 2009) with the multipartner relational practice. We also provide insights in the literature on MPA (Albers, Schweiger, and Gibb, 2015; Provan, Fish, and Sydow, 2007) by bringing light on the specific relational practices on which they rely and their evolution. In more practical words, our cases seem to reveal that the MPAs we observed were well designed for a collaborative strategic reflection and to serve as a platform for collaboration among participants. However, it appears difficult to perform strategic actions directly through such MPA as their organisational features hardly fit this task. In turn, MPAs' inability to implement concrete project risk to reduce the interest that participants have in these cooperative arrangements.

Our research is limited in various aspects. First, stemming from our methodology, our results may be tightly linked to our cases. Generalizability is thus limited and the study of different empirical contexts is needed to improve it. Notably, as they are embedded in innovation policies at a national level and radical innovation context, the MPAs we studied are of a specific type. We suggested to name them national technology MPA. In other contexts, MPAs could be based on different relational practices. Moreover, national technology MPA could be different in other countries due to the economic situation or political system. For example, China differs from France and the UK regarding these aspects and its national policy for additive manufacturing would probably be organized in a very different way. Here, our study call for other case studies and a national innovation system perspective to provide a relevant complementary theoretical understanding of national technology MPA (Lundvall, 1992, Nelson, 1993, Freeman, 1995, Mowery 2011).

7.6. References

- Albers, Sascha, Bastian Schweiger, and Jenny Gibb (2015), Complexity, Power and Timing in Multipartner Alliances: An Integrative Review and Research Agenda, *Managing Multipartner Strategic Alliances*. New York: Information Age Publishing.
- Antonicic, Bostjan (2001), Organizational Processes in Intrapreneurship: A Conceptual Integration, *Journal of Enterprising Culture* 9 (02):221–235.
- Bryson, John M., Barbara C. Crosby, and Melissa Middleton Stone (2015), Designing and Implementing Cross-Sector Collaborations: Needed and Challenging, *Public Administration Review* 75 (5):647–63.
- Corbin, J., & Strauss, A (1990), *Grounded theory research: Procedures, canons and evaluative criteria*, *Qualitative Sociology*, 13: 3–21.
- Das, T. K., and Bing-Sheng Teng (2000), Instabilities of Strategic Alliances: An Internal Tensions Perspective, *Organization Science* 11 (1):77-101.
- Das, Tushar K., and Bing-Sheng Teng (2002), Alliance Constellations: A Social Exchange Perspective, *Academy of Management Review* 27 (3):445–456.
- Das, Tushar K., et Bing-Sheng Teng (2002), The dynamics of alliance conditions in the alliance development process, *Journal of management studies* 39 (5):725–746.
- D’Aveni, Richard (2015), The 3-D Printing Revolution, *Harvard Business Review*, May, 40–48.
- Davis, Jason P (2016), The Group Dynamics of Interorganizational Relationships: Collaborating with Multiple Partners in Innovation Ecosystems, *Administrative Science Quarterly* 61 (4):621–61.
- Dhanaraj, Charles, and Arvind Parkhe (2006), Orchestrating Innovation Network, *Academy of Management Review* 31 (3):659–669.
- Doz, Yves, and Gary Hamel (1998), *Alliance Advantage: The Art of Creating Value Through Partnering*, Harvard Business School Press.
- Duysters, Geert, Gerard Kok, and Maaïke Vaandrager (1999), Crafting Successful Strategic Technology Partnerships, *R&D Management* 29 (4):343–351.

Eisenhardt, Kathleen M (1989), Building Theories from Cases Study Research, *Academy of Management Review* 14 (4):532–50.

Eisenhardt, Kathleen M., and Melissa E. Graebner (2007), Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges, *Academy of Management Journal* 50 (1):25–32.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L, (1995), The Triple Helix---University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development, *EASST Review* 14, 14-19.

Etzkowitz, Henry, and Loet Leydesdorff (2000), The Dynamics of Innovation: From National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of University–industry–government Relations, *Research Policy* 29 (2):109–123.

Fjeldstad, Øystein D., Charles C. Snow, Raymond E. Miles, and Christopher Lettl (2012), The Architecture of Collaboration, *Strategic Management Journal* 33 (6):734–50.

Ford, Simon, Letizia Mortara, and Tim Minshall (2016), The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue, *Technological Forecasting and Social Change* 102 (January):156–59.

Freeman, Chris (1995), The ‘National System of Innovation’ in historical perspective, *Cambridge Journal of economics* 19 (1):5–24.

Gao, Wei, Yunbo Zhang, Devarajan Ramanujan, Karthik Ramani, Yong Chen, Christopher B. Williams, Charlie C.L. Wang, Yung C. Shin, Song Zhang, and Pablo D. Zavattieri. (2015), The Status, Challenges, and Future of Additive Manufacturing in Engineering, *Computer-Aided Design* 69 (December):65–89.

Gibbert, Michael, and Durand, Thomas (2007), *Strategic Networks: Learning to Compete*, Editors, SMS book series, Blackwell

Gustafsson, Robin, and Sirkka Jarvenpaa (2017), Extending Community Management to Industry-University-Government Organizations, *R&D Management*.

Gudmundsson, Sveinn Vidar, Christian Lechner, et Hans van Kranenburg (2012), Multilevel embeddedness in multilateral alliances: A conceptual framework, In *Research in Strategic Alliances Series: Interpartner Dynamics in Strategic Alliances*, Das, T.K. Information Age Publishing, USA.

Hoy, Frank (2007), Nurturing the Interpreneur, *Electronic Journal of Family Business Studies*.

Hamel, Gary (1991), Competition for competence and interpartner learning within international strategic alliances, *Strategic management journal* 12 (S1):83–103.

Kale, Prashant, et Harbir Singh (2009), Managing strategic alliances: What do we know now, and where do we go from here, *Academy of management perspectives* 23 (3):45–62.

Katz, Michael L (1986), An Analysis of Cooperative Research and Development, *The RAND Journal of Economics* 17 (4).

Lerner, Josh, and Jean Tirole (2005), The Economics of Technology Sharing: Open Source and Beyond, *The Journal of Economic Perspectives* 19 (2):99–120.

Li, Dan, Lorraine Eden, Michael A. Hitt, R. Duane Ireland, and Robert P. Garrett (2012), Governance in Multilateral R&D Alliances, *Organization Science* 23 (4):1191–1210.

Lincoln YS, Guba EG (1985), *Naturalistic Inquiry*, Sage Publications: Newbury Park, CA.

Lundvall, B.-Å (1992), *National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Editor, London, Pinter Publishers.

Meissner, Dirk (2015), Public-Private Partnership Models for Science, Technology, and Innovation Cooperation, *Journal of the Knowledge Economy*, September.

Miller, Irwin (1987), Interpreneurship: A Community Coalition Approach to Health Care Reform, *Inquiry*, 266–275.

Mitchell, Will, and Kulwant Singh (1992), Incumbents' Use of Pre-Entry Alliances before Expansion into New Technical Subfields of an Industry, *Journal of Economic Behavior & Organization* 18 (3): 347–372.

Mintzberg, Henry, and James A. Waters (1985), Of Strategies, Deliberate and Emergent, *Strategic Management Journal* 6 (3):257–272.

Mowery, David C. (2011), Federal Policy and the Development of Semiconductors, Computer Hardware, and Computer Software: A Policy Model for Climate Change R&D?, In *Accelerating energy innovation: insights from multiple sectors*, Rebecca Henderson et Richard G. Newell, Ed, 159-88. National Bureau of Economic Research conference report. Chicago ; London: University of Chicago Press.

- Nelson, Richard (1993), *National Innovation System: a comparative analysis*, Editor. Oxford University Press
- Ness, Håvard (2009), Governance, Negotiations, and Alliance Dynamics: Explaining the Evolution of Relational Practice, *Journal of Management Studies* 46 (3):451–480.
- Osborn, R. N., and J. Hagedoorn (1997), The Institutionalization and Evolutionary Dynamics of Interorganizational Alliances and Networks, *Academy of Management Journal* 40 (2): 261–78.
- Perks, Helen, and Richard Jeffery (2006), Global Network Configuration for Innovation: A Study of International Fibre Innovation, *R&D Management* 36 (1):67–83.
- Powell, Walter W., Kenneth W. Koput, and Laurel Smith-Doerr (1996), Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology, *Administrative Science Quarterly* 41 (1): 116.
- Poza, Ernesto J (1988), Managerial Practices That Support Interpreneurship and Continued Growth, *Family Business Review* 1 (4):339–359.
- Provan, Keith G., and P. Kenis (2007), Modes of Network Governance: Structure, Management, and Effectiveness, *Journal of Public Administration Research and Theory* 18 (2):229–52.
- Provan, Keith G., and J. G. Sebastian (1998), Research Notes. Networks Within Networks: Service Link Overlap, Organizational Cliques, And Network Effectiveness, *Academy of Management Journal* 41 (4):453–63.
- Provan, Keith G., Amy Fish, and Joerg Sydow (2007), Interorganizational Networks at the Network Level: A Review of the Empirical Literature on Whole Networks, *Journal of Management* 33 (3):479–516.
- Reuer, J. J., and S. V. Devarakonda (2016), Mechanisms of Hybrid Governance: Administrative Committees in Non-Equity Alliances, *Academy of Management Journal* 59 (2):510–33.
- Richter, Frank-Jürgen, and Yoshiya Teramoto (1995), 'Interpreneurship': A New Management Concept from Japan, *MIR: Management International Review*, 91–104.
- Sakakibara, Mariko (2002), Formation of R&D Consortia: Industry and Company Effects, *Strategic Management Journal* 23 (11):1033–50.

Sakakibara, Mariko, and Dong-Sung Cho (2002), Cooperative R&D in Japan and Korea: A Comparison of Industrial Policy, *Research Policy* 31 (5):673–692.

Saz-Carranza, Angel, and Sonia M. Ospina (2011), The Behavioral Dimension of Governing Interorganizational Goal-Directed Networks—Managing the Unity-Diversity Tension, *Journal of Public Administration Research and Theory* 21 (2):327–365.

Suddaby, Roy (2006), From the editors: What grounded theory is not, *Academy of management journal* 49 (4):633–642.

Sydow, Jörg, and Arnold Windeler (1998), Organizing and Evaluating Interfirm Networks: A Structurationist Perspective on Network Processes and Effectiveness, *Organization Science* 9 (3):265–284.

Uzzi, Brian (1997), Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness, *Administrative Science Quarterly* 42 (1):35.

Vaan, Mathijs de (2014), Interfirm Networks in Periods of Technological Turbulence and Stability, *Research Policy* 43 (10):1666–80.

Yin, R. K. (2014), Case study research: Design and methods – 5th edition, Newbury Park, CA: Sage

Zeng, Ming, and Xiao-Ping Chen (2003), Achieving Cooperation in Multiparty Alliances: A Social Dilemma Approach to Partnership Management, *The Academy of Management Review* 28 (4):587.

7.7. Appendix

Tableau 9 : Détail des entretiens menés pour le cas français

Date	Institution de l'interviewé	Durée (en minutes)
02/12/2016	Grand groupe industriel, équipement automobile	45
09/12/2016	Fédération professionnelle sectorielle	71
09/12/2016	Startup, développant un procédé	
12/12/2016	Consultant pour un bureau d'étude, membre d'un syndicat professionnel sectoriel	59
01/02/2017	Grand groupe industriel, industrie lourde	61
08/03/2017	Pôle de compétitivité, industrie mécanique	67

13/03/2017	Particulier en recherche d'opportunité professionnel dans l'industrie	37
24/04/2017	Startup, développeur d'un logiciel	99
28/05/2017	Institut de recherche et développement, coordinateur du MPA	140
30/05/2017	Centre de recherche et innovation d'une école d'ingénieur, coordinateur du MPA	102
16/06/2017	Ecole d'ingénieur	118
11/07/2017	Direction général du secteur publique	62
11/07/2017	Startup, fabricant machines et pièces	28
12/07/2017	Entreprise de distribution de machine	
13/07/2017	Grand groupe industriel, équipement automobile	56
17/07/2017	Direction général du secteur publique	113
19/07/2017	Institut de recherche technologique	54
20/07/2017	Directeur général de l'alliance industrie du futur	94
24/07/2017	Syndicat professionnel sectoriel	65
24/08/2017	Grand groupe industriel, industrie lourde et aéronautique	82
27/09/2017	Institut de recherche et développement, Coordinateur du MPA	
15/5/2017	Centre de compétence sectoriel	93
	Durée moyen	76
	Temps total	1656

7.8. Discussion du second article

Comme à l'issue du premier article, nous proposons ci-dessous une discussion apportant des compléments au contenu du second article. Nous y mettons en avant les modalités de la fabrication additive dont il est question dans les cas étudiés (fonctions, secteurs, procédés et matériaux), et la logique de participation des acteurs dans ces alliances multipartenaires que nous qualifions au prisme du cadre théorique des capacités dynamiques.

7.8.1. Les modalités en jeu dans l'article

Les deux cas que nous étudions dans cet article sont des MPA pour la « fabrication additive ». Derrière cette dénomination se trouve une conception de la technologie donnant lieu à ces initiatives. En effet, les cas de MPA que nous observons traitent de la question de la fabrication additive dans son ensemble. Or, la « fabrication additive » désigne un ensemble de procédés s'appliquant à différents secteurs, pour différentes fonctions. En d'autres termes, ces MPA traitent de nombreuses modalités de la FA. Cela peut s'observer dans les documents proposant

des pistes d'actions, qui sont une production importante de chacune des MPA : la « *strategy* »³⁴ anglaise et la « feuille de route »³⁵ française.

Ces documents ne priorisent pas vraiment les matériaux et procédés ciblés. Si le document de « *strategy* » anglais ne propose aucune priorisation, la « feuille de route » française comporte une section « *Identifier des priorités et savoir les faire évoluer* »³⁶. Toutefois, cette section suggère des priorités pour différents matériaux (polymère, métal, céramique) mais pas de matériau identifié comme prioritaire. De plus, la même section identifie comme priorités cinq « technologies phares », deux « technologies émergentes », et des « technologies de niche » non mentionnées. On voit que cette « priorisation » comporte de nombreux éléments et s'avère large, et finalement peu différenciante entre les technologies variées (le terme de « priorisation » pourrait d'ailleurs être ici questionné).

Concernant les secteurs, la *strategy* anglaise préconise de mener des actions pour les « *High Value Manufacturing activities across all sectors* »³⁷ et précise que les secteurs concernés sont « *automotive, aerospace, medical technology and pharmaceutical sectors* »³⁸, ainsi que les secteurs des machines industrielles et de l'énergie, mentionnés plus haut dans le document. De manière comparable, la feuille de route française indique que : « *La demande est naissante ; il est nécessaire de l'explorer de façon organisée, par grands clusters (regroupements par chaîne de valeur et/ou filière et/ou métier)* »³⁹, et mentionne les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile, de l'énergie, du moulage/injection, et du médical. On note ainsi que les MPA des deux pays ne sont pas dédiées à un secteur particulier mais, au contraire, tentent d'embrasser la diversité des secteurs potentiellement usagers de la fabrication additive.

Enfin, concernant les fonctions, une priorisation explicite n'est pas faite dans les documents stratégiques produits par les MPA (entre des fonctions comme celles que nous proposons section 1.4). Néanmoins, les cas observés traitent de fabrication additive pour des usages industriels, et non de fabrication additive personnelle. Plus précisément, les présentations qui sont faites de la technologie montrent que les fonctions visées sont celles que nous qualifions comme relevant de la fabrication directe et particulièrement de la fabrication de pièces

³⁴*Additive Manufacturing UK National Strategy 2018 – 25: Leading Additive Manufacturing in the UK*, September 2017.

³⁵Feuille de route Fabrication additive – Alliance Industrie du Futur, décembre 2016.

³⁶*Ibid.*, p. 10.

³⁷*Op. cit. Additive Manufacturing UK National Strategy 2018 – 25*, p. 22.

³⁸*Ibid.*

³⁹Feuille de route Fabrication additive, *Op. cit.*, p.16.

complexes (fonction 3), de la fabrication en petite série (fonction 4), et de la fabrication personnalisée (fonction 6) (ces deux dernières fonctions que nous distinguons analytiquement sont, en pratique, assez proches). En témoignent les extraits ci-dessous des documents stratégiques produits par les MPA :

Dans la *Strategy* anglaise :

*As AM does not require fixed tooling, and can make complex geometries which would have been impossible previously, it has and will continue to revolutionise industrial capabilities. It is highly flexible and hence suited to customised manufacturing, where batch sizes of even just one, become economical and so it enables markets that work better for both businesses and consumers.*⁴⁰

Dans la Feuille de route française :

*Les deux grands avantages de la fabrication additive par rapport à d'autres procédés de production de pièces sont la réalisation compétitive de pièces aux formes complexes (permettant par exemple l'ajout de fonctions, la réduction de la masse des pièces et la réduction du nombre de pièces au sein d'une structure induisant ainsi un gain au niveau de l'assemblage) et la possibilité de réaliser de très petites séries flexibles, favorisant ainsi la personnalisation à grande échelle.*⁴¹

Pour compléter cette réflexion sur les modalités de la FA dont il est question dans les MPA étudiées, nous pouvons noter que les actions proposées par les deux MPA traitent également de procédés/matériaux, de secteurs, et de fonctions de multiples. Dans les deux cas, des actions identiques sont suggérées (par exemple une coordination des acteurs nationaux, le financement de projets de R&D, un programme de soutien des PME) pour la « fabrication additive » et non autour d'un secteur ou d'une fonction particulière.

En synthèse, les deux alliances multipartenaires que nous avons observées travaillent sur des modalités de la fabrication additive incluant de nombreux secteurs, fonctions, procédés, et matériaux. Ainsi, ces initiatives inter-firmes abordent une palette variée de modalités de la fabrication additive.

⁴⁰Additive Manufacturing UK National Strategy 2018 – 25, *Op. cit.*, p. 15.

⁴¹Feuille de route Fabrication additive, *op. cit.*, p. 5.

7.8.2. Relations inter-firmes

Les résultats de ce second article concernent les pratiques relationnelles au sein des MPA. Nous décrivons ces pratiques relationnelles et suggérons un processus analysant leur évolution selon les phases des alliances multipartenaires.

Dans le cadre de ce fonctionnement, on peut interpréter la participation des acteurs à ces MPA comme une volonté d'élaborer et de faire progresser leur stratégie, notamment en contribuant à une action collective au travers de laquelle ils pourront se positionner dans un écosystème technologique. Cela passe par la recherche d'information sur les activités à l'intérieur de cet écosystème et la promotion de son organisation. C'est ce qu'illustre la citation ci-dessous.

- *Comment est-ce qu'on arrive à faire travailler tout le monde ensemble ?*
- *Bah parce que à un moment chacun a un retour par rapport à sa participation. Euh... Pour tous les participants à ce type de travaux, déjà, c'est un lieu de prise d'information. Voilà, ça c'est vrai pour tout le monde, après pour certains ça peut être un enjeu de visibilité. Pour d'autres ça peut-être un enjeu de pousser des solutions et/ou des expériences qu'ils peuvent avoir... Voilà, je pense que surtout il y avait pas mal d'attentes au niveau national sur une structuration ou quelque chose qui se passe. Parce que tout le monde voit que dans les autres pays il y a quelque chose qui se passe, il y avait aussi « bon, nous, qu'est-ce qu'on fait en France ? ». Après, on retrouve les fondamentaux de la participation à une action mutualisée, clairement c'est un peu les éléments que je vous donnais avant c'est rechercher de l'information, être visible, et puis faire valoir ses intérêts. (Responsable d'un centre de compétence sectoriel participant au comité de pilotage de l'initiative FA de l'Alliance Industrie du Futur)*

Pour les acteurs, la participation à ces alliances multipartenaires est ainsi un vecteur d'adaptation au changement technologique de la fabrication additive. Les acteurs participent à s'insérer dans ces alliances multipartenaires en quête d'informations, d'illustrations, de stratégies, d'identification de compétences nécessaires, de partenaires potentiels, voire de financements publics. Elles visent aussi à participer à la création d'un écosystème technologique plus large au sein duquel leur implication de longue date leur permettra de se positionner. On peut ainsi analyser cette participation comme un dispositif de mise en œuvre des capacités dynamiques des acteurs. La recherche d'information à travers cette participation correspond à la capacité dynamique de *sensing* au sens de Teece (2007), c'est-à-dire de

détection d'une opportunité et/ou de menace. La tentative de contribuer à créer une initiative collective, tout en se rendant visible dans ce groupe émergent, et s'y positionner, relève également de cette capacité de *sensing* car, comme le suggère Teece, les opportunités ne sont pas uniquement détectées mais également façonnées par les acteurs (« *shape opportunities* »).

L'article montre que dans les deux cas de MPA observés, les groupements à l'œuvre n'évoluent pas vers des relations monétisées (des investissements communs ou des échanges internes par exemple). Ces arrangements organisationnels apparaissent comme adaptés pour mener une réflexion stratégique collective, mais pas pour la mise en œuvre des stratégies proposées. En effet, la mise en œuvre est (partiellement) réalisée par des sous-groupes de participants des MPA, sans liens « contractuels » avec les MPA. Ces dernières apparaissent ainsi comme génératrices de projets dont elles ne portent finalement pas elles-mêmes la réalisation. C'est une forme d'incubation, de lieu de rencontre et d'échange. Les projets « applicatifs » viennent plus en aval et sont par exemple des coopérations en R&D communs ou des initiatives de repérage de besoins avant du développement commercial éventuel. Les modalités concernées par les projets en question sont plus restreintes que les projets de MPA où la fabrication additive est prise au sens large, comme une unité « chapeau » malgré la diversité des réalités qu'elle recouvre.

Contrairement aux alliances multipartenaires, les projets « applicatifs » sont plutôt développés soit en direct, comme dans le premier article consacré aux prothèses dentaires, soit via des alliances dyadiques qui dépassent le stade de la réflexion stratégique et permettent la mise en œuvre de projets plus concrets. Ces alliances dyadiques ciblées sont l'objet de l'article suivant.

8. Troisième article : Alliances hybrides en situation d'innovation radicale : quatre cas d'alliance pour la fabrication additive, une révolution industrielle qui se fait désirer

Résumé:

Les alliances stratégiques, notamment avec les nouveaux entrants, sont un moyen pour les entreprises en place de faire face aux changements technologiques radicaux. Les changements technologiques de cette nature ne sont pas un processus linéaire où le développement technologique suivrait la recherche fondamentale avant qu'un produit soit développé, puis commercialisé. Ils sont au contraire constitués d'itérations et d'interaction complexes entre science, développements technologiques, compréhension des besoins des usagers, et marchés. Un des impératifs de ces processus est de rapprocher la technologie et les besoins du marché. Cela passe par des avancées dans deux directions : identifier les besoins du marché auxquels de nouvelles capacités technologiques peuvent répondre, et orienter les développements technologiques et de produit pour les adapter aux besoins du marché. Les alliances stratégiques peuvent être un moyen pour satisfaire à cet impératif. Or, les alliances stratégiques peuvent être le contexte d'intérêts et d'attentes divergentes entre les partenaires. Dans un contexte de changement technologique, l'enjeu n'est pas seulement de collaborer pour chercher et trouver des solutions (exploration), mais surtout de mettre en œuvre et commercialiser ces solutions (exploitation). Dans une alliance en contexte de changement technologique, une tension peut donc émerger entre ces deux pôles (exploration et l'exploitation), et se traduire par des difficultés entre les partenaires. Or, les travaux qui se sont attachés à réfléchir à l'équilibre entre exploration et exploitation (ambidextrie) dans les processus d'alliances se sont essentiellement penchés sur la façon dont les entreprises pouvaient atteindre cet équilibre via plusieurs alliances, et leur succession dans le temps. Face à une innovation radicale, ici la fabrication additive, nous observons des alliances qui combinent exploration et exploitation. Nous étudions quatre cas d'alliances pour le développement de la fabrication additive que nous comparons pour identifier les similitudes et différences. Il apparaît que le contexte d'innovation radicale implique d'associer des spécialistes technologiques et des usagers, usagers potentiels, ou développeurs-

producteurs de solutions technologiques à destination d'utilisateurs. En d'autres termes il s'agit former des complémentarités entre les spécialistes de la fabrication additive et des spécialistes « métier », centrés sur des domaines d'application potentielle précise, souvent dans un secteur d'activité spécifique. Ces alliances de complémentarité nécessitent de combiner exploration et exploitation, néanmoins cette combinaison ne va pas sans difficulté. Le passage de l'exploration à l'exploitation est difficile du fait du manque de connaissance des besoins latents de marché (applications) et du manque de maturité (et donc de performance) des technologies disponibles. Cette situation est gérée de plusieurs façons. Exploration et exploitation peuvent être clairement articulées au sein d'accords séparés. Néanmoins, lorsqu'exploration et exploitation font partie du même accord, les partenaires doivent consentir à accorder plus de temps et de ressources que prévu pour que l'exploitation se développe, ce qui nécessite également des efforts de réajustement de la relation d'alliance. Le contexte peut également mener à ce que les alliances se terminent si les partenaires ne sont plus suffisamment alignés et qu'un partenaire ne peut plus allouer de ressources pour maintenir une activité nécessitant plus d'exploration avant de pouvoir passer à l'exploitation.

Mots clés : Alliances dyadiques, alliances hybrides, exploration-exploitation, paradigme technologique.

8.1. Introduction

Inventée dans les années 1980 et aujourd'hui en plein développement, la fabrication additive (ou impression 3D) peut transformer profondément la façon dont sont fabriqués de nombreux biens matériels (Rayna et Striukova, 2015; Gibson, Rosen, et Stucker, 2015; Ben-Ner et Siemens, 2017). Ses conséquences économiques pourraient être profondes et certains ont même employé le terme de révolution (Hopkinson, Hague, et Dickens, 2006; D'Aveni, 2015a). Sans aller jusque-là, la fabrication additive (FA) est une innovation radicale de procédé « *impliquant des méthodes (...) qui sont nouvelles pour les entreprises installées* » (Hill et Rothaermel, 2003: 258). On peut également considérer qu'il s'agit d'un nouveau paradigme technologique au sens de Dosi (1982), c'est-à-dire d'un nouveau « *modèle de solution à des problèmes techniques choisis, basés sur des principes scientifiques choisis et des solutions matérielles choisis* » (p. 152). Au vu de ses conséquences industrielles potentielles, on peut même qualifier la FA de paradigme techno-industriel. Les innovations radicales de ce type représentent des menaces pour les entreprises établies (Hill et Rothaermel, 2003). Ces dernières peuvent recourir à une stratégie d'alliances avec les nouveaux entrants innovants pour faire de cette menace une source

d'avantage concurrentiel (Rothaermel, 2001a, 2001b). La question de l'équilibre entre exploration et exploitation dans le portefeuille d'alliances des entreprises face à des évolutions technologiques a été étudiée (Rothaermel et Deeds, 2004; Lavie et Rosenkopf, 2006; Lavie, Kang, et Rosenkopf, 2011). Néanmoins, ces études se focalisent sur un équilibre entre les différentes alliances du portefeuille, et non au sein d'une seule et même alliance. Les alliances hybrides poursuivant à la fois exploration et exploitation ont été identifiées (Koza et Lewin, 2000) mais l'étude de leur fonctionnement demeure peu développée (Doganova *et al.*, 2015).

Afin de contribuer à enrichir la connaissance sur ce sujet, notre article traite donc de la question suivante : comment les alliances hybrides équilibrent-elles exploration et exploitation en contexte d'innovation radicale ?

L'étude de cette question (« comment ? ») nécessite une observation fine de la façon dont émerge et est traitée la tension exploration-exploitation au niveau des alliances (Yin, 1984). Nous adoptons donc une approche qualitative, par une étude de cas multiples qui nous permettra d'identifier des similarités, des différences, et des spécificités dans cette gestion des alliances hybrides (Eisenhardt, 1989).

Dans ce contexte d'innovation radicale, les alliances hybrides que nous étudions relèvent de la situation typique de la coopération entre une entreprise installée et un nouvel entrant innovant. Dans le contexte de la fabrication additive, il s'agit d'étudier des alliances entre un spécialiste de cette innovation radicale et une entreprise installée maîtrisant des domaines d'application potentielle, souvent autour des métiers d'un secteur spécifique et donc pour instaurer cette nouvelle technologie dans ce secteur d'activité. En reprenant la distinction entre exploration et exploitation, et son application dans les alliances (Levinthal et March, 1993; Koza et Lewin, 1998, 2000), cette étude se concentre sur la façon dont les alliances équilibrent des activités visant à explorer de nouvelles opportunités et créer de nouvelles ressources et compétences pour concevoir et utiliser des processus de FA (exploration), et des activités consistant à utiliser les machines et processus existants (exploitation) pour des besoins ciblés, techniquement faisables, pertinents pour le marché et financièrement tenables.

Il apparaît que face à un changement technologique relevant d'un nouveau paradigme techno-industriel, le modèle des alliances hybrides paraît essentiel et porteur d'enjeux et de conséquences spécifiques en termes de dynamique d'évolution des alliances.

Après cette première section introductive, nous discutons la littérature sur l'équilibre entre exploration et exploitation dans les alliances pour montrer l'intérêt de son analyse au niveau

d'une alliance hybride, particulièrement dans un contexte d'innovation radicale. Nous présentons dans la troisième section (8.3) l'approche méthodologique adoptée dans cette recherche. La quatrième section (8.4) présente les résultats de notre étude au travers d'une description de chacun des 4 cas d'alliance étudiés, suivie d'une analyse inter-cas. Finalement, nous proposons une discussion de nos résultats et concluons l'article.

8.2. Revue de littérature : Alliances d'exploration et alliances d'exploitation

Les alliances stratégiques sont apparues comme une source d'avantage concurrentiel important dans les années 1990 grâce à quatre des opportunités qu'elles offrent : la gestion d'actifs spécifiques à une relation, le partage de connaissance, l'accès aux ressources et compétences complémentaires, et une meilleure gouvernance des relations inter-firmes (Dyer et Singh, 1998). L'organisation en alliances est particulièrement importante dans des contextes d'innovation technologique (Teece, 1992; Powell, Koput, et Smith-Doerr, 1996; Hagedoorn et Duysters, 2002).

La recherche s'est intéressée aux différents types d'alliances mises en œuvre dans des contextes d'innovation technologique. Dès 1993, Hagedoorn mettait en avant la différence entre les stratégies relationnelles liées au développement technologique, celles liées au développement d'innovations, et celles liées à l'accès au marché (Hagedoorn, 1993). Cette distinction le long du processus d'évolution des technologies oppose typiquement les partenariats R&D en amont aux partenariats aval pour la commercialisation des innovations. Par exemple, Hagedoorn a observé les premiers (2002) quand Teece a pensé les seconds (1986). On peut faire un parallèle entre la distinction développée ci-dessus et la distinction traditionnelle de la théorie des organisations entre exploration et exploitation. Selon cette distinction établie par March, « *l'exploration inclut des choses saisies par les termes de recherche, variation, prise de risque, expérimentation, jeu, flexibilité, découverte, innovation. L'exploitation inclut des choses telles que le perfectionnement, le choix, la production, l'efficacité, la sélection, la mise en œuvre et l'exécution* » (March, 1991: 71). Plus directement, l'exploration désigne « *la quête de nouvelles connaissances* », et l'exploitation « *l'usage et le développement de choses déjà connues* » (Levinthal et March, 1993: 105). Ce parallèle amène à distinguer les alliances selon qu'elles ont pour objectif l'exploration ou l'exploitation (Koza et Lewin, 1998).

De nombreuses recherches sur les alliances reprennent cette dichotomie entre exploration et exploitation et analysent chaque alliance comme relevant soit de l'un soit de l'autre (Rothaermel, 2001a; Rothaermel et Deeds, 2004; Colombo, Grilli, et Piva, 2006). Or, comme l'expliquent Doganova *et al.*, (2015), définir les alliances comme étant d'exploration ou d'exploitation dépend largement du niveau d'analyse choisi. Observer au niveau de la dyade plutôt qu'à celui d'une entreprise focale (l'un des partenaires) amène à une vision plus riche. En effet, une alliance pour commercialiser une nouvelle technologie est classiquement considérée comme une alliance d'exploitation car il s'agit pour le partenaire « innovateur » d'exploiter cette technologie commune, et pour le partenaire « distributeur » (ou « apporteur ») d'exploiter des compétences connues. Néanmoins, pour le partenaire « innovateur », l'adaptation de sa technologie à un contexte d'application particulier (par exemple comme composant d'un ensemble technologique plus large) comporte une part d'exploration. Cette intégration impliquera également une part d'exploration pour le « distributeur ». C'est dans cette logique qu'a été proposée l'idée d' « alliances hybrides » qui incluent à la fois des activités d'exploration et des activités d'exploitation (Koza et Lewin, 2000). Néanmoins, la littérature sur ce sujet est peu développée.

Par ailleurs, tout comme les organisations, les alliances peuvent combiner exploration et exploitation (Doganova *et al.*, 2015). Cette capacité à trouver un équilibre entre l'exploration et l'exploitation est désignée par l'idée d'ambidextrie organisationnelle (Tushman et O'Reilly, 1996; O'Reilly et Tushman, 2013). Pour gérer la tension entre exploration et exploitation, les alliances, comme les entreprises, peuvent faire appel à trois types d'ambidextrie : structurelle (on sépare les structures dédiées à l'exploration et celles liées à l'exploitation), temporelle (on sépare dans le temps les activités dédiées à l'exploration et celles liées à l'exploitation), contextuelle (les mêmes équipes sont capables de gérer à la fois l'exploration et l'exploitation).

La littérature a traité de cette question de l'ambidextrie dans les alliances, parfois en considérant les alliances hybrides (Rothaermel, 2001a; Lavie et Rosenkopf, 2006), mais cette prise en compte nous semble insatisfaisante. Par exemple, dans une recherche sur les alliances dans le secteur des biotechnologies, les auteurs analysent la fonction des alliances au niveau d'une firme focale et mesurent ainsi que les alliances hybrides constituent une minorité infime des alliances observées (Rothaermel, 2001a). Par ailleurs, si Lavie et Rosenkopf (2006) prennent en compte les alliances hybrides, l'ambidextrie dans les alliances est pensée comme une capacité à diversifier son portefeuille d'alliances pour trouver un équilibre en ayant des alliances d'exploration et des alliances d'exploitation. On est donc ici dans l'idée d'ambidextrie

structurelle en séparant les structures (les alliances) selon leur but. D'autres recherches ne prennent pas en compte les alliances hybrides. Une étude des coopérations entre de nouveaux entrants proposant des innovations et des entreprises « installées » (« incumbents ») dans le secteur pharmaceutique et des biotechnologies suggère un modèle en deux étapes dans lequel les alliances d'exploration permettent de développer de nouveaux produits qui sont, dans un second temps, commercialisés via des alliances d'exploitation (Rothaermel et Deeds, 2004). Dans cette recherche, l'ambidextrie est temporelle : les alliances considérées comme étant dédiées uniquement à l'exploration précèdent celles dédiées à l'exploitation. Au total, ces recherches sur l'exploration et l'exploitation dans les alliances suggèrent que les entreprises gèrent leur portefeuille d'alliance pour atteindre une ambidextrie structurelle et temporelle plutôt que contextuelle.

Néanmoins, la réalité du processus d'innovation fait apparaître comme trop simplificatrice l'idée de la poursuite d'une ambidextrie structurelle et temporelle au sein des alliances technologiques. Comme l'ont expliqué Kline et Rosenberg il y a déjà plus de 30 ans, les processus d'innovation sont complexes et désordonnés (Kline et Rosenberg, 1986). En effet, la réalité est loin d'un modèle linéaire commençant par la recherche fondamentale, pour aller vers le développement produit et enfin la commercialisation. Les processus sont composés d'étapes plus variées, qui s'influencent et rétroagissent les unes sur les autres. Par exemple si les développements technologiques et l'adaptation au marché sont nécessaires, les seconds ne suivent pas forcément les premiers. Une tentative de commercialisation peut faire émerger des besoins, qui vont nécessiter de nouveaux développements technologiques, voire scientifiques. Par ailleurs, dans certains secteurs, la mise en œuvre d'une nouvelle technologie nécessite une réflexion conjointe dans laquelle les besoins et les contraintes d'utilisation vont orienter les choix ou les développements technologiques et, réciproquement, les possibilités et contraintes de la technologie vont influencer les besoins précis pour lesquels on décide de la mettre en œuvre. Dès lors, l'idée d'une séparation temporelle et d'une succession linéaire entre les alliances d'exploration et d'exploitation, telle que suggérée par Rothaermel et Deeds (2004), semble trop simplificatrice pour comprendre comment est gérée la tension exploration/exploitation dans les alliances technologiques. Par ailleurs, l'idée d'une séparation structurelle entre exploration et exploitation se heurte, à notre sens, à deux limites. Premièrement, les interactions entre fonctions classiquement représentatives de l'exploration et de l'exploitation (respectivement R&D/développement de produits et production/vente) doivent coopérer au sein du processus d'innovation (Kline et Rosenberg, 1986), ce qui rend

inadéquate l'idée d'une séparation structurelle. La seconde limite à cette conception concerne l'idée d'une ambidextrie structurelle dans laquelle les entreprises favorisent un partenaire connu (exploitation) pour les activités d'exploration (R&D), et se risquent à des partenariats avec de nouveaux acteurs (exploration) pour des activités d'exploitation (commercialisation d'une technologie existante) (Lavie et Rosenkopf, 2006; Lavie *et al.*, 2011). Bien que mettant en lumière une tendance, cette analyse n'approche pas la question de l'ambidextrie contextuelle au sein d'une alliance. Par ailleurs, elle ne pense pas le cas des alliances dans l'étape de foisonnement qui suit une innovation radicale et durant laquelle un design dominant n'est pas stabilisé. Dans ce type de situation, les innovations sont souvent introduites par de nouveaux acteurs et l'absence de design dominant rend nécessaire une approche exploratoire. Ici, il semble difficile d'équilibrer exploration et exploitation entre les alliances car la situation oblige à une exploration sur les différents aspects. Cet « angle mort » concernant le contexte d'innovation radicale est problématique car ce contexte est justement celui ayant les plus fortes conséquences sur le jeu concurrentiel (Tushman et Anderson, 1986; Anderson et Tushman, 1990; Durand, 1992). Dans la lignée des recherches sur la gestion de la tension entre exploration et exploitation dans les alliances, une recherche récente s'intéresse à ce contexte de foisonnement dans la première phase du cycle de l'évolution technologique (Sierzchula *et al.*, 2015). La recherche arrive à la conclusion contre-intuitive d'une majorité d'alliances d'exploitation en début de cycle technologique. Nous suggérons ici que la méthodologie puisse être problématique car la qualification des alliances entre exploration et exploitation sur la base de mots clés dans des communiqués de presse d'entreprise nous semble simplifier à l'excès une réalité complexe.

Il peut bien évidemment exister des cas « purs » d'alliances dédiées uniquement à l'exploration (un partenariat R&D par exemple) ou à l'exploitation (la commercialisation d'un composant amélioré au sein d'un système technologique identique). Certains processus d'innovation peuvent également s'avérer relativement linéaires. Néanmoins, il nous semble que l'hypothèse d'une ambidextrie temporelle ou structurelle dans la gestion des alliances conduit à un déficit de recherches sur des alliances hybrides, en d'autres termes sur des alliances au sein desquelles l'ambidextrie est contextuelle. Comme le note Doganova *et al.* : « *les preuves empiriques illustrant l'usage largement répandu des alliances ambidextries contrastent avec l'absence de considération et d'analyse académique dont elles sont l'objet* » (Doganova *et al.*, 2015: 707).

La littérature sur le management des alliances stratégiques est riche et dépasse largement la question de la tension exploration/exploitation. Une question fondamentale de cette littérature

est celle de l'évolution de la coopération au sein de ces alliances. Les dynamiques de coopération sont largement influencées par les conditions initiales de l'alliance puis évoluent à mesure de l'adaptation des partenaires dans un cycle apprentissage- réévaluation-ajustement (Doz, 1996). Les processus d'évolution des coopérations inter-firmes sont influencés par de nombreuses variables externes et internes, dont l'incertitude liée à l'évolution technologique et aux conditions de marché. Ils aboutissent à divers types de changement dans les alliances selon des schémas d'évolution différents (Majchrzak, Jarvenpaa, et Bagherzadeh, 2015).

Si ces processus d'évolution sont bien documentés, une perspective sur la façon dont ils sont marqués par les tensions entre exploration et exploitation au sein d'une même alliance apparaît pouvoir les enrichir de nouvelles idées. Plus spécifiquement, le contexte particulier de l'innovation radicale nous semble ne pas avoir été suffisamment étudié. Or, tout comme pour la littérature sur l'exploration et l'exploitation dans les alliances, le sujet nous paraît particulièrement important du fait des enjeux stratégiques qu'il implique.

Une autre dimension contextuelle à propos des changements technologiques de rupture mérite également d'être soulignée. Si la fabrication additive est une technologie en plein développement, le paradigme techno-industriel qu'elle constitue a encore une ampleur limitée. En effet, les solutions qu'elle offre restent pour l'heure dédiées à la résolution de certains problèmes et à des usages spécifiques comme le prototypage, l'outillage et, depuis des développements plus récents, la fabrication personnalisée, en petite série, ou de pièces complexes (Gibson *et al.*, 2015; Rayna et Striukova, 2015). Cette évolution des usages fait typiquement apparaître la fabrication additive comme suivant le modèle dans lequel certaines nouvelles technologies se développent au sein de marchés de niche auxquels elles sont particulièrement adaptées. Pour les entreprises développant ces nouvelles technologies, ces marchés de niche servent « d'appui », notamment financier, pour investir dans le perfectionnement des technologies afin qu'elles progressent jusqu'au stade où elles entrent en compétition avec les technologies installées sur des marchés plus larges (Levinthal, 1998; Christensen, 2008). Ce type de trajectoire d'évolution d'une technologie peut déstabiliser (et même faire disparaître) des entreprises établies et implique donc des enjeux stratégiques majeurs (Christensen, 2008). Dans ce contexte, les alliances technologiques peuvent être un outil permettant ce passage des marchés de niche à des marchés plus larges. Eclairer l'influence de ce contexte sur l'évolution des alliances nous semble également pouvoir enrichir les recherches sur les alliances technologiques.

8.3. Méthode

Notre recherche se penchant sur une question de type « comment ? », son traitement amène le recours à des données riches et détaillées. Par ailleurs, le sujet de l'équilibre entre exploration et exploitation au sein des alliances hybrides étant nouveau, notre recherche a une dimension exploratoire et il est difficile de poser des hypothèses qu'il s'agirait de vérifier. Pour ces raisons, nous adoptons une approche qualitative par étude de cas (Yin, 1984). Notre démarche peut être qualifiée de compréhensive (Dumez, 2016). Plus précisément, nous adoptons une approche d'étude de cas multiple et comparative qui nous permet de documenter plus richement la question étudiée et de raisonner par similarités et différences entre les cas afin de tenter d'identifier des relations causales. Nous procédons donc dans la section résultats à une analyse intra-cas avant de réaliser une analyse inter-cas (Eisenhardt, 1989).

Le choix de nos 4 cas s'est opéré par échantillonnage théorique (Suddaby, 2006). Le premier critère de cet échantillonnage a été de sélectionner des cas d'alliances nouées pour le développement de la fabrication additive (FA). Cette technologie est intéressante à observer car elle constitue un changement technologique radical et un nouveau techno-industriel en plein développement. Si la technologie existe depuis plus de 30 ans, elle atteint depuis peu un point de bascule en termes de performance, se généralise actuellement à des usages et des secteurs variés (Campbell *et al.*, 2012; McKinsey & Company, 2014; D'Aveni, 2015b; Rayna et Striukova, 2015). L'échantillonnage a été guidé par la volonté théorique d'étudier les spécificités des alliances nouées dans le contexte particulier du développement d'une innovation radicale. On peut ajouter que des changements de ce type sont relativement rares et il est par conséquent utile de saisir l'opportunité de les étudier « en train de se faire » pour saisir au mieux la richesse de leur déroulement. En plus d'être représentatif d'une innovation technologique radicale, le moment nous semble donc particulièrement opportun pour étudier la FA. En plus de l'intérêt de la technologie, le choix opéré nous permet d'observer 4 cas d'alliances dans une même situation d'innovation radicale et de développement d'un nouveau paradigme techno-industriel. Si les procédés et matériaux varient dans une certaine mesure (notamment pour le cas 2 où l'impression 3D béton pour la construction présente des différences notables avec les autres procédés), la solution technologique et les problèmes qu'elle traite sont comparables. Cette proximité permet de « neutraliser » autant que possible la variable technologique comme explicative des variations entre les cas, ce qui renforce leur potentiel en termes d'identification de relations causales. Aussi, bien que la réplification parfaite

soit impossible dans une démarche qualitative, cet échantillonnage théorique est un moyen de s'en approcher.

L'identification et une première compréhension des cas se sont faites sur la base de données secondaires : coupures et communiqués de presse, informations financières, sites internet d'entreprises, rapports d'activités. Au total, plus d'une centaine de documents ont été retenus pour constituer notre jeu de données. Nous avons ensuite approfondi la collecte avec des entretiens semi-directifs (Romelaer, 2005) centrés autour de l'histoire, du développement, du déroulement, et des résultats de l'alliance (au moment de l'entretien) ; de son mode de fonctionnement et de gestion, des difficultés rencontrées, et de la façon de les gérer. Nous avons interviewé pour chaque cas des personnes clés jouant des rôles de direction aux stades de la création et du déroulement de l'alliance. Suivant de nombreuses recherches qualitatives sur les alliances, nous nous sommes attaché pour chaque cas à interviewer des personnes issues de chacune des entreprises partenaires afin de diversifier les points de vue (voir par exemple : Doz, 1996; Ariño et de la Torre, 1998; Ness, 2009). Le tableau 10 ci-dessous présente en détail les entretiens réalisés.

Tableau 10 : détail des entretiens réalisés dans l'article

Cas	Date	Personne interviewée	Durée (minutes)
Cas A	21/07/2017	"Consultant partenariats" pour l'entreprise A1 après y avoir passé 38 ans dont 15 ans adjoint d'un membre du CA	60
	25/01/2019	Responsable R&D de la Joint Venture (ex A2)	67
Cas B	06/07/2018	Co-fondateur et dirigeant B1	56
	19/02/2019	Directeur Général adjoint de filiale chez B2, en charge du partenariat Représente B2 au CA de B1	49
Cas C	13/09/2018	Directeur général C1	65
	17/08/2018	Investment manager C2 Corporate Venture	50
Cas D	30/05/2018	Initiatrice et (ex-) directrice générale de la JV (ex D1)	81
	03/12/2018	Directeur de la stratégie industrielle D2 Président de la JV	70
		Durée moyenne	62.6
		Temps total	438

Les données ont été analysées par codage ouvert avec pour but de comprendre la logique de l'alliance à sa formation, ses mécanismes de gestion, les difficultés rencontrées et leur résolution, ainsi que les résultats de ces alliances à la date de l'entretien. Ce processus de codage a été la base d'une théorisation, en faisant émerger la tension entre exploration et exploitation et en permettant de faire émerger des points communs et des différences.

8.4. Présentation des résultats

8.4.1. Analyse intra-cas

8.4.1.1. Cas A : une joint-venture généraliste en fabrication additive

L'entreprise A est une entreprise multinationale française monoactivité, un des leaders de son secteur et existant depuis plus de 120 ans. Elle compte 110 000 employés et réalise un chiffre d'affaires d'environ 20 milliards d'euros. Vers 2002, A1 commence à explorer les possibilités offertes par la FA pour ses procédés de production. La technologie lui permet de réduire ses délais et d'améliorer la performance de ses produits. L'entreprise A1 débute en achetant des machines à une jeune spin-off universitaire, dont elle tente de se rapprocher. Les deux entreprises ne trouvent finalement pas de terrain d'entente pour un partenariat, et le développement de la FA se poursuit donc en interne chez A1 à partir de 2005. Ce développement et déploiement du procédé est un succès jusqu'en 2013. L'entreprise monte fortement en compétences mais ce travail implique d'importants investissements, jusqu'à une prise de conscience qui a lieu durant une réunion de planning stratégique, autour de mai-juin 2014, lorsqu'un investissement de 3 millions d'euros est sollicité par l'équipe développant la technologie.

Et là, il y a eu une prise de conscience. Moi je me rappelle j'étais autour de la table, et j'ai dit « Didier t'es sympa, mais d'une part tu dois te gourer de zéro (...), il t'en faut largement dix fois plus, et deuxièmement on est en train de s'éloigner du métier cœur. (...) Ce qu'on veut finalement c'est premièrement pérenniser l'avantage compétitif, pouvoir le maintenir aussi longtemps que possible, et deuxièmement autant que possible, mais dans cet ordre-là, deuxièmement seulement, le valoriser. (Responsable du partenariat, Entreprise A1)

L'entreprise A2 est un groupe d'ingénierie industriel français fournissant des outils de production dans plusieurs secteurs économiques, l'entreprise produit notamment des machines-outils et lignes de fabrication industrielle. Créée au milieu du XIXe siècle, elle emploie aujourd'hui près de 8500 personnes et son chiffre d'affaires s'élève environ à 2 milliards d'euros. En 2012, l'entreprise A2 débute une réflexion sur plusieurs nouvelles technologies (matériaux, procédés...) et s'intéresse notamment à la fabrication additive. La direction de la recherche participe au financement de projets de recherche universitaires sur le sujet. L'objectif est d'évaluer le potentiel de la fabrication additive pour la fabrication de certaines pièces des

machines et installations industrielles qu'elle produit. Ces travaux se poursuivent durant les années qui suivent. En 2014, la direction identifie le sujet comme étant stratégique.

« Courant 2014, le président débarque dans mon bureau et dit « c'est un sujet, est-ce qu'on bosse dessus ? ». Donc heureusement qu'on bossait dessus [rire] ».

(Directeur technique de la JV, ex A2)

L'entreprise A1 a largement développé la technologie pour son propre usage, les investissements deviennent très importants et le développement d'une compétence sur cette technologie conduit à un éloignement du cœur de métier. Dans le même temps, l'entreprise A2 a identifié l'enjeu stratégique que la FA induit pour son activité. Néanmoins cette dernière reste peu avancée. Pour l'entreprise A1, un partenariat avec un spécialiste des machines industrielles pour continuer le développement de ses machines et valoriser le savoir-faire développé en interne apparaît pertinent. La réflexion concernant le choix du partenaire est alors guidée par des enjeux techniques et stratégiques. Elle conduit à identifier A2 comme un partenaire potentiel. Les responsables de A1 contactent alors la direction de A2 une première fois fin 2014, puis une première réunion est organisée le 19 février 2015. Cette réunion fait surgir un alignement stratégique et culturel entre les deux parties comme le souligne un responsable d'A1 :

Il y a deux facteurs : le facteur culturel c'est que ce sont des gens qui sont des gens honnêtes, factuels (...). Donc ça il y a des fonds culturels qui sont tout à fait communs, et puis surtout d'un point de vue business, stratégie, il y a une très très bonne complémentarité entre A1 qui amenait un savoir-faire et une vitesse initiale et A2 qui amenait la compétence de faire des machines spéciales et d'aller vers l'innovation. (Responsable du partenariat, Entreprise A1)

Confirmé par un responsable de l'entreprise A2 :

Pour nous ça a été une grande chance de pouvoir rencontrer A1, qui avait déjà établi des normes industrielles et qui nous permettait d'aller plus vite pour développer, et surtout à un coût qui était compatible avec la taille de A2 pour se lancer dans une nouvelle activité (...). On a senti, après la première réunion, qu'on parlait quand même un langage assez commun. Que des deux côtés on était quand même assez orienté innovation. Même R&D quoi. (...). Nous de notre côté on a été à livre ouvert et du côté A1, clairement, on n'a pas senti [qu'ils cachaient des choses], aujourd'hui ça le prouve, il n'y a pas eu de choses cachées. (Directeur technique de la JV, ex A2)

Sur la base de cette adaptation culturelle et stratégique entre les deux entreprises, une négociation rapide s'est déroulée entre fin février et fin juin 2015. Un accord pour une joint-venture a été trouvé fin juillet 2015, avant d'être officialisé et publié en septembre de la même année.

A la suite de cette phase d'émergence, le lancement de l'activité a été compliqué par des difficultés techniques qui n'avaient pas été anticipées par les signataires. D'une part la compétence de l'entreprise A1 était très spécifique car développée autour de ses propres procédés, d'autre part, l'entreprise A2 avait besoin de passer par une période d'apprentissage avant de fabriquer une machine adaptée à la commercialisation sur la base des compétences de A1.

On attendait que la machine A1 fonctionne instantanément, que les concepts et les architectures A1 fonctionnent instantanément vis-à-vis de toutes les matières. Or, le développement de A1, et ils ne l'avaient pas caché, s'est fait exclusivement sur leurs applications, donc il y a tout un tas de problématiques technologiques et techniques qui apparaissent quand vous allez faire des pièces qui sont plus grosses que des petites. (...) [C'est une] chose qu'on n'avait pas, du côté A2, bien assimilé. (...) Il y avait une attente côté A1, d'avoir un bond du premier coup sur la machine, qui était exacerbée et peut être que de la façon dont on présentait A2, on avait une façon de présenter qui était de dire, bah oui, on sait faire des machines industrielles et on en vend des quantités astronomiques, ce qui est vrai. Mais voilà, il y a aussi une notion d'expérience, quand on vend des machines depuis 20 ans dans un domaine, si on retourne 20 ans en arrière, les deux trois premières qu'on a fait elles ont un peu merdé quand même quoi. Et si vous voulez, cette notion de courbe d'apprentissage côté A2, elle a peut-être été mal présentée, et les attentes coté A1 était un peu exacerbées. (Directeur technique de la JV, ex A2)

Néanmoins, ces difficultés non anticipées n'ont pas remis en cause l'accord.

C'est-à-dire que l'énergie qu'il faut pour mettre à flot ce système est supérieure à ce qu'on avait imaginé il y a deux ans, mais les parents, les actionnaires que ce soit du côté A1 ou du côté A2 suivent, supportent. (Responsable partenariat, Entreprise A1)

Au-delà des difficultés techniques rencontrées, l'alliance se trouve également face à un marché moins dynamique qu'anticipé par les partenaires. Ces marchés plus limités qu'attendu ont conduit l'entreprise à adapter sa stratégie selon quatre axes de politique commerciale. Le premier axe est le développement d'une offre d'accompagnement plus complète, le second axe

est l'élargissement de l'offre de machines, le troisième axe est le rapprochement de certains marchés, et le quatrième axe est l'extension de l'offre sur les différents niveaux de la chaîne de valeur. L'ensemble de ces axes est supporté par une stratégie d'acquisition dynamique.

Alors, stratégiquement, comme le marché n'est pas tel qu'attendu, on a développé une offre d'accompagnement client beaucoup plus forte que ce qui était prévu initialement, avec des formations de créativité pour intégrer l'impression 3D dans la conception, donc là on a une offre de service qui est forte, beaucoup plus forte que ce qui était prévu initialement. (...) La JV se voit comme un fournisseur de solutions pour l'impression 3D. C'est-à-dire qu'on couvre l'ensemble du spectre de la production de pièces de petites séries à l'accompagnement de clients pour mettre en place des ateliers et vendre des machines. [On veut être], multi-technologies, donc c'est pour ça qu'il y a le positionnement [une acquisition] sur [un « petit » fabricant de machine] qui est une autre technologie intéressante pour nous, on ne s'interdit pas de développer des technologies autres, complémentaires aux technologies qu'on a aujourd'hui, ça c'est vraiment le côté machines, donc être capable de développer des solutions qui vont au client. C'est complémentaire donc voilà pourquoi on travaille sur ces sujets-là. (...) Et puis comme on veut intégrer le marché de l'automobile, il faut qu'on soit proches de ce type de marché. Donc l'acquisition du [centre de fabrication additive] il s'explique par le fait que [ce centre] fournit en course automobile énormément de clients avec des notions de lead times qui sont très courts. (...). Donc ça c'est quelque chose qui peut être intéressant. [Ce centre] ça fait 9 ans qu'ils font de l'impression 3D, sur toutes les machines ils ont développé énormément de recettes, énormément de compétences, donc ça a énormément de sens pour nous de réintégrer toutes ces notions-là dans la conception machines et dans les fournitures des recettes et procédés pour nos clients, pour les accompagner pour aller très vite pour développer les pièces.

(Directeur technique de la JV, ex A2)

L'accord noué sur la base d'une très grande adaptation stratégique et culturelle entre les deux partenaires et d'une confiance mutuelle a permis de surmonter les difficultés techniques du début et de traiter le manque de maturité du marché par une réorientation stratégique qui implique un engagement plus important sur la voie de cette joint-venture. Cet engagement se traduit notamment par une ambitieuse stratégie d'acquisition, pour laquelle les capacités financières des parents de la joint-venture sont une condition nécessaire.

8.4.1.2. Cas B : une coopération multiple entre un grand groupe et une startup

L'entreprise B1 est une startup de FA béton, ayant développé une technologie potentiellement utilisable pour la construction. Elle a été fondée à l'été 2015 à la suite d'un projet académique consistant à fabriquer un mur en FA. L'ensemble des étudiants et certains enseignants ayant travaillé sur le projet, soit 14 cofondateurs, ont décidé de fonder l'entreprise B1 (« la startup ») pour mettre en œuvre les compétences développées durant ce projet. La startup s'est développée dans un incubateur dédié à la construction ayant notamment pour but de mettre en œuvre des startups avec des grands groupes. Les besoins importants en investissements corporels pour développer l'activité ont rapidement poussé B1 à avoir besoin de capitaux, et donc d'investisseurs. C'est via l'incubateur que la startup a été mise en relation avec le président de l'entreprise B2.

L'entreprise B2 est un des leaders mondiaux de la construction. B2 appartient lui-même à un groupe multiactivités (ci-après « le groupe »), dont il réalise environ un tiers du chiffre d'affaires, soit près de 15 milliards d'euros. L'entreprise B2 est organisée de manière divisionnelle avec près d'une vingtaine de filiales autonomes. En juin 2016, après la première mise en relation entre les deux entreprises via l'incubateur, le président de l'entreprise B2 vint visiter l'atelier de la startup et propose une entrée de B2 au capital de cette dernière. Après négociation l'entrée au capital se fit en janvier 2017. La décision d'investissement est ainsi prise par le top management de B2. En plus de l'entrée au capital, le contenu de l'accord est triple :

Alors l'objectif c'est pas uniquement rentrer au capital. Mais l'objectif, c'est qu'on a mis aussi en place un accord de R&D avec eux, pour développer les applications dans le secteur de la construction. Et également, ils sont engagés à investir dans deux unités de fabrication B1. (Cofondateur et dirigeant de B1)

La dimension client/fournisseur parallèle à l'accord est également mise en avant du côté du management de l'entreprise B2.

On a B2 qui prend des participations dans une startup, pour l'aider dans son développement et pour aussi, je dirais, avoir un œil interne sur la technologie. (...) Je dirais que les entreprises du groupe sont des clients comme les autres de B1, alors avec une connexion un peu plus privilégiée parce qu'on est actionnaire. (Directeur adjoint de filiale chez B2)

Néanmoins, pour le management de B2, la dimension R&D semble moins centrale dans l'accord. Au début de l'accord, un projet de R&D formel est lancé, mais, si des activités de

R&D se poursuivent, l'accent est de plus en plus mis par B2 sur la capacité de B1 à réaliser du chiffre d'affaires.

Il y a beaucoup d'ateliers qui ont été faits avec plusieurs filiales de B2, et il n'y a pas grand-chose qui a abouti. (...) Mais le sujet c'est le cash. Faire de la R&D très bien mais au bout de 6 mois il n'y a plus de cash donc... Et puis il faut aller se confronter au marché. Ce qui est intéressant c'est que justement le fait d'avoir poussé B1, d'avoir dit « ok les gars, très bien mais à la fin de l'année vous êtes à sec, donc comment on va faire ? ». Le fait de les pousser à se confronter à la réalité du marché, c'est-à-dire à vendre quelque chose, bah du coup ça a fait beaucoup évoluer leur modèle. Aujourd'hui, il y a toujours de la R&D, aujourd'hui quand B2 développe une nouvelle formule avec B1 c'est de la R&D. On ne peut pas dire qu'il n'y a pas de R&D. Je pense que ce qu'ils regrettent c'est que B2 ne se soit pas lancé sur un projet de grande passerelle ou de grand ouvrage sur un budget R&D. Ok mais nous on ne fonctionne pas comme ça. (...) Nous on est, et ça c'est quand même un peu l'ADN du groupe c'est « ok, très bien mais combien tu sors cette année, c'est combien ton résultat ? »

(Directeur adjoint de filiale chez B2)

La lecture de la startup va dans le même sens.

L'approche R&D c'était très traditionnel, j'allais dire, avec un comité de pilotage qui se réunit tous les X mois, qui sélectionne les sujets, avec des équipes conjointes etcetera... Et en fait, ça ne fonctionne pas comme ça. Ça fonctionne beaucoup plus tiré par des projets. On a une approche qui est beaucoup plus tirée par la demande plutôt que par une volonté centrale de faire de la R&D. (...), je pense que les gens ne percevaient pas vraiment la valeur de fonctionner comme ça. Et du coup, il y a une autre manière de faire qui a émergé mais sans qu'il n'y ait de discours conscient de : « là il faut qu'on change la manière de fonctionner ». Ça s'est juste fait. (...) En fait la conscience vient tout simplement de la pression du chiffre d'affaires, pour survivre. D'où un tropisme fort pour les projets clients, peut-être plus que pour de la R&D. Parce que la R&D c'est du financement en fait, donc qui finance ? »

(Cofondateur et dirigeant de B1)

Alors qu'un projet de R&D était envisagé au départ, une exigence de chiffre d'affaires apparaît. Cette exigence est renforcée par la culture « orientée résultats » de B2 qui, en tant qu'actionnaire, exerce une pression sur B1. Cette dernière s'adapte à l'exigence de manière émergente et il n'apparaît pas de rupture majeure. D'une part, des projets de développement se

poursuivent entre les deux partenaires, d'autre part, l'entreprise B2 participe largement à la génération de chiffre d'affaires pour B1 face à un marché encore peu développé.

Le marché se développe beaucoup moins vite que ce qu'on aurait pu imaginer, pour des raisons techniques, principalement. (Directeur adjoint de filiale chez B2)

L'entreprise B2 achète une machine à l'entreprise B1 pour créer, au Moyen-Orient, une usine de fabrication de pièces en béton fabriquées en FA. Cette opportunité permet de lancer la commercialisation de pièces en béton imprimées en 3D, et apparaît comme un test.

[Le gouvernement de Dubaï a] décidé de faire toute une partie de leur expo universelle autour de la fabrication additive. Ou de la 3D en général. Donc du coup si là on n'arrive pas à faire tourner une usine, là on pourra se poser des questions. C'est que ce sera trop tôt.

(Directeur adjoint de filiale chez B2)

La tension entre R&D et génération de chiffre d'affaires peut se comprendre comme une tension entre le potentiel prometteur de la technologie et les financements importants qu'elle exige. Cette question entre le financement du futur et la génération de revenus se trouve dans la gestion des dimensions capitalistiques de l'alliance. Après un nouvel investissement de B2 au capital de B1, cette dernière juge que B2 n'adopte pas les bons critères de valorisation.

Ils ne comprennent pas le sujet de là, enfin ils sont étonnés en tout cas, par tout ce discours sur la valorisation des startups. Mais comment est-ce possible, qu'une startup qui fait peu de chiffre d'affaires, des pertes, puisse-t-elle être valorisée des millions et des millions d'euros. Pour eux, en fait, ils regardent le résultat net, enfin des ratios quoi. (...) Et nous on leur dit, « non mais attendez, ça, le principe des ratios, c'est bien quand une boîte elle est stabilisée, qu'il y a une certaine maturité, dans un environnement qui est relativement stable. Mais dans une startup, en fait, ce que vous achetez ce n'est pas le chiffre d'affaire et le résultat net, vous achetez le potentiel en fait. (Cofondateur et dirigeant de B1)

A l'inverse, l'entreprise B2 estime qu'il n'est pas justifié de valoriser la startup à un montant trop élevé, et le sujet de la performance financière actuelle apparaît comme primordial.

Si vous voulez, c'est un peu particulier, ils n'ont pas de pognon, ils veulent du pognon pour vivre, on ne va pas donner du pognon à des valorisations qui seraient délirantes.

(Directeur adjoint de filiale chez B2)

Malgré cette source de tensions, les deux partenaires se sont entendus, lors du second investissement de B2, sur le fait de conserver l'indépendance de la startup. Cela passe par la séparation des aspects commercial et actionnarial.

Sur ce sujet, sur le sujet actionnarial il y a quand même une petite tension, on n'a pas la même vision qu'eux quoi. Parce qu'eux ils ont tendance à monter et nous on aimerait les cantonner entre 20 et 30%. (...) [Mais], c'est indépendant en fait. L'aspect business et l'aspect actionnarial c'est autre chose. (Directeur adjoint de filiale chez B2)

Un second élément de l'entente entre les partenaires est l'acceptation par B2 de limiter ses droits de vote malgré son réinvestissement dans la startup, et plus largement, la prise en compte des intérêts de la startup, par le représentant de B2 lorsqu'il siège comme représentant du groupe actionnaire au conseil d'administration de la startup.

Mais maintenant, voilà ça n'a pas tenu plus que ça, en plus on a eu l'élégance de ne pas bouger nos parts (...). C'est-à-dire qu'aujourd'hui on a un droit de vote qui est inférieur à notre nombre d'actions détenu. Bon c'est plutôt élégant. (...) Ce n'est pas parce qu'on s'appelle B2 qu'on est « deep pocket », donc des fois c'est un peu tendu mais... voilà, moi j'essaye de ne pas les conseiller que dans l'intérêt de B2, j'essaye de tenir mon rôle qui est aussi de faire grandir B1 en tant que tel. (Directeur adjoint de filiale chez B2)

De manière plus générale, le représentant du groupe s'adapte aux contraintes de gouvernance qui s'impose dans cette situation malgré son manque d'habitude des positions minoritaires. Cet effort apparaissant comme favorable au développement de la startup est compris comme *in fine* souhaitable pour B2 dont l'intérêt est de laisser une certaine autonomie à la startup.

Il y a un décalage c'est qu'on n'est jamais minoritaire, le groupe n'est jamais minoritaire. Ça c'est un peu pénible mais ça se gère. Non, ça se gère, il faut comprendre qu'on n'aura pas le dernier mot sur le business, terminé. (...) je pense qu'on a trouvé plus d'intérêts à dire « c'est une startup, il faut qu'elle vive sa vie, parce qu'elle est dans un écosystème, elle est beaucoup plus agile que nous quand on est filialisé. » (Directeur adjoint de filiale chez B2)

En synthèse, on peut dire qu'au sein de cette alliance émerge une tension entre création de valeur immédiate et future. Cette tension se traduit de deux manières, d'une part dans une tension entre R&D et génération de chiffre d'affaires, d'autre part, dans une tension sur le financement et la valorisation de la startup. Ces tensions sont surmontées par les partenaires par leur relation client fournisseur et la saisie d'opportunités que sont des marchés de niche comme

le marché « test » du Moyen-Orient. Par ailleurs, une forte capacité d'ajustement entre les partenaires permet de surmonter des tensions autour de questions actionnariales, financières et de gouvernance.

8.4.1.3. Cas C : Un projet de R&D et d'investissement

L'entreprise C1 est spécialisée dans la fabrication additive comptant environ 450 collaborateurs et réalisant environ 35 millions d'euros de chiffre d'affaires. L'entreprise C1 s'est développée suite au rachat en mai 2013 de l'entreprise unipersonnelle d'un inventeur-entrepreneur ayant développé une technologie d'impression 3D dont il possède les brevets. L'entreprise C1 appartient à un groupe industriel français composé d'environ 2000 collaborateurs et réalisant plus de 200 millions d'euros de chiffre d'affaires. Ce groupe industriel est spécialisé dans les hautes technologies pour l'industrie et son investissement dans l'impression 3D constitue un tournant stratégique majeur. Entre 2013 et aujourd'hui, l'entreprise C1 a crû par croissance externe et interne, elle travaille sur l'ensemble de la chaîne de valeur de la FA (vente de matières premières, de machines, de solutions logicielles, fabrication de pièces, conseils), avec différentes machines et différents matériaux. Le groupe auquel appartient C1 décide fin 2016 de lever des fonds pour continuer à financer la croissance jusqu'ici presque exclusivement autofinancée. La levée de fonds est donc faite par une augmentation du capital lors d'une introduction en bourse. En amont de son introduction en bourse, l'entreprise C1 sécurise les engagements de plusieurs investisseurs dont 4 acteurs financiers et un fonds *corporate venture* d'un industriel, l'entreprise C2.

L'entreprise C2 est un groupe d'équipements industriels international de haute technologie présent dans plusieurs secteurs, comptant 90 000 collaborateurs, et réalisant un chiffre d'affaires d'environ 20 milliards d'euros. L'entreprise s'intéresse à la FA pour la fabrication de pièces de ses produits depuis le milieu des années 2000 et a créé en 2015 une entité dédiée à la fabrication additive rattachée à son département de R&D. Le fonds de *venture capital* de l'entreprise C2 fonctionne avec le principe que les investissements en capital ne sont réalisés que s'il existe un intérêt industriel, et donc qu'une entité du groupe ait un intérêt à nouer une relation proche avec l'entreprise dans laquelle le fonds investit. Un partenariat de R&D entre la division FA de C2 et l'entreprise C1 est donc noué en parallèle de l'investissement. Ces deux accords sont contractuellement indépendants, mais constituent deux versants complémentaires de la coopération entre les deux entreprises.

En fait, l'accord, C2 Venture n'est pas partie prenante de l'accord de partenariat [R&D]. L'accord technologique, il est défini entre la direction R&D de C2, qui représente l'entité FA du groupe, et C1. Donc c'est un accord de recherche et technologie avec une feuille de route. Il se trouve qu'en parallèle de cet accord, C2 Venture a pris une participation, et évidemment les deux processus étaient liés. Parce que C2 Venture, dans notre mandat, on doit investir que

s'il y a un sponsoring fort d'une entité du groupe.

(Investment manager C2 Corporate Venture)

Si le projet de R&D était nécessaire à l'investissement de C2, la réciproque semble également vraie. Les deux versants de l'accord apparaissent ainsi comme profondément interdépendants. L'investissement financier a été un mécanisme de soutien important pour la création du partenariat R&D.

Je pense que sans l'investissement on n'aurait pas mis un partenariat de cette envergure en place. (Directeur général C1)

Est-ce qu'on aurait signé cet accord sans prise de participation ? La réponse est peut-être mais pas sûr. (...) Nous, ça n'était pas non plus la priorité d'aller sur des technos qui ne sont pas non plus forcément directement applicables sur notre sujet. (...). Et donc cette prise de participation, si vous voulez elle a un peu servi de catalyseur.

(Investment manager C2 Corporate Venture)

Pour l'entreprise C1, ce double accord permet de pourvoir à ses besoins en capital, mais également de se projeter dans les usages de la FA pour les activités de l'entreprise C2, et donc d'explorer des cas d'application et marché potentiellement important, même si les débouchés commerciaux ne sont pas directs.

[C2 est dans] l'un des secteurs les plus consommateurs de l'impression 3D, avoir un partenariat avec C2, c'est allumer les phares de la voiture pour voir plus loin la route, entre guillemets. Et c'est très important pour nous d'avoir ces retours, ces échanges, et même si sur certaines thématiques C2 ne va pas m'acheter une machine parce que potentiellement, la machine d'un concurrent est peut-être celle dont ils ont le plus besoin à ce moment-là, ou même ils ne vont pas acheter de machine parce qu'ils vont acheter des pièces, les discussions sur cette thématique sont très fructueuses, elles peuvent nous aider à avancer dans de très nombreuses directions et dans d'autres cas, après, on va travailler ensemble pour emmener les machines vers un usage industriel. (Directeur général C1)

Le format du double accord a une conséquence notable concernant sa gestion. S'il n'est pas impliqué dans la conduite du projet R&D, le service de *corporate venture* peut, de par sa position « entre-deux », jouer le rôle de support pour faciliter le déroulement du projet R&D.

Si vous voulez, il y a un peu un réseau de personnes côté C2, et ce réseau est impliqué dans le partenariat avec C1. Et il se trouve que moi j'assiste à ce comité de pilotage, mais plus à titre d'observateur, pour mettre de l'huile dans les rouages. (...) Soit c'est parce que certains opérationnels ils ont tellement de choses à faire qu'ils pourraient mettre certains projets de côté. Donc là c'est leur rappeler que « bah non, ils s'étaient engagés à... ». Et puis ça peut être aussi, sur certaines incompréhensions, ou sur certains problèmes de communication, bah faire passer les messages d'un côté ou de l'autre. Puisqu'effectivement, moi j'ai l'oreille et la voix des deux parties finalement. (Investment manager C2 Corporate Venture)

Si les secteurs d'activités de l'entreprise C2 représentent un débouché potentiellement important pour la fabrication additive, la complexité des usages en question conduit à un développement progressif du marché, mais pas à une rupture.

Non, je ne pense pas, on a plus une évolution continue où on sent qu'il y a de plus en plus de sociétés, de programmes, de produits qui basculent sur de la fabrication additive. Il y a de plus en plus de travaux et de résultats. Après on n'est pas sur une révolution, la révolution elle est lente, elle est progressive. (Investment manager C2 Corporate Venture)

Ce développement progressif du marché conduit à ce que les secteurs d'activité de l'entreprise C2 ne soient pas actuellement le premier marché de l'entreprise C1, mais qu'ils apparaissent comme un relai de croissance à terme pour cette dernière. Le temps de développement du marché dans le secteur concerné (notamment au regard de l'offre particulière de l'entreprise C1) implique le besoin de ces projets au long cours.

Dans l'impression 3D en général, l'aéronautique représentait 17% en 2015 et chez nous on a communiqué sur notre breakdown, le revenu de C1 – c'est dans le doc de référence d'introduction en bourse – le médical 40%, l'aérospace 9%. Donc oui, c'est amené à se rééquilibrer sur les mêmes, je pense les mêmes tailles à terme. Donc le 9% vs 40% en healthcare – santé – c'est représentatif de ces durées de montée en puissance dans l'aéro qui fait qu'on est sur des projets en transition. (Directeur général C1)

Ces développements longs pourraient conduire à une difficulté pour l'entreprise C1 dont le besoin de retour sur investissement est plus pressant que pour l'entreprise C2 aux activités plus

nombreuses et donc ayant plus de ressources pour financer des développements au long cours. Plusieurs atouts permettent de réduire les risques de tensions liés à cette contrainte temporelle concernant le retour sur investissement. D'abord, la clarté de l'accord permet d'éviter en amont toutes attentes divergentes entre les partenaires. Ensuite, l'accord se déroule dans un contexte dans lequel la situation financière de l'entreprise C1 est favorable : un chiffre d'affaires multiplié par 12 entre 2014 et 2018 pour atteindre près de 60m€, une surface financière confortable et une atteinte de la rentabilité qui apparaît proche. Finalement, l'aspect financier du partenariat est un mécanisme permettant à C1 de générer des ressources financières en parallèle du partenariat R&D. Par ailleurs le partenariat entre les deux entreprises implique également l'achat de pièces à C1 par le partenaire C2 pour ses activités R&D. Ces deux mécanismes permettent d'équilibrer entre le développement des marchés à long terme et les besoins financiers actuels.

Le partenariat qu'on a avec C2 c'est R&D pure, et il n'y a pas l'ombre d'un business associé à ce partenariat. Par contre, bah il y a un gros business qui a été fait derrière qui a été de dire bah on va mettre de l'argent chez vous. Et c'est une façon très saine de faire. (...) Je pense que toute coopération doit être parfaitement monétisée... (Directeur général C1)

Dans le partenariat on a des BU qui sont ultra opérationnelles, qui ont des besoins concrets et qui achètent. Donc il n'y a pas que de la R&D dans le partenariat, mais par contre c'est un partenariat dont l'objet est de la R&D. (Directeur général C1)

Face à un marché en croissance, C1 a besoin d'investisseurs. Cette situation l'amène à conclure un partenariat R&D avec C2 pour des développements technologiques avec de potentiels débouchés commerciaux à long terme. On peut noter que les dimensions financière et technique du partenariat se renforcent mutuellement au moment de nouer l'accord, mais également durant la conduite des opérations. La dimension financière offre un moyen à C1 de valoriser immédiatement son activité de recherche et développement avec C2.

8.4.1.4. Cas D : une joint-venture pour un déploiement sectoriel

Créée en 2007, l'entreprise D1 propose à ses clients d'étudier, de concevoir de produire différentes pièces en FA. L'entreprise, en fort développement, a 4 centres de production en Europe et compte près de 130 employés pour un chiffre d'affaires d'environ 6 millions d'euros en 2017. En 2014 - 2015, D1 travaille notamment dans les secteurs du sport automobile et du médical et réalise un certain nombre de tests avec des clients industriels intéressés par le potentiel de la FA. Une initiative stratégique est alors lancée fin 2014 par la directrice

commerciale de l'entreprise avec pour objectif de se développer dans le secteur de l'aéronautique.

On surfait sur la vague de la découverte et de l'engouement pour le métal. Donc on s'est vu confier la réalisation d'un certain nombre de POC [preuve de concept], même de prototypes à la base. On n'était même pas forcément que sur des preuves de concepts, hein. Et [le dirigeant] s'inscrivait dans des programmes R&D, des programmes collaboratifs, FUI, ANR etcetera. Bon, c'était comme ça. L'automobile a pris de l'importance, le sport automobile, le racing, et du coup finalement il y avait beaucoup de la production qui était orientée sur le racing. Et moi peu de moyens sur l'aéronautique.

(Directrice commerciale D1 initiatrice de la JV2)

A la même période, un grand constructeur aéronautique déclare son intérêt pour la technologie et son souhait de d'évaluer l'adaptation des processus de l'entreprise D1 aux drastiques exigences de qualité et de fiabilité du secteur. L'entreprise D1 souhaite alors s'associer avec un partenaire spécialisé dans le secteur pour adapter son savoir-faire en fabrication additive à ces exigences.

L'entreprise D1 se tourne alors vers le directeur général de l'entreprise D2, un sous-traitant de rang 1 fabriquant des pièces pour l'aéronautique réalisant 1 milliard d'euros de CA dans le secteur. L'objectif est de créer une joint-venture, ce qui est effectivement réalisé environ un an après, début 2016, après une période de négociation. En juillet 2016, la joint-venture 2 (JV2) ouvrira une usine employant près de 20 personnes et officialisera sa coopération en novembre de la même année dans les locaux de son usine. Ce partenariat permet à l'entreprise D2 de monter rapidement en compétence dans les technologies de fabrication additive dont D1 est spécialiste.

Si tu veux, j'ai créé l'opportunité, on va dire ça comme ça, en m'appuyant sur la stratégie [du constructeur]. Moi j'avais besoin de leur... structure, de leur système qualité, de la reconnaissance etcetera, et eux avaient besoin de notre savoir-faire [en FA] pour aller plus vite. (Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

Dès sa création, ce partenariat stratégique est asymétrique. L'entreprise D2 dispose de la majorité du capital (60%), la structure porte son nom, et le président est issu de ses rangs. Cette asymétrie se traduit par un engagement supérieur de l'entreprise D2.

C'était le deal. On l'a appelé [Fabrication additive D2], c'était dès le départ, il était extrêmement clair que ça allait être géré comme une entité D2, même avec l'image D2 vis-à-vis des clients, la démarche industrielle D2, forcément.

(Directeur industriel D2, président de la JV2)

Parce que chez D1, on n'était pas nombreux mais chez D2 ils ont mis les moyens, et le haut du management hein, qui s'est vraiment impliqué sur ce projet-là. (Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

La JV2 avait été créée pour saisir l'opportunité que représentait la croissance attendue de la demande de pièces fabriquées en FA par le secteur aéronautique. Faisant mentir ces prévisions de croissance, la demande des entreprises de l'aéronautique s'est développée beaucoup moins vite que ne l'attendaient les partenaires. Ce qui a rapidement mis la joint-venture en difficulté

Il fallait qu'on soit les premiers à constituer une offre et un système qualité avec une puissance de tir d'un groupe etcetera pour être les premiers disponibles sur le marché (...).

Et au final tu t'aperçois que, pas de marché mature, des demandes de qualifications hyper strictes et pas de marché à te donner. Donc qu'est-ce que tu fais ? Tu attends ? Donc c'est ce qu'il s'est passé : pas de chiffres d'affaires, avec des millions d'engagés, et une équipe à tenir à bout de bras et des frais d'indus à prendre à ta charge. (Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

Néanmoins, cette lecture d'un marché qui n'est pas aussi dynamique qu'attendu ne semble pas être exactement celle du partenaire, qui semble s'être lancé dans la joint-venture avec une idée plus générale en tête.

- *Dès le départ on était beaucoup plus mesuré que ce que disaient nos clients et que ce que disaient D1.*
- *(...) mais vous y êtes quand même allés ? (...) Quelle est la réflexion derrière ça ?*
- *Oh bah c'est un peu une décision stratégique, hein. Etre sur cette nouvelle technologie qui rentre parfaitement dans notre savoir-faire. On déforme la matière, on est métallurgistes donc on déforme, on a de la forge, on a du déformage, on maîtrise le traitement thermique. Donc ce nouveau procédé qui est complémentaire à nos procédés actuels, forcément c'est quelque chose d'intéressant.*

(Directeur industriel D2, président de la JV2)

La directrice commerciale de l'entreprise D1 explique également que l'entreprise D2 pouvait également avoir un intérêt dépassant ce marché, et avoir une stratégie privilégiant ses intérêts propres plutôt que ceux de la JV.

Moi je pense que de toute manière, leur intérêt c'est voilà, c'est d'acquérir le savoir-faire et peut être de l'extrapoler à d'autres activités. (...) Tu ne partages pas forcément la stratégie. Comme un D2 qui est dans le premier rang des sous-traitants, et qui a des données qu'un sous-traitant lambda n'aura pas.

(Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

Face à l'absence d'une réelle demande de marché, l'entreprise D1 réduit son implication dans le partenariat, notamment en termes de ressources humaines.

Donc j'ai eu de la difficulté moi, parce que c'était un peu ça hein, le problème, c'était enlever des compétences à D1. Parce qu'on avait, on avait des ressources qui étaient mutualisées sur différentes filières, et celle qui quelque part tournait c'était motorsports, et moi c'était quelque chose en devenir. Et donc enlever quelque part des ressources humaines c'était compliqué, et [la direction de D1] n'était pas prête à les lâcher... (Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

En parallèle, le partenaire D2 souhaite adapter la JV2 aux exigences de l'aéronautique, ce qui conduit à réduire la part de D1 au sein des équipes. Cette évolution est confirmée par les deux partenaires.

On est passé d'un monde où l'on fait des prototypes, il y a des gens qui ont un savoir-faire technique et qui n'ont pas le savoir-faire industriel. Et on est passé dans une société qui est complètement industrielle maintenant. (...), Il y a eu le changement d'un certain nombre de personnes. (Directeur industriel D2, président de la JV2)

C'est vrai que la présence de D1 est devenue minoritaire, ne serait-ce qu'en ressources humaines. (Directrice commerciale de D1, initiatrice puis directrice de la JV2)

Finalement, pour maintenir une activité capitalistique dans le contexte d'un marché trop peu mature, la JV2 a besoin d'une augmentation de capital. Ce besoin d'un réinvestissement en capital conduit finalement au rachat des parts de D1 par D2, dont la JV devient alors une filiale. D'autres grands mouvements capitalistiques dans l'industrie en consolidation de la FA semblent également jouer un rôle dans la sortie de la JV2 de l'entreprise D1. Cette dernière a en effet été acquise par un autre acteur du marché de la fabrication additive deux mois après le

rachat de ses parts de la JV2 par son D2. Si cette interprétation est proposée par un interviewé, il conviendrait d'avoir confirmation des actionnaires.

Alors on a récemment racheté les parts de D1 et donc nous sommes maintenant 100% D2.

Alors cela s'est fait pour plusieurs raisons, la première c'est que D1 ne souhaitait pas, investir plus dans cette société qui est en perte hein. Parce qu'on est sur un marché émergent, et puis qui nécessite pas mal de cash parce que les machines sont chères. Donc là on en était arrivé à une phase d'augmentation de capital et D1 ne souhaitait pas suivre. Ça c'est la première raison. La deuxième raison c'est que depuis D1 s'est fait racheter par [une entreprise industrielle] qui souhaitait être, je pense, libre, et donc voilà, je pense que ça simplifiait les choses. (Directeur industriel D2, président de la JV2)

Si ce rachat met fin à l'alliance entre les deux partenaires, l'opération permet *in fine* à D2 d'avoir intégré certaines compétences en FA de son partenaire, dont il avait besoin pour se lancer dans ce procédé.

- *Aujourd'hui en termes de savoir-faire vous estimez que vous êtes au niveau ? Est-ce que finalement cette opération était intéressante ?*
- *Ah oui oui oui. On a pleinement le savoir-faire. C'est bon.*

A l'origine construite pour répondre à des prévisions de croissance d'un marché particulier, la JV2 a pour objectif de combiner les compétences technologiques de D1 et le savoir-faire sectoriel de D2. Le partenariat est asymétrique : il est d'abord une entité de D2, dont la part est d'ailleurs plus importante dans l'actionnariat. Alors que le site de production commun est opérationnel, une demande réelle n'a pas encore émergé ce qui conduit le partenaire aux ressources les plus limitées à les retenir pour les allouer à des activités où la demande est bien présente. Par ailleurs, le manque d'adaptation des équipes du spécialiste technologique (D1) aux exigences du secteur visé conduit à changer les équipes de la JV2 au détriment des personnes venant de D1. Finalement, le besoin de capitaux de la JV2 et le manque de ressources financières de D1 conduiront à ce que les parts de ce dernier soient rachetées par D2, qui dans l'opération a finalement acquis un savoir-faire en FA.

8.4.2. Analyse inter-cas

8.4.2.1. Des objectifs divers et différentes hybridations.

Au travers des quatre cas étudiés, une logique des alliances observées en contexte d'innovation technologique radicale émerge. Dans trois des quatre alliances observées (cas B, C, et D), un *spécialiste* de la nouvelle technologie (entreprises B1, C1, et D1) s'allie avec un potentiel utilisateur de la technologie. Ces *utilisateurs* sont des clients ou des clients potentiels des machines de FA ou de pièces qui peuvent leur permettre de faire évoluer leur offre. La logique d'alliance entre un spécialiste de la technologie et un utilisateur apparaît comme essentielle et ces alliances sont alors un moyen pour les spécialistes de la FA de développer l'usage (et donc le marché) de la technologie d'un point de vue commercial (rapprocher l'offre de la demande) et opérationnel (adapter le procédé de FA aux réalités opérationnelles des secteurs industriels), ainsi qu'un moyen pour le spécialiste « métier » d'ajouter la technologie de FA à ses compétences. Pour les utilisateurs, l'objectif est de tirer parti des avantages de la FA dans ses processus et ses offres.

Si nous observons trois alliances (cas B, C, et D), entre un spécialiste technologique et un utilisateur, nous ne sommes pas pour autant dans le cas de simples alliances clients fournisseurs. En effet, les positionnements des utilisateurs dans la réflexion *make or buy* ne sont pas les mêmes. Dans les cas B et C, les utilisateurs (B2 et C2) se placent comme clients potentiels du spécialiste mais ils peuvent être clients de pièces, ou de machines avec lesquelles ils fabriqueront des pièces. Si les deux modèles permettent aux spécialistes de développer leur activité commerciale, le contenu de la relation client-fournisseur, l'organisation de la chaîne de valeur, et donc le partage de la valeur créée, ne sont pas stabilisés. Ainsi cette situation d'innovation radicale implique des alliances verticales mais demeurant plus complexes que des relations clients-fournisseurs stables.

Dans le cas D, la relation spécialiste-usager n'implique pas une alliance verticale. En effet, D1 ne fabrique pas de machines et l'utilisateur n'achète pas de pièces. L'alliance est dédiée à la mise en commun de compétences complémentaires pour développer une offre commune mais il n'existe pas de relation commerciale entre les deux partenaires. Cette situation est analogue à celle du cas A dans lequel l'alliance est dédiée au développement d'une offre commune mais dont le modèle n'implique de relations commerciales entre les partenaires.

Finalement, le cas A est différent des trois autres. Si comme dans le cas D, nous sommes dans une alliance de compétences plutôt que dans une alliance verticale, on constate également qu'il

ne s'agit pas d'une alliance entre un spécialiste de la technologie et un utilisateur. Dans le cas A, l'acteur le plus spécialiste (entreprise A1) est l'utilisateur qui a développé des compétences en FA pour son propre usage. L'alliance est alors pour l'utilisateur-spécialiste le moyen de renforcer et de valoriser une compétence acquise en la renforçant par une alliance avec un spécialiste des outils de production.

On peut considérer les objectifs des quatre alliances étudiées au prisme de l'opposition exploration/exploitation. Au regard de cette distinction, on notera que les alliances dans les cas A et B peuvent être qualifiées d'alliances hybrides dans leurs objectifs. L'émergence du cas A montre que le développement de la technologie est essentiel (exploration) et qu'il y a une volonté de valoriser le savoir-faire acquis pour l'entreprise A1 (exploitation). L'entreprise A2 se lance dans une activité nouvelle (exploration) avec une volonté de commercialisation rapide grâce au savoir-faire développé par A1 (exploitation). Dans le cas B, l'objectif du partenariat comporte de l'exploration (R&D) et de l'exploitation (vente de machines au partenaire) pour l'entreprise B1. L'entreprise B2 partage cet objectif de R&D mais, en tant qu'actionnaire, attend une performance financière rapide de son partenaire, qui relève de l'exploitation. Finalement, l'achat d'une machine de B1 par B2 pour « tester » le marché au Moyen-Orient comporte de l'exploration (l'usine est une sorte de « test » du marché) et de l'exploitation (vente de machine pour B1). Toutes ces activités relevant du cadre initial du partenariat, on peut donc parler d'alliances hybrides dès leur émergence.

A l'inverse, le cas C est une alliance dédiée à l'exploration dont l'objet est un projet de R&D commun dont les acteurs sont conscients que les éventuels fruits ne pourraient advenir qu'à relativement long terme. Néanmoins, l'investissement en capital de l'entreprise C2 qui joue le rôle de « catalyseur » de cette volonté d'innovation peut être vu comme l'exploitation d'une ressource acquise par l'entreprise, notamment du fait que le fonds de *corporate venture* a un intérêt à une opération financière profitable. De plus, l'entreprise C1 exploite un certain nombre de ses ressources (procédé, machines déjà existantes) dans ce partenariat d'exploration et vend également des pièces à son partenaire, ce qui relève de l'exploitation. Ici, les activités d'exploration de l'entreprise C2 permettent à l'entreprise C1 l'exploitation d'un certain nombre de ses ressources. Finalement, le cas D est une alliance dédiée à l'exploitation, il s'agit de combiner le savoir-faire de chacun des partenaires pour mettre en œuvre la technologie à des fins commerciales. Néanmoins, ce projet implique pour chaque entreprise de développer de nouvelles connaissances autour des compétences du partenaire et de découvrir un nouveau marché en émergence (avec les surprises que cela comporte), ce qui relève de l'exploration. Les

cas C et D montrent ainsi que ces alliances dont l'objectif est l'exploration (cas C) ou l'exploitation (cas D) impliquent, si on les regarde finement, des activités qui relèvent de l'autre logique : l'exploitation via l'investissement et l'usage de machines dans le cas C, et l'exploration via le partage de connaissances et la découverte d'un marché nouveau dans le cas D.

Au vu de ces observations, le découpage entre les alliances d'exploration et alliances d'exploitation nous apparaît comme excessivement simplificateur d'une réalité où les deux activités s'articulent au sein de la même alliance de manière à la fois délibérée et émergente.

8.4.2.2. Les difficultés du passage à l'exploitation et l'émergence de tensions

Trois des quatre cas étudiés (cas A, B, et D) nous montrent qu'en dépit des attentes et prévisions, les alliances ne réalisent pas les plans qu'elles avaient prévus à l'origine.

Une des difficultés majeures dans ces trois cas est celle posée par l'exploitation, et plus précisément l'industrialisation et la commercialisation qui s'avèrent moins rapides que prévu. Dans les cas A et B, des obstacles technologiques ont ralenti le développement d'une offre opérationnelle et compétitive et, dans un second temps, le marché est moins dynamique que prévu initialement par les partenaires. Dans le cas D, le marché est également moins dynamique que prévu (au moins par l'entreprise D1).

Cette problématique du passage à l'exploitation se traduit mécaniquement par des tensions financières. Le cas A montre que le soutien des actionnaires permet de faire face à cette situation en poursuivant des efforts d'exploration (développement d'une machine ici) avant de se lancer dans l'exploitation. Dans le cas B, les tensions financières impliquent une augmentation de capital de l'entreprise B1 qui fait apparaître des difficultés entre les partenaires concernant sa valorisation. Alors que l'entreprise B1 considère que les activités majoritairement exploratoires doivent être valorisées sur la base de leur potentiel, l'entreprise B2 se base sur des critères qui relèvent de l'exploitation, comme le résultat annuel. Dans le cas D, la problématique du passage à l'exploitation du fait d'un marché trop lent à émerger a impliqué un changement des effectifs de la joint-venture au profit d'un des partenaires, le besoin d'augmentation du capital de la joint-venture a ensuite conduit au rachat des parts de l'entreprise D1 par D2.

L'alliance étudiée dans le cas C n'a pas de difficulté financière de cet ordre, notamment parce que son objectif d'exploration implique que les partenaires n'ont pas construit leur alliance avec l'idée d'une génération de chiffre d'affaires via les activités partenariales. On ne peut parler de

tensions dans ce cas. Il est néanmoins intéressant de noter que les besoins de l'exploitation de C1 (financement de la croissance) ont fait émerger des activités d'exploration (projet R&D) commune dont l'alliance est l'objet. C'est donc un besoin de l'exploitation qui fait émerger un projet d'exploration *a priori* sans lien.

8.4.2.3. Une gestion des tensions différentes pour une hybridation dans les 4 alliances

Les alliances des cas A, B et D sont donc sujettes à des tensions issues de la difficulté à exploiter la technologie aussi rapidement que prévu. Face à ces tensions assez analogues, les modes de gestion mis en place présentent néanmoins des différences. Dans le cas D, la tension conduit à la fin de l'alliance par le rachat par l'entreprise D2 des parts de la JV2 détenues par l'entreprise D1. Cette dernière estimant avoir intégré le savoir-faire en le réadaptant aux contraintes de son secteur d'activité, il est envisageable pour elle de poursuivre seule son développement dans la fabrication additive. L'entreprise D1 étant dans une position capitalistique plus fragile, elle ne peut réinvestir dans le capital de la joint-venture. Son rachat quelque temps après la fin de l'alliance semble illustrer une situation capitalistique instable et semble également jouer un rôle dans sa sortie de la joint-venture.

Dans les cas A et B, les difficultés de l'exploitation ne conduisent pas à la fin de l'alliance. Dans le cas A, les actionnaires des deux partenaires maintiennent leur soutien à l'alliance qui semble également gérer cette tension grâce à une forte adaptation culturelle et stratégique entre les partenaires. Par comparaison avec le cas D (l'autre joint-venture), les conditions initiales de l'alliance A donnent à voir une plus grande adaptation entre les partenaires et la construction d'une alliance plus symétrique (du point de vue des parts détenues par exemple). Les difficultés d'exploitation sont gérées par une réorientation stratégique de l'alliance qui consiste en une extension de son offre à d'autres machines, à un meilleur accompagnement client, et à d'autres étapes de la chaîne de valeur. Cette réorientation passe par des investissements dans le rachat d'autres acteurs de la fabrication additive. Dans le cas B, nous ne sommes pas face à une joint-venture mais le soutien financier de l'entreprise B2 qui réinvestit en capital dans B1 permet également à l'alliance de faire face aux tensions dues aux difficultés de l'exploitation. Ici, si la complémentarité entre les deux acteurs peut sembler moins forte (culture « startup » et « grand groupe »), on constate un effort mutuel pour faire fonctionner le partenariat. L'entreprise B1 adapte sa façon de coopérer en abandonnant son seul centrage R&D via un ralentissement de son effort R&D pour tenter de s'adapter à la logique de son partenaire plus orienté exploitation. De son côté, l'entreprise B2 comprend que profiter des avantages de la startup passe également par l'acceptation d'un mode de coopération dans lequel sa participation et donc son pouvoir

sont minoritaires, ainsi que par la prise en compte de la valeur de l'exploration dans la valorisation. Finalement, on peut noter qu'en poussant la startup à « se confronter au marché », l'entreprise B2 conduit son partenaire à réorienter son modèle économique afin d'évoluer plus vite vers l'exploitation.

Ces trois cas font apparaître comment des alliances, pour faire avancer les usages d'une innovation radicale, impliquent une tension entre exploration et exploitation notamment due au fait que le passage à l'exploitation est plus difficile que prévu. Ces tensions peuvent conduire à une dislocation de l'alliance mais peuvent également être surmontées. Pour cela le soutien financier des partenaires et l'adaptation des partenaires (*a priori* ou *a posteriori*) sont essentiels. Il est également essentiel que les partenaires aient la capacité à réorienter la stratégie pour s'adapter à un couple technologie-marché dont l'alignement n'est pas encore suffisamment stable pour permettre l'exploitation sur de larges marchés.

8.5. Discussion et conclusion

Nous nous sommes penché dans cet article sur le fonctionnement des alliances dans un contexte d'innovation de rupture. Les cas étudiés illustrent dans ce contexte le caractère hybride des alliances, qu'il soit délibéré ou émergent. En effet, en plus des alliances conçues comme hybrides, les alliances initialement dédiées uniquement à l'exploration ou à l'exploitation s'avèrent finalement avoir une dimension hybride.

Ces observations suggèrent que le développement d'une innovation radicale, et d'un nouveau paradigme techno-industriel tel que la FA, impliquent la construction d'alliances hybrides, en tout cas dans cette phase délicate où il s'agit de repérer des besoins spécifiques dans un ou plusieurs secteurs cibles, en y adaptant des solutions technologiques pertinentes issues du nouveau paradigme techno-industriel, ici la FA. Dans la mesure où l'établissement d'un nouveau paradigme technologique est une combinaison entre des nouveautés concernant le type de solution, de problèmes à résoudre, et les dimensions et de matérielles et scientifiques (Dosi, 1982), le processus itératif entre développements technico-économiques et marchés qui caractérise l'innovation (Kline et Rosenberg, 1986) nécessite une activité importante et, apparaît-il, une réelle proximité. Il émerge alors une logique d'alliances entre spécialistes technologiques et spécialistes des usages pour soutenir le développement de ce nouveau paradigme techno-industriel. La raison de l'observation de ces alliances hybrides en situation d'émergence d'un paradigme techno-industriel nouveau semble s'expliquer théoriquement par

la nature multidimensionnelle du nouveau paradigme (profusion de solutions possibles face à un foisonnement de besoins spécifiques).

Bien qu'elles soient rendues nécessaires par le besoin d'un travail sur la technologie et le développement d'offres correspondant aux besoins (qui relèvent de l'exploration), il est compréhensible que les investissements consentis amènent à court-termes une volonté de mise en œuvre et de commercialisation, donc de retour sur investissement (qui relève de l'exploitation). Notre article montre que la volonté d'une exploitation rapide peut peser sur l'exploration, qui apparaît être la dimension essentielle de ces alliances au vu de leur contexte d'émergence au sein d'un nouveau paradigme techno-industriel. L'ambidextrie contextuelle est alors nécessaire ainsi d'équilibrer cette tension. Si les alliances peuvent être gérées selon des principes d'ambidextrie temporelle (Rothaermel et Deeds, 2004), et structurelle (Lavie et Rosenkopf, 2006), les innovations technologiques paradigmatiques apparaissent dans nos observations plutôt donner lieu à la création d'alliances hybrides dans lesquelles l'ambidextrie se doit d'être contextuelle. Ce contexte nous permet d'étudier des alliances hybrides et ainsi de contribuer à combler le manque de recherche académique sur le sujet, comme le soulignaient Doganova *et al.* (2015).

Dans trois des cas étudiés, les difficultés à développer le paradigme techno-industriel pour une combinaison de raisons techniques, industrielles, commerciales, et financières conduisent à une tension qui se solde par différents types de résolution. L'enjeu réside notamment dans l'adaptation de la technique aux besoins fonctionnels. La compréhension des difficultés conduit à une réévaluation et à l'ajustement des partenaires ou à la fin de l'alliance ; cette évolution est également marquée par les conditions initiales de l'alliance, rapprochant les processus d'évolution observée du modèle de Doz (1996). Finalement, les cas étudiés donnent à voir les difficultés qu'il y a, pour un acteur, à faire évoluer une technologie depuis des marchés de niche vers des marchés plus larges (Levinthal, 1998; Christensen, 2008).

La méthode des cas employés limite par nature la généralisation possible des conclusions tirées de notre étude. Par ailleurs, si les données collectées à ce stade permettent une bonne compréhension des cas étudiés, un approfondissement de cette collecte pourrait permettre d'en offrir une description plus complète. Cet approfondissement pourrait passer par une collecte auprès d'autres participants, mais également par de nouveaux entretiens dans le futur pour observer comment évoluent ces différentes alliances.

8.6. Références

- Anderson P, Tushman ML. 1990. Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly* **35**(4): 604-633.
- Ariño A, de la Torre J. 1998. Learning from Failure: Towards an Evolutionary Model of Collaborative Ventures. *Organization Science* **9**(3): 306–325.
- Ben-Ner A, Siemsen E. 2017. Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing (3D Printing). *California Management Review* **59**(2): 5–23.
- Campbell T, Williams C, Ivanova O, Garrett B. 2012. *Could 3D Printing Change the World? - Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*. Atlantic Council.
- Christensen CM. 2008. *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*, Rev. updated ed. The management of innovation and change series. Harvard Business School Press: Boston, Mass.
- Colombo MG, Grilli L, Piva E. 2006. In search of complementary assets: The determinants of alliance formation of high-tech start-ups. *Research Policy* **35**(8): 1166–1199.
- D'Aveni R. 2015a. The 3-D Printing Revolution. *Harvard Business Review*, May 2015.
- D'Aveni R. 2015b. The Time to Think About the 3D-Printed Future Is Now. *Harvard Business Review*, May 2015.
- Doganova L, Mustar P, Colombo MG, D'Adda D, Piva E. 2015. The impact of ambidextrous alliances on innovation: how do research based spin-offs affect their partners' innovation? *Journal of Technology Transfer* **40**(4): 696–722.
- Dosi G. 1982. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy* **11**(3): 147–162.
- Doz YL. 1996. The evolution of cooperation in strategic alliances: Initial conditions or learning processes? *Strategic Management Journal* **17**: 55–83.
- Dumez H. 2016. *Méthodologie de la recherche qualitative. Les questions clés de la démarche compréhensive*, 2nd ed. Vuibert.

- Dyer JH, Singh H. 1998. The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of management review* **23**(4): 660–679.
- Eisenhardt KM. 1989. Building Theories from Cases Study Research. *Academy of Management Review* **14**(4): 532–550.
- Gibson I, Rosen D, Stucker B. 2015. *Additive Manufacturing Technologies*. Springer New York: New York, NY.
- Hagedoorn J. 1993. Understanding The Rationale of Strategic Technology Partnering: Interorganizational Modes of Cooperation and Sectoral Differences. *Strategic Management Journal*, **14**(5), pp. 371-385.
- Hagedoorn J. 2002. Inter-firm R&D partnerships: an overview of major trends and patterns since 1960. *Research Policy* **31**(4): 477–492.
- Hagedoorn J, Duysters G. 2002. External Sources of Innovative Capabilities: The Preferences for Strategic Alliances or Mergers and Acquisitions. *Journal of Management Studies* **39**(2): 167–188.
- Hill CWL, Rothaermel FT. 2003. The Performance of Incumbent Firms in the Face of Radical Technological Innovation. *The Academy of Management Review* **28**(2): 257-274.
- Hopkinson N, Hague RJM, Dickens PM (eds). 2006. *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. John Wiley: Chichester, England.
- Kline SJ, Rosenberg N. 1986. An Overview of Innovation. In *The Positive Sum Strategies: Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academic Press, Washington, DC,, Rosenberg N, Landau R (eds): 275–305.
- Koza M, Lewin A. 2000. Managing partnerships and strategic alliances: raising the odds of success. *European Management Journal* **18**(2): 146–151.
- Koza MP, Lewin AY. 1998. The Co-Evolution of Strategic Alliances. *Organization Science* **9**(3): 255–264.
- Lavie D, Kang J, Rosenkopf L. 2011. Balance Within and Across Domains: The Performance Implications of Exploration and Exploitation in Alliances. *Organization Science* **22**(6): 1517–1538.

- Lavie D, Rosenkopf L. 2006. Balancing exploration and exploitation in alliance formation. *Academy of Management Journal* **49**(4): 797–818.
- Levinthal DA. 1998. The slow pace of rapid technological change: gradualism and punctuation in technological change. *Industrial and corporate change* **7**(2): 217–247.
- Levinthal DA, March JG. 1993. The myopia of learning. *Strategic Management Journal* **14**(S2): 95–112.
- Majchrzak A, Jarvenpaa SL, Bagherzadeh M. 2015. A review of interorganizational collaboration dynamics. *Journal of Management* **41**(5): 1338–1360.
- March JG. 1991. Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science* **2**(1): 71–87.
- Cohen D, Sargeant M, Somers, K. 2014. 3-D printing takes shape. *McKinsey Quarterly*.
- Ness H. 2009. Governance, negotiations, and alliance dynamics: Explaining the evolution of relational practice. *Journal of Management Studies* **46**(3): 451–480.
- O'Reilly CA, Tushman ML. 2013. Organizational Ambidexterity: Past, Present, and Future. *Academy of Management Perspectives* **27**(4): 324–338.
- Powell WW, Koput KW, Smith-Doerr L. 1996. Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. *Administrative Science Quarterly* **41**(1): 116-145.
- Rayna T, Striukova L. 2015. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change* **102**: 214–224.
- Romelaer P. 2005. L'entretien de recherche. In *Management des ressources humaines: méthodes de recherche en sciences humaines et sociales*, Roussel P, Wacheux F (eds). De Boeck Supérieur: 101-137.
- Rothaermel FT. 2001a. Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. *Strategic Management Journal* **22**(6–7): 687–699.
- Rothaermel FT. 2001b. Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage: an empirical study of industry and firm effects in the biopharmaceutical industry. *Research Policy* **30**(8): 1235–1251.

- Rothaermel FT, Deeds DL. 2004. Exploration and exploitation alliances in biotechnology: a system of new product development. *Strategic Management Journal* **25**(3): 201–221.
- Sierzchula W, Bakker S, Maat K, van Wee B. 2015. Alliance Formation in the Automobile Sector during an Era of Ferment: Alliance Formation in the Automobile Sector during an Era of Ferment. *Creativity and Innovation Management* **24**(1): 109–122.
- Suddaby R. 2006. From the editors: What grounded theory is not. *Academy of management journal* **49**(4): 633–642.
- Teece DJ. 1986. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing, and public policy. *Research Policy* **15**(6): 285–305.
- Teece DJ. 1992. Competition, cooperation, and innovation. *Journal of Economic Behavior and Organization* **18**: 1–25.
- Tushman ML, Anderson P. 1986. Technological Discontinuities and Organizational Environments. *Administrative Science Quarterly* **31**(3): 439.
- Tushman ML, O'Reilly CA. 1996. Ambidextrous Organizations: Managing Evolutionary and Revolutionary Change. *California Management Review* **38**(4): 8–29.
- Yin RK. 1984. *Case study research: Design and methods*. Newbury Park, CA: Sage.

8.7. Discussion du troisième article

De manière analogue à ce que nous avons fait pour les deux premiers articles, nous proposons ci-dessous une discussion apportant des compléments au contenu du troisième article et destinée à préparer l'intégration des résultats de chacun des articles dans une représentation d'ensemble. Les modalités de la fabrication additive mises en œuvre (fonctions, secteurs, procédés et matériaux), et les capacités dynamiques des acteurs sont mises en lumière dans cette discussion.

8.7.1. Les modalités en jeu dans l'article

Dans ce troisième article, nous avons étudié 4 cas d'alliances dyadiques pour le développement de la fabrication additive. S'il s'agit toujours de fabrication additive, les modalités dont il est question diffèrent de celles de l'article précédent. Détaillons cas par cas ces modalités.

Dans le cas A, la joint-venture développe et commercialise deux types de procédés de FA métal : la solidification de poudre par fusion laser et la projection de poudre dans un flux d'énergie concentrée. Ces procédés sont proposés à plusieurs secteurs, dans une optique

d'application industrielle. En résumé, l'alliance A travaille sur deux procédés, un matériau, pour des secteurs d'activité et des fonctions variées.

Dans le cas B, l'entreprise B1 développe et commercialise l'unique procédé qu'elle a développé pour la FA en béton. Ce procédé (que l'on peut classer comme le procédé d'extrusion) est dédié au secteur de la construction afin de fabriquer des pièces et ensembles complexes, personnalisés, et en petites séries. En résumé, l'alliance B travaille sur un procédé, un matériau, pour un secteur, et avec une triple fonction.

Dans le cas C, le partenariat technologique porte sur plusieurs procédés maîtrisés par l'entreprise C1. Ces procédés (solidification de poudre par fusion laser, polymérisation de résine, extrusion de fil fondu) sont utilisés pour fabriquer différents types de pièces complexes (c'est la fonction recherchée par l'entreprise C2) et en petites séries. Cette complexité peut procurer un avantage essentiel pour le secteur d'activité de l'entreprise C2, qui est le débouché unique visé par le partenariat du cas C. En résumé, l'alliance C travaille sur trois procédés, et trois matériaux, pour un seul secteur d'activité, et avec une double fonction.

Finalement, dans le cas D, le partenariat est consacré à l'utilisation d'un seul type de technologie (solidification de poudre par fusion laser) pour la fabrication de pièces en métal. Comme dans le cas C, la fonction principale qui est visée est la capacité à fabriquer des pièces complexes en petites séries, ce qui procure un avantage important dans le secteur d'activité pour lequel l'entreprise D2 (qui a racheté les parts de son partenaire D1 dans la joint-venture) est sous-traitant. En résumé, l'alliance D travaille avec un procédé et un matériau, dans un secteur d'activité, et avec une double fonction.

De ces brèves présentations, on peut conclure que les quatre alliances dyadiques étudiées dans le troisième article sont dédiées au développement, à la mise en œuvre, et à la commercialisation, de modalités relativement spécifiques de la fabrication additive. En d'autres termes, ces alliances travaillent sur des combinaisons restreintes procédés/matériaux, fonctions, et secteurs. Si le cas A s'ouvre à des secteurs et des fonctions plus variées, il est compréhensible que les partenaires dont l'objectif est de vendre des machines ne se limitent pas en termes de secteurs clients et de fonctions potentielles. En effet, comme discuté dans l'article, le cas A diffère des autres car la joint-venture est un moyen pour un spécialiste métier, utilisateur de la fabrication additive et ayant développé une compétence en interne, de créer un spécialiste technologique là où les trois autres cas (B, C, D) montrent des spécialistes technologiques s'alliant avec des utilisateurs (potentiels) ou, en inversant la perspective, des utilisateurs métiers

mobilisant des spécialistes technologiques pour adapter les solutions pertinentes de FA à leurs besoins spécifiques. Cette différence explique la plus grande diversité des modalités du cas A, sachant que ces dernières demeurent toutefois limitées à des usages industriels et que l’alliance ne travaille que sur deux procédés utilisant un seul matériau.

Dans les cas B, C, et D, les technologies utilisées sont peu nombreuses : un couple procédé/matériau pour les cas B et D, et trois procédés et trois matériaux pour le cas C. Finalement, dans ces trois cas, les alliances concernent toutes un secteur unique, une utilisation pour une fonction double (cas C et D) ou triple (cas B). Le tableau ci-dessous synthétise ces éléments pour les 4 cas.

Tableau 11 : Synthèse de la réalité technologique de chaque cas

Cas	Contenu en termes de modalités	
Cas A	<ul style="list-style-type: none"> • 2 procédés • 1 matériau 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs secteurs • Plusieurs fonctions
Cas B	<ul style="list-style-type: none"> • 1 procédé • 1 matériau 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 secteur • 3 fonctions
Cas C	<ul style="list-style-type: none"> • 3 procédés • 3 matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 secteur • Double fonction
Cas D	<ul style="list-style-type: none"> • 1 procédé • 1 matériau 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 secteur • Double fonction

En synthèse de cette présentation, les quatre alliances étudiées dans ce second article se concentrent sur une ou un faible nombre de modalité(s) de la fabrication additive, le plus souvent autour d’un secteur, de peu de procédés et de matériaux et de quelques fonctions clés. Nous pouvons donc qualifier de circonscrite la conception de la fabrication additive dans ces relations inter-firmes. Ces alliances dyadiques ont ainsi un rôle de tête chercheuse de solutions spécifiques issues de la FA au service de besoins ciblés – ce que, à l’évidence, ne pouvaient pas faire les alliances multipartenaires; et ce que les seuls mécanismes de marché dans des relations clients-fournisseurs ne sauraient permettre, à la différence du cas de l’industrie des prothèses dentaires.

8.7.2. Relations inter-firmes

Les résultats de ce second article consistent en la mise en lumière des alliances dyadiques hybrides en situation d’innovation radicale, des tensions entre exploration et exploitation qui les traversent, et des façons dont ces alliances atteignent (ou non) l’ambidextrie contextuelle.

Ces alliances ont lieu entre un utilisateur métier, et un acteur ayant développé une compétence technologique (avec une combinaison complexe dans le cas A, où l'utilisateur métier détient une compétence en FA qu'il développe avec un spécialiste technologique généraliste des machines de production), ce qui permet de rapprocher l'offre et la demande sur quelques modalités de la fabrication additive.

Dans ces alliances dyadiques, les partenaires mettent en commun des compétences complémentaires pour développer la mise en œuvre de modalités de la fabrication additive. C'est donc à travers ces structures organisationnelles coopératives que les partenaires investissent pour tenter de saisir les opportunités offertes par la fabrication additive. Ces alliances relèvent ainsi de la capacité dynamique à saisir des opportunités (« *seizing* ») selon Teece (2007), et plus précisément d'une structure permettant de gérer l'accès à des compétences complémentaires à celles de l'entreprise : compétences en fabrication additive pour les utilisateurs ou compétences sur les applications pour le spécialiste de la fabrication additive.

Ces alliances visent à des développements technologiques, opérationnels, et commerciaux concrets. Il en découle la mise sur le marché de machines, d'objets intégrant des pièces en fabrication additive, et de pièces fabriquées ; correspondant à une modalité de la FA. Elles participent du développement de procédés/matériaux vers de nouveaux secteurs d'activité. Néanmoins, les offres proposées au marché par les alliances dyadiques en sont le plus souvent à un stade où elles ne captent encore que peu de parts de marché. Elles ne mènent pas (encore ?) à des situations de reconfigurations profondes de la chaîne de valeur, telles qu'observées dans le premier article. Ce dernier point suggère de proposer une représentation d'ensemble du processus visant, pour les acteurs, à tirer parti du potentiel d'un nouveau paradigme techno-industriel. C'est ce qu'aborde le chapitre 9.

9. Synthèse des résultats et construction d'un cadre intégrateur

Dans ce neuvième chapitre, nous proposons d'abord un résumé des articles présentés dans les trois chapitres précédents. Ces résumés se concentrent sur les relations inter-firmes, et plus particulièrement sur les modalités de la fabrication additive dont elles sont l'objet, les logiques et objectifs pour lesquels elles sont mises en œuvre, les problématiques qu'elles posent, et leurs résultats. Sur cette base, nous proposons ensuite un cadre intégrateur des relations inter-firmes mises en œuvre pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel.

Nous nous basons notamment ici sur le concept de modalité, que nous avons défini section à l'issue des 4 premiers chapitres et qui désigne une ensemble de secteur(s), de fonction(s), de procédé(s), et de matériau(x) visés par les relations inter-firmes. La caractérisation précise de ces éléments est faite dans les discussions qui suivent chaque article sections 6.8 ; 7.7 ; et 8.7. Cette caractérisation est importante dans la mesure où la FA est une réalité complexe.

9.1. Synthèse des articles

9.1.1. Premier article : la transformation des chaînes de valeur sous l'effet de la numérisation et de la transformation des compétences

9.1.1.1. Une chaîne de valeur évoluant sous l'effet d'une modalité précise

Le premier article de cette thèse a donné à voir l'évolution des chaînes de valeur au sein d'un secteur unique sous l'effet de la numérisation des processus de production. Cette dernière permet d'évoluer vers la personnalisation de masse et la fabrication sur le lieu d'usage. Ces évolutions conduisent à la reconfiguration des rôles de différents acteurs et à la désintermédiation de ceux des acteurs « traditionnels » (typiquement des prothésistes) qui ne parviennent pas à s'adapter. La capacité à offrir des services complémentaires aux entreprises en aval de la chaîne de valeur (typiquement les dentistes) aide ces derniers à intégrer la fabrication et favorise également la désintermédiation.

Dans ce premier article, les relations inter-firmes mises en œuvre pour s'adapter à la transformation technologique passent par des relations clients-fournisseurs le long de la chaîne

de valeur autour d'une modalité précise. En effet, comme développé dans la discussion qui suit l'article (section 6.8), la modalité ici observée est restreinte à un secteur, deux fonctions, et trois procédés dont l'un, dont l'exploitation est la plus mature, est largement utilisé alors que les deux autres demeurent secondaires (peu développés ou utilisés uniquement pour quelques cas précis).

On peut expliquer que ce type de relations inter-firmes et une modalité précise et dont l'exploitation est mature coïncident par le fait que le procédé d'usinage numérique de céramique, à partir d'un scannage et d'une conception 3D numérique, est établi dans le secteur de la prothèse dentaire. En d'autres termes, les choix de solutions et d'applications sont clairs, et leur mise en œuvre est opérationnelle.

Cette maturité de l'exploitation conduit à ce qu'il ne soit pas nécessaire, comme dans le troisième article, de nouer des alliances de compétences entre des spécialistes technologiques et des entreprises utilisatrices pour rapprocher la technologie des besoins spécifiques du marché. En dehors de l'intégration mise en œuvre pour capturer plus de valeur et/ou pour profiter des avantages de la fabrication numérique, des mécanismes de marché sont suffisants pour se coordonner dans l'achat de machines ou de pièces car l'incertitude technologique est relativement faible. En d'autres termes, cette maturité conduit à ce que les incertitudes sur l'investissement dans la technologie dominante soient relativement faibles, et que l'investissement ne soit pas particulièrement spécifique (son utilisation est assez répandue dans le secteur). Si l'on suit le mode de raisonnement de l'économie des coûts de transaction, la maturité de l'exploitation réduit l'incertitude et la spécificité et rend donc plus économique une coordination par le marché. Ainsi, le mode d'interactions inter-firmes le long d'une chaîne de valeur correspond à une modalité précise pour laquelle l'exploitation est mature, que nous observons dans le premier article.

Dans ce mode de fonctionnement, les avantages opérationnels de la fabrication numérique sur les procédés traditionnels conduisent au remplacement du procédé « traditionnel » par le procédé numérique. Ces chaînes de valeur ont donc pour objet l'exploitation, au sens March (1991), des nouveaux procédés de fabrication numérique. Les avantages opérationnels de personnalisation de masse et de fabrication sur le lieu d'usage, l'offre de services facilitant cette dernière, et la capacité à intégrer les compétences nécessaires aux différents stades de la production sont les principaux facteurs de reconfiguration de la chaîne de valeur du secteur. Dans ce contexte, en plus des avantages opérationnels de la fabrication numérique, la capacité à intégrer des compétences amont et/ou aval est un facteur essentiel de la désintermédiation.

9.1.1.2. La gestion des complémentarités au cœur de l'impact concurrentiel de la FA

Dans le premier article, la capacité de chacun des acteurs à intégrer la fabrication numérique avec ses autres compétences est un élément clé des reconfigurations de la chaîne de valeur. En termes plus théoriques, la capacité des acteurs à intégrer des compétences complémentaires à leur cœur de métier est centrale pour construire, conserver, ou renforcer une position concurrentielle face à la transformation à l'œuvre. Cette intégration de compétences nouvelles par les acteurs démontre l'importance (et la maîtrise par certains) de l'aptitude à intégrer des compétences en réponse à une évolution de l'environnement, ce qui relève de la capacité dynamique de transformation (*reconfiguring*) par le management de la co-spécialisation des compétences au sens de Teece (2007).

Le mouvement de reconfiguration au sein de la chaîne de valeur d'un secteur au cours de l'installation d'un nouveau paradigme techno-industriel relève d'une transformation concurrentielle qui suit l'introduction d'une rupture technologique. Ces transformations concurrentielles illustrent ainsi le sujet largement exploré dans la littérature des risques concurrentiels qu'impliquent les ruptures technologiques pour les entreprises installées (Tushman et Anderson, 1986; Durand, 1992; Hill et Rothaermel, 2003; Christensen, 2008; Cozzolino, Verona, et Rothaermel, 2018).

Les technologies de fabrication numérique génèrent des mouvements concurrentiels bousculant certains des acteurs installés. Les nouvelles technologies et leur mise en œuvre (nécessairement par des acteurs) font évoluer la position d'entreprises en place. On observe que les innovations (scanner 3D numérique et fabrication numérique) introduites par les *manufacturers* remplacent (au moins partiellement) les compétences « traditionnelles » de fabrication manuelle des acteurs installés (les prothésistes), dont une partie de l'activité traditionnelle est externalisée – volontairement ou non – vers leurs fournisseurs (les *manufacturers*) ou vers leurs clients (les dentistes) qui apprennent à maîtriser les technologies. Ainsi, ces ruptures technologiques introduites par les acteurs, qui surfent la vague de la révolution digitale, détruisent les compétences des acteurs installés, comme décrit par Tushman et Anderson (1986). Les conséquences de cette destruction des compétences des acteurs installés peuvent être limitées si ces derniers arrivent à intégrer des compétences de fabrication numérique, complémentaires à leurs compétences traditionnelles.

Si la reconfiguration au sein d'une chaîne de valeur est la conséquence de cette dynamique de remplacement d'une technologie par une autre technologie de rupture cette transformation

apparaît essentiellement comme étant influencées par les mouvements d'acteurs qui parviennent (ou non) à transformer leurs compétences. L'évolution des chaînes de valeur est donc le fait de l'introduction d'une innovation radicale, mais surtout le fait de l'évolution des acteurs qui créent différents assemblages de compétences pour l'utilisation de la technologie. Ainsi, les nouvelles chaînes de valeur que nous voyons émerger sont portées par ces acteurs et, si la technologie est développée et son exploitation mature, ils la mettent en œuvre selon différents agencements de compétences au sein de la chaîne de valeur. Ces agencements impliquent une dimension inter-organisationnelle car ils dépendent des interactions clients-fournisseurs, comme le montre l'importance de la maîtrise de l'aval de la chaîne de valeur. Ainsi, les choix des acteurs et ce que chacun peut imposer dans les relations clients-fournisseurs sont centraux dans l'évolution des modes de mises en œuvre de la fabrication numérique que nous observons au travers des chaînes de valeur.

En résumé, si les technologies obligent les acteurs à se transformer pour survivre, les choix de transformation de chaque organisation et les interactions inter-organisationnelles sur la chaîne de valeur déterminent la façon dont sont mises en œuvre les technologies. L'issue de ces processus de transformation des organisations et des chaînes de valeurs détermine la répartition de la valeur et l'exclusion des acteurs les moins adaptés.

9.1.2. Second article : des alliances multipartenaires pour l'élaboration d'une stratégie collective

9.1.2.1. Des réflexions collectives sur une palette étendue de modalités

Dans le second article de cette thèse, nous avons étudié les relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel au travers de l'étude d'alliances multipartenaires pour le développement de la fabrication additive, en lien avec la puissance publique, en France et en Grande-Bretagne. Ces alliances ont vocation à élaborer une stratégie collective pour favoriser le développement des écosystèmes nationaux pour la fabrication additive. Comme nous l'avons montré dans la discussion suivant cet article (section 7.7), ces alliances multipartenaires se forment autour d'une large palette de modalités de l'ensemble complexe de la fabrication additive. C'est-à-dire qu'elles traitent de la FA en incluant une large variété de procédés et matériaux, de fonctions, et de secteurs pouvant l'utiliser.

Comme le montre l'article, il existe des pratiques relationnelles spécifiques aux alliances multipartenaires. Ces pratiques relationnelles suivent un processus analogue dans nos deux cas.

D'abord, elles naissent de la formation d'une communauté autour d'un sujet d'intérêt commun et grâce à l'initiative d'interpreneurs et le soutien des pouvoirs publics. Ensuite des sous-groupes thématiques travaillent à l'élaboration d'une stratégie, qui est finalement formalisée par les interpreneurs centraux dans l'alliance multipartenaire. Un consensus sur cette stratégie est permis par la légitimité des interpreneurs et l'inclusion de l'ensemble des propositions des membres de l'alliance. Finalement, malgré leurs tentatives, les alliances multipartenaires (dans les deux cas présentés dans l'article) n'arrivent pas à être financées pour réaliser la stratégie collective. La réalisation des objectifs est alors (partiellement) mise en œuvre ailleurs par des sous-groupes au sein desquels se retrouvent des membres des alliances multipartenaires.

Il se dégage du second article (sous-section 7.4.3) le fait que les stratégies ne sont pas mises en œuvre par les alliances multipartenaires elles-mêmes du fait de la nature même de ces groupes larges, aux frontières floues, et aux objectifs stratégiques divers, ce qui ne les rend pas adaptés à autre chose que de la pré-exploration à spectre large. La multiplicité des acteurs et objectifs des MPA apparaît liée aux larges palettes de modalités dont il est question. En effet, plus l'alliance multipartenaire est ouverte, plus la diversité des modalités portées par les participants augmente. Réciproquement, la multiplication des modalités prises en compte, et donc des acteurs, conduit à une multiplicité des objectifs spécifiques des participants. Le mécanisme d'atteinte du consensus passant par une synthèse des points de vue exprimés conduit alors à ce que les actions proposées par les alliances multipartenaires soient diverses et hétérogènes. En conséquence, la mise en œuvre de relations monétisées est difficile, car l'intérêt de chaque partenaire peut sembler noyé dans des objectifs très divers (les incitations à investir sont donc faibles) et le programme peut être jugé trop hétéroclite et complexe pour un investissement public. La large palette de modalités de la FA prise en compte (voir la discussion sur l'article section 7.7) et la volonté d'atteindre un consensus stratégique tenant compte de priorités d'acteurs divers (*cf.* 7.4.3.4) peuvent être vues comme les sources de la diversité des objectifs stratégiques fixés par les MPA, et donc comme la raison du fait que, par nature, ces MPA sont trop diverses pour évoluer vers un mode de gouvernance fondé sur des financements et des flux monétaires. Ce non-passage à une pratique relationnelle monétisée rend difficile, voire impossible, l'action collective entre les partenaires dans le cadre des alliances multipartenaires.

Par ailleurs, comme nous le suggérons dans la discussion du second article, les pratiques relationnelles mises en œuvre dans ces alliances multipartenaires sont autant un moyen qu'une fin. Elles sont un moyen pour construire une stratégie commune (exercice au travers duquel les acteurs peuvent nourrir leur propre réflexion stratégique), mais également une fin car un des

effets des MPA est la création d'une communauté informée d'acteurs se connaissant et ayant développé une vision collective de la technologie (et des visions spécifiques corolaires pour leurs propres secteurs et leurs propres besoins), des problématiques qui y sont attachées, et d'actions communes qu'il serait souhaitable de mettre en œuvre.

Ainsi, la diversité des modalités abordées, la diversité des partenaires, et la diversité des orientations stratégiques des MPA observées ne semblent pas être adaptées pour la mise en œuvre de projets concrets, mais plutôt pour la construction d'une vision commune et d'une communauté, ainsi que pour la génération de projets décentralisés.

9.1.2.2. Trois niveaux dans la construction d'un cadre technologique partagé

L'article donne à voir et analyse des modes d'interaction mis en œuvre dans les alliances multipartenaires étudiées. Comme discuté à la suite du second article, l'enjeu pour les participants est de se préparer au changement technologique de la fabrication additive en s'informant sur l'environnement pour élaborer leur stratégie, et en contribuant à orienter une action collective tout en s'y positionnant. Ces objectifs illustrent le fait que la participation aux alliances multipartenaires relève de la capacité dynamique de détection et de façonnage d'opportunité, désigné par Teece (2007) sous le terme général de *sensing*.

Les organisations participant à ces alliances multipartenaires ont donc un intérêt pour la fabrication additive. En amont du démarrage de ces initiatives, les organisations qui participent ont – au moins pour une grande part d'entre elles – une compréhension (parfois minimale et pas nécessairement pertinente ni appropriée) de la fabrication additive, des opportunités qu'elle ouvre, et des problématiques associées. Nous pouvons ainsi affirmer que ces organisations ont une compréhension que l'on peut qualifier de cadre technologique (Orlikowski et Gash, 1994; Garud et Rappa, 1994; Kaplan et Tripsas, 2008; Kaplan, 2008). Si les organisations membres ont, chemin faisant, développé une vision qui leur est propre, la participation aux alliances multipartenaires consiste en une réflexion collective sur les actions permettant de développer un écosystème ou une filière nationale (les stratégies collectives). Cette réflexion collective suppose la création d'une compréhension partagée de ce qu'est la fabrication additive, de ce qu'elle rend possible, et de ce qu'elle implique pour les acteurs, en un mot : la création d'un cadre technologique collectif (Kaplan et Tripsas, 2008).

Par ailleurs, comme détaillé dans les présentations des deux alliances multipartenaires, les groupements sont ouverts et incluent des entreprises productrices et utilisatrices (parfois potentielles) de la fabrication additive, des institutions de recherche, et les pouvoirs publics.

Les alliances multipartenaires sont donc un lieu de réunion et de mise en lien des différentes composantes des systèmes nationaux d'innovation (SNI) (Nelson, 1993; Freeman, 1995). Cette perspective signale l'importance du contexte plus large au sein duquel se mettent en œuvre les alliances multipartenaires étudiées.

Les formes de coopération inter-organisationnelle étudiées dans le second article ne portent pas sur l'exécution d'actions concrètes. Lorsqu'elles ont lieu, ces dernières sont portées par des émanations plus ou moins directes des alliances multipartenaires. Reprenant l'opposition entre exploration et exploitation (March, 1991), ces alliances multipartenaires s'en tiennent à l'exploration des enjeux d'une innovation technologique sans rentrer dans l'activité d'exploitation. Néanmoins, ces alliances multipartenaires sont un espace adapté pour la production d'un cadre technologique partagé sur la base des cadres des participants, au sein d'un système national d'innovation. Cette création d'un cadre technologique partagé se fait notamment au travers de la mise en œuvre des capacités dynamiques de détection et de façonnage des opportunités par les acteurs.

9.1.3. Troisième article : des alliances dyadiques pour développer l'usage de technologies

9.1.3.1. Des relations de développement autour de modalités précises

Dans le troisième article de cette thèse, nous avons étudié quatre alliances dyadiques nouées pour conduire des développements technologiques, opérationnels, et commerciaux, de la fabrication additive. Au travers de ces alliances, les partenaires ont vocation à mettre en commun des compétences complémentaires pour identifier des cas d'application, développer des procédés de fabrication additive qui y répondent, les mettre en œuvre, et les exploiter commercialement. Comme nous le montrons dans la discussion qui suit cet article (section 8.7), les alliances étudiées travaillent sur un ou quelques procédé(s), matériau(x), secteur(s), et usage(s) ; ce qui constitue des modalités circonscrites au regard de l'ensemble complexe de technologies et d'usages qu'englobe la fabrication additive, mais qui demeurent moins précises que dans le premier article.

La forme dyadique des alliances étudiées dans ce troisième article est en effet adaptée à un travail sur des modalités circonscrites de la fabrication additive. En effet, comme nous l'avons montré dans l'article, ces alliances dyadiques sont nouées entre une entreprise ayant des compétences technologiques en FA et une entreprise ayant des compétences ouvrant sur un

domaine d'application de ces technologies à plus ou moins long terme. Il s'agit donc d'alliances visant à mettre en commun des compétences complémentaires. Si les cas étudiés varient, ce type d'alliances associant les dimensions technologique, opérationnelle, et commerciale se retrouve dans les quatre cas. C'est en effet ce que font l'utilisateur souhaitant valoriser sa compétence interne en s'associant avec un spécialiste des procédés de production (cas A), l'entreprise ayant développé un procédé pour un secteur et s'alliant avec un grand acteur du secteur potentiellement usager (cas B), ou les entreprises spécialistes de la FA souhaitant déployer leur compétence dans un nouveau secteur via une alliance avec un usager (potentiel) de ce secteur, que ce soit par un partenariat R&D (cas C) dont les débouchés en termes de mises en œuvre sont attendus à long terme ou une joint-venture à visée directement applicative et commerciale (cas D). De telles alliances de développement d'une offre ont ainsi vocation à se saisir d'une ou de quelques modalités de la fabrication additive. Leur champ d'action est circonscrit.

Cette correspondance entre alliances dyadiques une palette circonscrite de modalités est d'ailleurs dans la nature même de ces alliances entre une compétence technologique et un domaine d'application. De telles alliances impliquent en effet de se concentrer des modalités qui correspondent aux compétences d'un (seul) spécialiste technologique – matérialisées par les procédés et matériaux – et, dans les cas B, C, et D, les besoins d'un seul usager-partenaire – matérialisés par le secteur et les fonctions visées.

Autour de ces modalités, les alliances étudiées doivent trouver un équilibre entre exploration et exploitation. En effet, elles réalisent ces deux types d'activités et peuvent donc être qualifiées d'hybrides. En effet, comme le montre l'article, ce mode de développement de la fabrication additive est traversé par une tension entre les nécessaires efforts de développement technologique et d'application d'une part, et d'autre part, les besoins financiers à court et moyen terme des acteurs développant la technologie, qui peuvent être satisfaits par des investissements et/ou la réalisation de chiffres d'affaire et de profit. Ces tensions sont dépassées grâce aux conditions initiales de l'alliance, au maintien du soutien financier des actionnaires qui permettent de financer l'exploration, et à la correspondance initiale et/ou aux efforts d'adaptation réciproques des partenaires. Ces tensions peuvent aussi conduire au départ d'un des partenaires de l'alliance dont les ressources ne permettent pas de soutenir l'exploration ou le financement du lancement de l'exploitation.

La forme de ces alliances dyadiques mises en œuvre pour des modalités circonscrites de la FA peut être vue comme étant une des causes de la tension entre exploration et exploitation dans

les cas étudiés. En effet, le fait de restreindre les modalités, par exemple les procédés et matériaux ou les secteurs visés, réduit mécaniquement le marché visé. A l'inverse, des spécialistes technologiques peuvent déployer leur savoir-faire dans les marchés où la demande est déjà plus stable (c'est par exemple ce que font les spécialistes C1 et D1) ce qui limite la difficulté à atteindre l'exploitation, et peut donc permettre de générer des ressources pour financer l'exploration que l'on mène par ailleurs.

9.1.3.2. Les relations d'alliances au cœur du cycle technologique suivant l'apparition d'une rupture

Dans le troisième article, les alliances dyadiques étudiées ont pour but de développer les technologies et l'usage de la fabrication additive. Cela passe par l'apport au projet commun des compétences différentes mobilisées par chacun des partenaires. Cette association de compétences complémentaires au travers d'une alliance constitue une structure organisationnelle permettant de saisir les opportunités de la fabrication additive, ce qui correspond à la capacité dynamique de type « *seizing* » (Teece, 2007) en gérant l'accès aux compétences complémentaires détenues par d'autres entreprises.

Dans le contexte étudié, la fabrication additive est déjà apparue comme une rupture technologique et les entreprises ayant acquis des compétences sur le nouveau paradigme techno-industriel s'efforcent chacune d'adapter leurs compétences via des alliances pour ensuite développer des offres compétitives pour tirer profit de cette rupture.

Dans cette phase, les technologies de FA entrent en concurrence avec les technologies de fabrication « traditionnelles ». Au travers de leur offre de FA (machines ou pièces), les alliances proposent aux acteurs de changer leurs produits ; dans nos cas, il s'agit essentiellement de changer la forme de certaines pièces. Pour cela, il faut typiquement remplacer l'usinage par la FA pour la fabrication de certaines pièces, afin de pouvoir obtenir des pièces plus complexes (voir fonction 3 section 1.4). Par ailleurs, certains des sept procédés décrits en section 1.4, et des variations autour de ces procédés sont en concurrence entre eux. Par exemple, le procédé de projection de poudre (ou fusion de fil) dans un flux d'énergie concentrée permet la fabrication additive métal et peut être vu comme un concurrent du procédé solidification de poudre (métallique) par laser. La concurrence se fait également sur des innovations incrémentales. Citons le cas de la solidification de poudre métallique par laser dont les concurrents vendent des machines ayant la même architecture d'ensemble. La concurrence se joue donc également entre différentes variantes d'un même procédé.

Les choix technologiques de ces alliances entrent en concurrence avec d'autres choix technologiques (méthodes traditionnelles, autres choix procédés/matériaux en la FA, et variantes des mêmes procédés/matériaux) portées par d'autres entreprises et/ou alliances. On retrouve par exemple plusieurs procédés, ou variantes du même procédé, en concurrence sur un même secteur d'activité. Ce faisant, dans le processus d'évolution technologique évolutionniste, les alliances entre un spécialiste technologique et un utilisateur (ou un développeur) sont le lieu de choix technologiques, notamment par le rapprochement des besoins des secteurs utilisateurs dans lesquels la technologie peut apporter un avantage.

Ce rapprochement entre les technologies et les secteurs utilisateurs permettent d'impliquer les besoins et contraintes des utilisateurs qui influencent alors l'évolution des technologies (procédés/matériaux). Les utilisateurs se servent de ces alliances comme d'un moyen pour faire émerger (foisonner) des utilisations possibles (fonctions), en sélectionner certaines, et sélectionner une direction technologique (matériaux/procédés) ayant émergé dans la phase de foisonnement des solutions technologiques. Les utilisateurs ne relèvent donc pas exactement du marché opérant une sélection *ex-post* comme dans la théorie évolutionniste du changement technologique, mais sont plutôt des acteurs qui participent à la réflexion sur l'utilisation de la FA (fonction et secteur) et qui favorisent donc le développement de certaines directions technologiques.

Les alliances dyadiques observées dans le troisième article émergent donc dans une phase de foisonnement marquée par la concurrence entre l'ancienne et la nouvelle technologie, entre les offres conçues autour de la nouvelle technologie, et entre les différents choix d'utilisations de la technologie par des secteurs spécifiques (dont les acteurs se sont alliés avec des spécialistes technologiques). Ces alliances apparaissent donc comme un mécanisme important du processus de sélection des technologies qui s'avère ainsi spécialement marqué par les partenaires utilisateurs, dont les besoins spécifiques influencent les trajectoires technologiques.

Tous ces choix relèvent de la dimension exploration des alliances. Si l'alliance atteint ses objectifs, il s'agira *in fine* d'en tirer un profit en passant à l'exploitation avec ce que cela signifie d'opérationnel (industriel et commercial). Les phases de foisonnement et de sélection du cycle d'évolution technologique sont ainsi combinées au sein de ces alliances qui s'avèrent y jouer un rôle clé.

9.2. Construction d'un cadre intégrateur : relations inter-firmes pour l'exploration d'un paradigme techno-industriel

Les trois articles étudiés donnent à voir différents types de relations inter-firmes. Le premier article se penche sur des relations clients/fournisseurs dans une chaîne de valeur, le second sur des dispositifs nationaux d'alliances multipartenaires, et le troisième sur des alliances dyadiques. Dans cette section, nous proposons un cadre intégrateur des relations inter-firmes émergeant avec le développement d'un nouveau paradigme techno-industriel.

9.2.1. Modalités du paradigme techno-industriel et relations inter-firmes

Nous avons, dans la synthèse des 4 premiers chapitres, formulé notre problématique en deux volets : quelles relations inter-firmes sont mises en œuvre dans le cadre de l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel ? Quels sont leurs effets ? Les trois sous-sections suivantes (9.2.1, 9.2.2, et 9.2.3) proposent des éléments de réponse au premier volet. La sous-section 9.2.4 proposera des éléments de réponse au second volet.

Comme nous l'avons proposé ci-dessus, les relations d'alliances multipartenaires naissent d'un intérêt commun autour d'un sujet, celui de la fabrication additive. Néanmoins, comme le montre la section 1, la fabrication additive est une réalité complexe qui réunit différents procédés et matériaux, différentes fonctions, et différents secteurs d'activité. Dès lors, chaque acteur a un intérêt direct pour une ou des modalité(s) particulière(s), liées aux procédés mis en œuvre ou à son secteur d'activité. Réunir dans une alliance multipartenaire de nombreux acteurs (chacun intéressé par des modalités spécifiques) autour d'un thème commun implique donc que l'alliance multipartenaires traite d'une large palette de modalités variées et diverses. Cette situation limite néanmoins l'alliance multipartenaire à un exercice de réflexion pour élaborer des stratégies dont la mise en œuvre ultérieure doit passer par d'autres dispositifs.

Contrairement aux alliances multipartenaires, les alliances dyadiques naissent d'un intérêt mais surtout d'un projet commun. Dans les cas étudiés, il s'agit de projets de développement technique pour appliquer la fabrication additive à un besoin ou un ensemble de besoins circonscrit. Par nature, ces projets, et donc les alliances, doivent concentrer leurs ressources sur une modalité circonscrite. Par ailleurs, les alliances mettant en commun des compétences technologiques et des compétences ouvrant des débouchés opérationnels et commerciaux, elles impliquent que la ou les modalités traitées soient limitées par les compétences de chacun des partenaires.

Ces réflexions sur le lien entre modalités du paradigme techno-industriel et types de relations inter-firmes dans les articles 2 et 3 peuvent être synthétisées par l'idée intuitive que la diversité des modalités en jeu évolue conjointement avec le nombre de partenaires dans l'alliance. Ici, plus de membres signifie plus d'enjeux, souvent spécifiques mais noyés dans la masse, et donc une palette de modalités plus large, et, *in fine*, plus de difficultés à agir concrètement.

Considérer le premier article dans cette réflexion offre des compléments. Dans le premier article, de nombreux acteurs (des dentistes, des prothésistes, des industriels) participent aux relations inter-firmes et ces relations inter-firmes débouchent sur une production très concrète. Ces nombreux acteurs sont en effet organisés au sein de chaînes de valeur. Un élément essentiel de ce fonctionnement en chaînes de valeur est que les relations se concentrent sur un nombre restreint de modalités, ce qui est permis car l'exploitation de la FA est mature au sein d'un secteur. Nous notons ici qu'il est question de maturité au regard d'une utilisation, c'est-à-dire de secteurs ou fonctions spécifiques. En effet, les chaînes de valeur impliquent ici de nombreux acteurs à chaque stade, et ces acteurs ont chacun de nombreux clients. Ce fonctionnement ne peut donc être mis en œuvre que si l'exploitation d'une technologie est assez mature pour donner lieu, en dehors de l'intégration, à une coordination clients/fournisseurs relativement lâche.

En comparaison, les alliances dyadiques du troisième article apparaissent alors comme une situation intermédiaire dans laquelle la technologie est suffisamment développée pour donner lieu à des projets inter-firmes concrets ; mais où le niveau de développement technique implique une incertitude nécessitant la mise en commun des compétences technologiques avec des compétences de spécialistes « métiers » permettant de définir les modalités correspondantes pour mettre en œuvre de façon opérationnelle la fabrication additive, ce qui pourrait à terme affecter la configuration de la chaîne de valeur.

Concernant les alliances multipartenaires du second article, il est difficile de qualifier la maturité de l'exploitation de la FA pour chacun des acteurs, et donc sur un ensemble dont les partenaires sont nombreux et divers. Néanmoins, les documents produits par chacune des alliances multipartenaires traitent de la fabrication additive comme d'un ensemble de technologies en développement, ce qu'elles sont pour la plupart des fonctions et secteurs. Par ailleurs, les réflexions se situent à un niveau pré-concurrentiel (R&D collective, formation, création de ressources communes au secteur...), les discussions concernent ainsi des questions qui ne relèvent pas d'une exploitation mature mais d'un stade antérieur à l'exploitation.

En synthèse, en plus d’être définie par la diversité de la palette des modalités, la forme des relations inter-firmes est également définie par la maturité de l’exploitation des technologies, ces deux dimensions apparaissant évoluer ensemble dans nos articles. Dans les cas observés, des relations inter-firmes via des alliances multipartenaires correspondent à une un faible degré de maturité de l’exploitation et à une palette étendue de modalités. Une palette de modalités circonscrite et un faible degré de maturité de l’exploitation conduisent à ce que les relations inter-firmes passent par des alliances dyadiques mêlant compétences technologiques et compétences sur les applications. Finalement, une exploitation mature et une modalité précise impliquent des relations de type chaîne de valeur. Sur la base de ces éléments, on peut proposer le tableau de synthèse suivant.

Tableau 12 : Types de relations inter-firmes selon l’étendue de palette de modalités et le degré de maturité de l’exploitation

	Large palette de modalités	Palette de modalités réduite
Exploitation en développement	Alliance multipartenaire	Alliance dyadiques
Exploitation mature	?	Chaîne de valeur

Nous n’avons pas observé dans ce travail de thèse de relations inter-firmes autour d’une large palette de modalités et dans le contexte d’une exploitation mature de la FA. Un tel contexte peut apparaître dans le cas d’une technologie d’application générique. En effet, certaines technologies génériques peuvent être mises en place pour de nombreuses fonctions dans de nombreux secteurs d’activité. Elles sont alors qualifiées de *General Purpose Technology* (cf. section 3.1) (Bresnahan et Trajtenberg, 1995).

La nature flexible de la fabrication additive a conduit à y voir une technologie de fabrication qui permettrait de fabriquer des objets et pièces très divers (cf. section 1.3). Cette logique a été considérée comme rendant possible l’émergence de centres de production multi-produits en fabrication additive bien que cette voie de développement demeure contrainte par les limites de la fabrication additive, et notamment son coût. Pour certains auteurs, de tels centres de production seraient ainsi adaptés à la production de pièces en petites séries et proche du lieu d’usage (Sasson et Johnson, 2016). Dans une démarche stratégique d’anticipation, D’Aveni

(2018) anticipe que les progrès technologiques sur la FA mèneront à l'émergence d'écosystèmes de centres de production flexibles et multi-produits, détenus par des géants industriels, qui se coordonneront avec leurs nombreux clients via des plateformes numériques (gérant commandes, la production, livraison...) par lesquels passeront tous les échanges de biens matériels. Suivant ce raisonnement, la case vide des relations inter-firmes mises en œuvre autour d'une large palette de modalités et d'une technologie dont l'exploitation est mature pourrait être celle de relations de type écosystème organisé autour d'une plateforme numérique. Si elles se concentrent sur les relations avec les clients finaux (*users*) plutôt que sur les relations inter-firmes, c'est le mode de coordination qu'analysent les recherches à propos des plateformes pour la fabrication additive personnelle (Rayna, Striukova, et Darlington, 2015; Rayna et Striukova, 2016).

Cette analyse des liens entre les modalités de la FA et types de relations inter-firmes nous conduit à proposer l'idée que la nature des relations inter-firmes mises en œuvre dépend du degré de maturité de l'exploitation de la technologie et de l'étendue de la palette de modalités objets de la relation. Dans la sous-section suivante, nous proposons une synthèse des enjeux et objectifs de ces types de relations inter-firmes.

9.2.2. Objectifs, problématiques et résultats des relations inter-firmes

Dans les différents types d'interactions observées, les logiques, les problématiques de management, les actions de management, les résultats, et la nature de la concurrence diffèrent.

Nous avons qualifié les objectifs des relations inter-firmes dans les trois types de situations observées selon la distinction entre exploration et exploitation proposée par March (1991).

Dans les chaînes de valeur observées dans le premier article, les offres sont stabilisées même si la transformation du secteur est encore en cours. L'objectif pour les acteurs est ici de mettre en œuvre des fonctions de la fabrication numérique qui se retrouvent à conduire à une transformation de la chaîne de valeur. Les chaînes de valeur observées ont donc pour objet l'exploitation. Pour chaque acteur, l'enjeu est de s'approprier le plus de valeur possible. Cette captation de valeur passe par la capacité à agencer de la façon la plus avantageuse les différentes activités complémentaires en les intégrant et/ou via des relations clients-fournisseurs sur la chaîne de valeur. Ce qui précède relève de la capacité dynamique de transformation des compétences en les réalignant en fonction des évolutions de l'environnement (*reconfiguring*). Cette reconfiguration mène à la désintermédiation des entreprises dont les compétences sont les moins adaptées et à une reconfiguration des chaînes de valeur.

Dans les alliances multipartenaires du second article, on peut parler – en adoptant le cadre théorique des capacités dynamiques – de mise en œuvre par les participants d’une capacité d’identification et de façonnage d’opportunités (*sensing*). Collectivement, la problématique est de faire coopérer un grand nombre d’acteurs aux objectifs individuels divers pour l’élaboration d’un document stratégique partagé (feuille de route ou *strategy*). Comme le montre l’article, les pratiques relationnelles spécifiques à ces situations d’alliances multipartenaires sont essentielles. Malgré la mise en œuvre de pratiques relationnelles adaptées à la réflexion stratégique, les alliances multipartenaires observées apparaissent comme inadaptées à la mise en œuvre d’actions concrètes, qui sont alors menées au sein de sous-groupes.

Les alliances dyadiques observées dans le troisième article peuvent être comprises comme un type de sous-groupes à travers lesquels les développements concrets sont mis en œuvre. Les alliances que nous observons hybrident exploration et exploitation de différentes manières. Elles consistent à mettre en commun des compétences technologiques et des compétences « métiers » en lien avec un secteur permettant de rapprocher la technologie et ses utilisations potentielles. Au sens de la théorie des capacités dynamiques, ces alliances sont alors un moyen pour chacun des partenaires de saisir (*seizing*) l’opportunité du changement technologique au moyen de coopération avec des partenaires dont les compétences sont complémentaires. Dans ces alliances, la problématique majeure est la gestion de la tension entre la nécessaire exploration pour développer la technologie et le marché, et le besoin d’exploitation pour générer d’indispensables ressources financières. Au moment de notre travail de thèse, ces alliances sont encore dans leur phase de développement et le stade de la maturité de l’exploitation n’est pas encore atteint.

Ces trois ensembles de situations impliquent également des enjeux de management des relations inter-firmes différents. L’alliance multipartenaire dédiée au développement d’une stratégie et d’un écosystème nationaux s’avère permettre des activités d’exploration, les alliances dyadiques mélangent exploration et exploitation (elles sont hybrides) et les chaînes de valeur sont dédiées à l’exploitation.

En synthèse, les différents types de relations inter-firmes mis en œuvre dans des contextes technologiques différents au cœur de l’émergence d’un nouveau paradigme techno-industriel ont vocation à traiter différentes problématiques, qui impliquent différents types d’actions, donnant lieu à des résultats différents.

Sur la base de ces observations, le tableau 13 synthétise les éléments essentiels de chaque type de relations inter-firmes observées.

Tableau 13 : Caractéristiques des types de relations inter-firmes observées

	Alliances Multipartenaires	Alliances dyadiques	Chaîne de valeur
Logiques	Exploration	Hybride	Exploitation
Objectif	Alimenter la réflexion stratégique particulière et collective	Mobiliser la FA sur des besoins (le plus souvent ciblés)	Créer de la valeur grâce à la technologie
Problématique	Pratiques relationnelles multipartenaires	Gestion de la tension exploration-exploitation	Reconfiguration des activités à son avantage
Résultats	Pas d'actions collectives concrètes	Exploitation non encore mature	Désintermédiation des acteurs les moins adaptés

L'analyse développée ici nous a conduit à documenter l'idée d'une coévolution entre la nature des relations inter-firmes (et les modalités qui en sont l'objet) avec des éléments structurants de l'analyse des relations inter-firmes. Si les relations identifiées changent avec le degré de maturité dans l'exploitation de la FA, nous ne sommes pas face à un enchaînement d'étapes dans une progression qui irait de l'exploration à l'exploitation. Par ailleurs, si les différents types de relations inter-firmes que nous observons s'intéressent à la FA de manière plus ou moins ciblée (sur des modalités), nous n'avons pas observé un enchaînement chronologique entre des relations d'abord généralistes puis des relations inter-firmes de plus en plus ciblées sur des modalités. Par exemple, des alliances dyadiques et multipartenaires peuvent exister simultanément et inclure des partenaires communs. Certains de ces partenaires peuvent parallèlement être impliqués sur une chaîne de valeur mettant en œuvre la fabrication additive. C'est cette évolution non linéaire entre différents types de relations inter-firmes que la sous-section suivante met en exergue sous forme d'un processus itératif.

9.2.3. Un processus itératif articulant les différents types de relations inter-firmes

Une même entreprise impliquée simultanément dans les trois types de relations inter-firmes poursuit en parallèle plusieurs objectifs différents et complémentaires. Elle cherche à détecter de nouvelles opportunités et comprendre l'environnement au sein d'une alliance

multipartenaire sur des sujets qui ne sont pas directement du ressort de son activité, à développer de nouveaux couples technologie-application dans des alliances dyadiques dans lesquelles l'exploitation semble plus accessible, et à capter de la valeur et construire une position concurrentielle viable dans les chaînes de valeur des secteurs où l'exploitation est mature. Ce faisant, dans les différents types de relations inter-firmes, l'entreprise travaille alors sur des palettes de modalités plus ou moins étendues, et sur des stades d'avancement de l'exploitation de la FA plus ou moins matures. En d'autres termes, ce n'est pas tant l'évolution technologique dans le temps qui détermine le type de la relation inter-firmes mobilisée, mais plutôt les objectifs de ces relations. L'encadré ci-dessous reprend et complète certains éléments présentés dans cette thèse, afin de donner à voir les mêmes données de terrain, cette fois mises en scène sur un mode narratif.

Encadré : Histoire d'un processus itératif d'exploration du paradigme techno-industriel de la FA

Au début des années 1980, Chuck Hull, ingénieur américain, trouvait longues les huit semaines qu'il lui fallait attendre un prototype. « Il doit bien y avoir une solution pour économiser tout ce temps » pensa-t-il, et il eut alors l'idée de fabriquer des prototypes par photopolymérisation de résine. Il inventa la machine dont il avait besoin, la fabrication additive était née (Hull, 2012).

Nous observons ici l'apparition en un endroit bien précis d'un besoin fonctionnel latent – celui du délai de prototypage – et d'une solution technologique pouvant y répondre – la photopolymérisation de résine. Ces deux éléments sont les constituants initiaux d'une innovation, et donc d'une innovation paradigmatique telle que la FA. L'existence de ces constituants initiaux peut s'apparenter, dans une analogie biologique, à une sorte de « soupe primitive », expression qui désigne un milieu contenant certaines molécules et vérifiant certaines conditions (température...) au sein duquel se seraient formées les premières cellules vivantes.

Hull créa 3D system en 1986 pour exploiter commercialement son invention. Il vendit sa première machine en 1988 (Hull, 2012). Dès 1992, des cas d'usages montraient que la FA permettait d'économiser jusqu'à 20 semaines et plusieurs

dizaines de milliers de dollars lors de processus de conception (Jacobs, 1992). Le prototypage rapide par fabrication additive se développa dans la suite des années 1990 durant lesquelles de nouveaux acteurs maîtrisant le nouveau procédé (et vendant des machines ou des services de prototypage) prirent une place importante dans le secteur. La machine était lancée (Kochan, 1997; Rayna et Striukova, 2015).

Ici, la résolution du problème grâce à la nouvelle solution technologique conduit à la création d'une entreprise pour commercialiser la solution : l'inventeur a compris l'opportunité, et décidé de développer les compétences nécessaires en créant son entreprise. La fabrication additive transforme alors le prototypage qui devient prototypage rapide, ce qui transforme la chaîne de valeur par l'arrivée de nouveaux acteurs proposant de nouvelles solutions. Il s'agit donc de la mise en œuvre de la technologie dans des relations clients-fournisseurs sur une chaîne de valeur, comme dans la logique décrite par le premier article de la thèse au chapitre 6. Très vite de nouvelles utilisations de la FA sont envisagées, comme le montre ci-dessous un extrait de la presse industrielle, datant de février 1998.

« "Il s'agit d'abord d'obtenir plus vite et moins cher des prototypes de pièces" (...). Mieux encore : "Pourquoi ne pas envisager la réalisation de moules de série pour quelques dizaines, voire quelques centaines de milliers de pièces ", s'interroge-t-on chez Valeo. " (...) voilà le grand défi de l'outillage rapide pour les années qui viennent. »⁴²

Sur la base des connaissances acquises, des industriels cherchent à appliquer la fabrication additive à l'outillage dans les années 1990. Comme le montre ce témoignage, l'identification de l'opportunité que représente la FA pour l'outillage (qui deviendra outillage rapide) provient de l'utilisation de la technologie pour le prototypage rapide. Ce mécanisme montre comment de premiers usages peuvent alimenter l'identification de besoins et de solutions technologiques permettant d'y répondre. On observe ainsi une rétroaction entre l'usage de la technologie dans des chaînes de valeur et la réunion en un même endroit de constituants initiaux (besoins non satisfaits, solutions technologiques potentielles) liés avec une plus grande connaissance du paradigme. Au début des années 2000, Michelin s'intéresse à la fabrication additive pour des pièces de moules utilisées dans la production de pneus. Comme nous l'a raconté un interviewé.

⁴² <https://www.usinenouvelle.com/article/conception-le-prototypage-rapide-s-attaque-a-l-outillage.N86410>

« Donc le service qui est à l'intérieur de Michelin fait ces produits, du coup est amené en permanence à chercher des procédés qui permettent de s'adapter aux évolutions de formes [pour améliorer la performance des pneus]. Et là, je sais qu'ils ont testé la microfonderie, ils ont testé un tas de choses, et le seul procédé qui a été capable de leur donner des formes sophistiquées et avec une bonne qualité, y compris l'état de surface, mécanique, etcetera, c'était la fabrication additive métal. (...) Ça c'est la phase, on peut dire, préhistorique. Ensuite, ils ont donc acheté des machines. »

On voit ici qu'à nouveau, un besoin fonctionnel rencontre une technologie existante, d'où naît l'identification d'une opportunité. Ensuite, l'entreprise passe par le marché pour acheter des machines. Comme l'illustre l'extrait ci-dessous, un choix se pose alors entre créer des relations clients-fournisseurs ou intégrer les compétences en interne (dans la logique du chapitre 6). Comme le montre l'extrait d'une interview donnée au *Journal de l'Ecole de Paris du Management* par un ancien cadre dirigeant de Michelin, la situation donne finalement lieu à une intégration des compétences technologiques.

« Les ingénieurs de Michelin ont d'abord essayé de coopérer avec un fabricant situé dans le Puy-de-Dôme. Le résultat n'ayant pas été concluant et l'entreprise en question ayant été cédée à des Américains, ils ont décidé de tout faire en interne. Pour cela, ils ont constitué une équipe multidisciplinaire comprenant des scientifiques, des métallurgistes, des spécialistes de l'interaction laser-matière, des techniciens de machines, des experts de l'optimisation des pièces, des programmeurs, etc. Le résultat est assez spectaculaire : quinze ans plus tard, le groupe Michelin a conçu sa propre machine dans un domaine qui n'a rien à voir avec son cœur de métier, la fabrication additive métallique. » (Bernard, 2018). Afin de continuer à développer et de valoriser un savoir-faire technologique développé en interne, Michelin s'associe avec le groupe industriel Fives, spécialiste de la machine-outil, en septembre 2015, pour créer AddUp, dont l'objectif est alors de développer et de vendre des machines de FA dans divers secteurs (Bernard, 2018).

L'extrait ci-dessus illustre comment l'utilisation de la fabrication additive dans la chaîne de valeur reconfigurée de Michelin conduit à identifier de nouveaux couples besoin fonctionnel/solution technologique, qui se matérialisent dans des opportunités commerciales. Ici, Michelin n'ayant pas la compétence pour développer la machine,

l'entreprise s'associe avec Fives selon la logique d'alliances dyadiques décrite dans le troisième article de cette thèse au chapitre 8.

Alors que les applications dans des secteurs précis se multiplient, la technologie fait de plus en plus parler d'elle entre 2013 et 2015, comme illustré dans la partie 2.2.1 de la thèse sur le « buzz » technologique. Elle donne lieu à des réflexions prospectives pouvant apparaître très ambitieuses, et susciter des intérêts. Face à ces nombreux développements d'applications et à cet engouement se crée une initiative collective rassemblant de nombreux acteurs intéressés par les opportunités ouvertes par le développement de la fabrication additive, comme décrit dans le second article de la thèse au chapitre 7. Des industriels, des fédérations professionnelles, des centres de technologies de R&D, et des agences gouvernementales sont impliqués. En France, cette initiative débute début 2016 et se rassemble sous l'égide de l'Alliance Industrie du futur. Nombre des acteurs ayant déjà développé des technologies et des utilisations de la fabrication additive sont au cœur de cette groupement. Les réflexions collectives menées donnent lieu à l'écriture et la publication d'une feuille de route collective ainsi qu'à divers projets. L'objectif de l'alliance multipartenaire est de favoriser le développement d'un écosystème national elle vise notamment à « promouvoir la R&D »⁴³ et à « faire rencontrer l'offre et la demande »⁴⁴, et sert aux acteurs à repérer et à créer les opportunités qu'offre la fabrication additive.

Cette séquence illustre une influence réciproque entre le développement de la connaissance du paradigme (et donc la compréhension par un plus grand nombre d'acteurs des associations possibles entre les besoins et les solutions technologiques pouvant y répondre), et le développement d'alliances multipartenaires. En effet, ces dernières se développent sous l'influence de la prise de conscience par un nombre croissant d'acteurs de la possibilité de répondre à des besoins fonctionnels divers, via des procédés de fabrication additive. En retour, au travers de ces alliances multipartenaires, les acteurs nourrissent leur connaissance de la technologie, des applications, et des acteurs compétents. Cela alimente leur capacité à identifier des couples besoin fonctionnel/technologie (la connaissance du paradigme) et des

⁴³ Feuille de route Fabrication additive – Alliance Industrie du Futur, décembre 2016.

⁴⁴ *Ibid.*

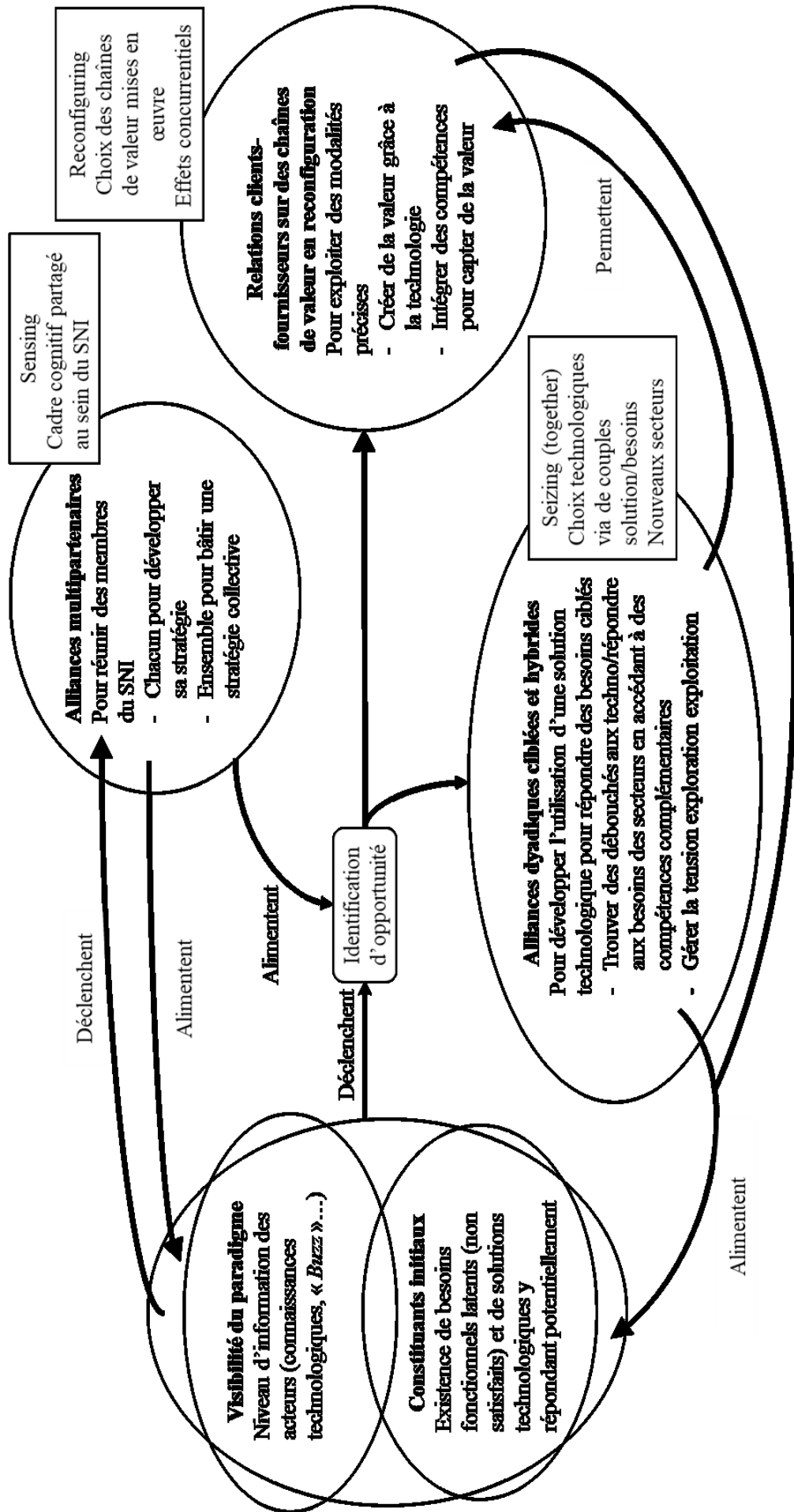
opportunités de marché ou d'utilisation de la technologie en interne. Ce qui réalimente le processus.

Cette narration interprétative inter-cas nous permet donc d'éclairer les interactions entre différents types de relations inter-firmes. Nous voyons que leur processus d'émergence n'est pas linéaire mais fait d'itérations entre identifications de couples besoin/solution technologique, mises en œuvre via des chaînes de valeur et/ou des alliances dyadiques, ainsi que d'un mécanisme d'alimentation réciproque entre la connaissance du paradigme et les alliances multipartenaires.

Nous proposons dans la figure 15 à la page suivante une synthèse visuelle de ce processus. Celle-ci suggère un modèle de processus d'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel au travers des relations inter-firmes mises en œuvre.

Dans la sous-section suivante (9.2.4), nous inversons la perspective et discutons du rôle des différents types de relations inter-firmes dans le processus d'évolution technologique à travers l'exploration du nouveau paradigme, les principaux éléments de cette sous-section sont visibles dans la figure 15.

Figure 15 : Processus d'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel



9.2.4. Influence des relations inter-firmes sur les technologies : éléments d'une approche relationnelle de l'évolution technologique

Nous avons identifié différents types de relations inter-firmes émergeant en lien avec l'étendue de la palette des modalités et les niveaux de maturité de l'exploitation de la FA, mis en évidence les objectifs et problématiques des acteurs dans différents arrangements organisationnels, et proposé un processus d'enchaînement des différents types de relations inter-firmes. Comme nous l'avons vu, ces relations ont pour objectifs la réflexion, le développement, et le déploiement de nouvelles technologies. Dès lors, ces relations peuvent influencer l'évolution des technologies. C'est cette influence que nous souhaitons discuter dans cette sous-section. Cette dernière propose ainsi des éléments de réponse au second volet de notre problématique sur les effets des relations inter-firmes mises en œuvre pour l'exploration d'un paradigme techno-industriel.

Pour y répondre, nous nous plaçons dans une perspective de pensée en lien avec les recherches sur les facteurs influençant l'évolution technologique, telle que présentée au chapitre 3, dans la revue de littérature. Ainsi, nous partons du niveau d'analyse des relations inter-firmes pour comprendre leur rôle dans le processus d'évolution technologique, qui se conçoit à un niveau d'analyse macro. Nous discutons ici les articles dans l'ordre tel que présenté dans la thèse, ce qui – comme l'illustre la partie précédente – n'implique pas que les mécanismes présentés s'enchaînent dans un ordre chronologique.

Dans le premier article, la technologie de fabrication numérique de prothèses dentaires est la plus performante sur de nombreux critères, bien que l'ancienne technologie (le procédé manuel) demeure préférée par certains prothésistes. La fabrication numérique est en train de se substituer à l'ancienne méthode manuelle, mais il demeure une concurrence entre la nouvelle et l'ancienne technologie. Comme le montre l'article, plusieurs chaînes de valeur coexistent pour la fabrication numérique. On observe par exemple que certains dentistes adoptent la fabrication locale (cas 4 et 5) alors que dans d'autres chaînes de valeur, c'est le prothésiste qui porte le passage à la fabrication numérique en l'internalisant (cas 3) ou en l'externalisant (cas 2). Ces différentes chaînes de valeurs matérialisent le choix fait par différents acteurs entre différentes fonctions pour lesquelles est utilisée la technologie. Ainsi, en plus de la concurrence entre la nouvelle et l'ancienne technologie, les différents types d'usage de la nouvelle technologie sont également en concurrence entre eux. Cette situation de concurrence entre l'ancienne technologie et plusieurs fonctions possibles de la nouvelle technologie correspond à la phase

de foisonnement qui suit une rupture technologique. Ce foisonnement se matérialise sous la forme de différentes chaînes de valeur.

Ainsi, les différents choix technologiques sont faits non seulement au niveau organisationnel, mais également au travers des interactions entre acteurs et des dynamiques induites par ces choix au niveau des chaînes de valeur. Par exemple, une offre technologique des *manufacturers* relève d'un choix *ex-ante* sur la technologie, mais le choix de cette technologie se fait aussi *ex-post* par les choix des clients (dentiste et/ou prothésiste) entre différentes fonctions dont ils bénéficieront grâce à cette technologie (par exemple, le dentiste peut décider de fabriquer ou non localement). La chaîne de valeur correspondant au cas 5 (sous-section 6.4.3) montre que le *manufacturer* ajuste son offre en y ajoutant des services complémentaires pour s'adapter aux contraintes de ses clients dans l'adoption de la fabrication numérique. Le choix de la technologie et de son application se construit donc dans les interactions client-fournisseur.

Le phénomène de désintermédiation observé dans l'article montre que l'innovation radicale de la fabrication numérique dans le secteur de la production de prothèses dentaires bouscule les positions concurrentielles des producteurs installés (les prothésistes). Comme nous l'avons mentionné plus haut, ce type de phénomène est bien connu dans la littérature en management stratégique sur le changement technologique. Un des résultats de cette littérature est que les ruptures technologiques introduites par des nouveaux entrants détruisent généralement les compétences des entreprises établies, alors qu'elles les renforcent lorsqu'elles sont introduites par les acteurs installés (Tushman et Anderson, 1986).

Néanmoins, dans le secteur étudié, les producteurs installés demeurent souvent essentiels dans la chaîne de valeur. Si leurs compétences peuvent être absorbées par le dentiste (cas 4) ou le dentiste et le *manufacturer* (cas 5), ils conservent une position importante dans les cas (2 et 3) dans lesquels la fabrication n'est pas faite localement. Le fait que leur position concurrentielle perdure provient du fait que la plupart des *manufacturers* (excepté celui du cas 5) n'intègrent ni la dimension artisanale qui demeure souvent nécessaire dans la production ni la gestion de la relation et du portefeuille de clients (les dentistes), car ces derniers sont nombreux et ont besoin de partenaires ayant une expertise en dentisterie. Ces compétences relèvent du savoir-faire (souvent individuel) des prothésistes, et semblent ainsi théoriquement possibles à intégrer. Une telle intégration pourrait passer par le recrutement d'individus compétents ou le rachat des petites structures détenant le savoir-faire nécessaire –aucune de ces deux ressources potentielles n'étant particulièrement rare. Néanmoins, les *manufacturers* n'intègrent pas la fonction du prothésiste. Comme le montre le premier article, ces activités de personnalisation

« traditionnelles » (artisanat et avec une relation client de proximité) ne conviennent pas à l'organisation largement automatisée des *manufacturers*. Par ailleurs, les prothésistes ont un portefeuille de relations clients établi. Ici, des critères d'organisation et de relations clients semblent protéger la position des acteurs traditionnels face à une rupture technologique. La capacité à gérer les relations inter-firmes est ainsi au cœur de la façon dont est utilisée la nouvelle technologie et donc des possibilités concernant les nouvelles chaînes de valeur qui sont mises en œuvre. Ainsi, l'avantage de certains acteurs pour la prise en charge de la relation client peut impacter l'évolution technologique suite à une rupture technologique (ici des fonctions mises en œuvre grâce à la fabrication numérique).

Dans la phase de foisonnement observée suite à la rupture technologique de l'instauration de la fabrication numérique dans le secteur de la prothèse dentaire, les relations inter-firmes jouent sur l'effet concurrentiel de la rupture technologique, et permettent aux prothésistes de conserver une position stratégique. Cette proposition est cohérente avec l'idée selon laquelle une maîtrise des actifs clés en aval de la chaîne de valeur protège les entreprises en place face aux ruptures technologiques (Teece, 1986; Hill et Rothaermel, 2003).

L'analyse des alliances multipartenaires dans le second article montre que ces dispositifs permettent d'élaborer une réflexion stratégique collective. Cette réflexion stratégique relève de l'établissement d'un cadre technologique partagé, c'est-à-dire une compréhension partagée d'une technologie, de ses usages, et des attentes qui en découlent (Garud et Rappa, 1994; Kaplan et Tripsas, 2008; Augier et Teece, 2015). En effet, les stratégies collectives développées par les partenaires reposent sur le constat partagé de l'importance (stratégique) de la fabrication additive comme technologie ayant un potentiel de création de valeur et de transformation de nombreuses activités industrielles grâce aux fonctions (complexité, personnalisation...) pour lesquelles elle peut être utilisée. Sur la base de ce principe, les alliances multipartenaires proposent des voies d'action, qu'elles matérialisent dans un document « feuille de route » ou « strategy » pour rendre plus performante l'industrie nationale en développant les compétences nécessaires en fabrication additive. Ces voies d'action collectivement suggérées illustrent la compréhension partagée que se sont construite les acteurs des attentes générées par la technologie. Les activités des alliances multipartenaires illustrent un moyen de construction d'un cadre technologique partagé.

Comme nous l'avons montré, les alliances multipartenaires contribuent à générer des actions mises en œuvre à travers des sous-groupes. Elles participent aussi de la création de communautés autour d'une nouvelle technologie. Les alliances multipartenaires étudiées sont

également encadrées dans les systèmes nationaux d'innovation (Freeman, 1987; Nelson, 1993). Ainsi, en plus de créer un cadre technologique partagé, les relations inter-firmes étudiées sont un moyen d'installer une technologie au sein d'un système national d'innovation. Si de nombreux acteurs de ce SNI ont pris des initiatives avant l'émergence des alliances multipartenaires (projets de recherche soutenus par les pouvoirs publics, développements de nouvelles entreprises, réflexions et/ou mises en œuvre de la technologie en interne...), la réunion d'acteurs intéressés par la nouvelle technologie semble institutionnaliser l'importance du sujet au sein du SNI et auprès des organisations qui y jouent un rôle, notamment les pouvoirs publics. Geels (2002) suggère que les processus de transition (technologique) consistent notamment dans le passage de technologie d'un usage « de niche » à une inclusion dans le régime sociotechnique, c'est-à-dire parmi les groupes d'acteurs agissant sur une technologie. Les alliances multipartenaires apparaissent comme jouant ce rôle d'institutionnalisation de la fabrication additive au sein des régimes sociotechniques liés aux industries concernées.

Au regard du cycle technologique, le type de relations inter-firmes étudiées dans le second article prend place dans une phase d'émergence qui correspond à la période de foisonnement des expérimentations autour des nouvelles technologies. Dans ce contexte, les alliances multipartenaires agissent comme un lieu de réflexion collective entre les nombreux acteurs porteurs de ces initiatives. Nous avons montré que le caractère divers des alliances multipartenaires impliquait un mode de fonctionnement par consensus (au moins apparent). Une conséquence de ce mode de fonctionnement est que les alliances multipartenaires traitent de sujets qui ne relèvent pas d'une potentielle concurrence entre les acteurs. Les choix technologiques ont par nature un caractère hautement concurrentiel pour les entreprises vendant par exemple des machines. Ainsi, tout comme la nature ouverte et diverse des alliances multipartenaires étudiées n'est pas adaptée à la mise en œuvre d'actions concrètes, elle ne semble pas être le type de relations inter-firmes par lesquelles passent les choix technologiques.

Les alliances dyadiques étudiées dans le troisième article sont, contrairement aux alliances multipartenaires, le lieu de choix technologiques. Dans la période de foisonnement qui suit une rupture technologique, des directions diverses sont empruntées (correspondant à des choix technologiques) par différents acteurs. Les alliances dyadiques observées sont des exemples de ces tentatives dans la période de foisonnement.

La littérature sur l'évolution technologique met en avant l'importance de deux types de choix dans l'évolution technologique. D'abord, les acteurs font des choix *ex-ante* au moment de développer la technologie, ensuite, la phase d'usage et de commercialisation de la technologie

implique la mise en concurrence des options technologiques, dont certaines seront retenues et d'autres non (Dosi et Nelson, 2010). Par l'association d'une compétence technologique et d'une compétence « métier » d'utilisateurs (ou permettant de se rapprocher des utilisateurs) et leur caractère hybride, les alliances dyadiques étudiées sont au cœur des choix *ex-ante* et *ex-post* sur les directions technologiques prises par les acteurs. Dans ces alliances, un partenaire a développé une compétence en fabrication additive, ce qui implique déjà un certain nombre de choix *ex-ante*. Les efforts de développement communs (repérage des besoins et développements technologiques associés) impliquent des choix qu'on peut qualifier d'*ex-ante* mais dans lesquels des préférences des utilisateurs sont déjà représentées grâce à la présence du partenaire étant lui-même utilisateur (ou proche de l'utilisateur). Finalement, lorsque ces alliances vont jusqu'à l'exploitation via l'industrialisation et/ou la commercialisation (de machines de FA ou de pièces produites en FA), cette mise sur le marché permet la sélection *ex-post* d'options technologiques par des clients et/ou des utilisateurs internes. A ce stade, la mise sur le marché implique que les alliances s'insèrent dans des relations de type chaîne de valeur, proches de celles étudiées dans le premier article. Ces activités des alliances dyadiques du type de celles étudiées dans le troisième article leur donnent un rôle clé dans le processus de sélection d'une technologie.

Par ailleurs, ces alliances peuvent également être comprises comme jouant un rôle dans le processus de transition multi-niveaux modélisé par Geels (2002). Ce processus de transition est proche de l'évolution de ce que Christensen (2008) qualifie de *disruptive technology* (voir sous-section 3.4.3), c'est-à-dire une technologie qui se développe d'abord sur des marchés de niche aux critères de performances particuliers avant d'avoir suffisamment mûri pour être suffisamment performante sur les critères usuels et être concurrentielle sur des marchés plus larges. Le passage de la fabrication additive de marchés de niche (par exemple le prototypage) vers des marchés plus larges (l'aéronautique) correspond à ces types de processus de développement. En effet, pour les spécialistes technologiques, ces alliances sont le moyen de rapprocher leur compétence technologique des besoins de secteurs utilisateurs (ou potentiels utilisateurs) auprès desquels leur offre n'est pas développée. Dans les cas où l'usage des technologies des spécialistes est déjà développé dans un ou des secteur(s) et que l'alliance a pour objectif de la développer dans un autre secteur où elle est moins développée (cas A, C, et D), ce type d'alliance permet ainsi de faire sortir la fabrication additive des marchés où elle se trouve (des niches) pour aller vers d'autres marchés et ainsi s'installer plus largement au sein du paysage sociotechnique.

Si ces alliances dyadiques sont le lieu de choix technologiques, elles n'apparaissent pas comme les lieux au sein desquels se jouent les conséquences concurrentielles des ruptures technologiques pour les nouveaux entrants. Les ruptures technologiques bousculent en effet souvent les positions concurrentielles des entreprises installées (Tushman et Anderson, 1986; Durand, 1992; Hill et Rothaermel, 2003; Christensen, 2008; Cozzolino *et al.*, 2018) ; notre premier article donne à voir ces effets concurrentiels des ruptures technologiques.

Dans cette section, nous avons discuté de l'influence des relations inter-firmes dans l'évolution technologique en nous fondant sur les développements théoriques à propos de l'évolution technologique présentés au chapitre 3. En synthèse de cette discussion, il apparaît trois types d'influences dans les trois articles. Dans le premier article, les relations inter-firmes sous forme de chaîne de valeur sont également le lieu de choix technologiques au travers des relations clients-fournisseurs. Par ailleurs, ces chaînes de valeur permettent d'observer les effets concurrentiels d'un changement de paradigme techno-industriel au moment où son usage se diffuse. Cet article permet de voir comment les compétences des différents acteurs dans les relations clients-fournisseurs influencent les trajectoires technologiques au travers des chaînes de valeur dans lesquelles elles sont utilisées. Dans le second article, les alliances multipartenaires conduisent à l'émergence d'un cadre technologique partagé et à l'institutionnalisation d'une nouvelle technologie, au sens de la FA, au sein du système national d'innovation et du régime sociotechnique en vigueur. Finalement, dans le troisième article, les alliances dyadiques sont le lieu d'expérimentations et un vecteur de choix technologique et de choix de cibles d'application *ex-ante* et *ex-post*. Elles jouent ainsi un rôle clé dans le processus de sélection des options technologiques, tout en attribuant un rôle clé aux applications. Ces alliances dyadiques permettent également de faire évoluer la technologie de marchés de niche vers des nouveaux marchés plus larges. En cela, les relations inter-firmes observées influencent la trajectoire d'évolution technologique.

Si les types de relations inter-firmes correspondent à des étapes du cycle technologique, le processus décrit dans la sous-section précédente 9.2.3 montre que leur émergence ne suit pas dans un processus dans lequel s'enchaîneraient les relations correspondant à différentes étapes se suivant chronologiquement dans la vision évolutionniste du changement technologique (foisonnement puis choix technologiques) (Tushman et Anderson, 1986; Anderson et Tushman, 1990; Tushman et Rosenkopf, 1992; Dosi et Nelson, 2010). Au contraire, l'approche par les relations inter-firmes montre que ces différentes étapes sont entremêlées, dans un cycle d'itérations au travers duquel se développe le paradigme techno-industriel.

Les points clés de ces éléments de discussion sont présentés dans le schéma de synthèse en figure 15.

10. Contributions, limites, et pistes pour des recherches futures

10.1. Contributions théoriques

Cette thèse propose plusieurs contributions théoriques. D'une part, chacun des articles contribue à la littérature dans laquelle il s'inscrit. D'autre part, le cadre intégrateur présenté dans la discussion propose une contribution en se fondant sur une analyse conjointe des observations des différents articles.

Le travail conduit a porté sur une révolution technologique qui s'accompagne d'une possible révolution industrielle du fait de ses implications sur les « supply-chains ». La fabrication additive affecte les processus dans l'atelier au sein de l'usine, mais aussi dans la localisation spatiale des activités de conception et de production, remettant potentiellement en cause les économies d'échelle liées à de grands centres de production à partir desquels les chaînes logistiques acheminent les produits vers les utilisateurs. Avec la FA, la structure même d'un secteur industriel pourrait potentiellement être réorganisée pour devenir plus distribuée.

En ce sens le travail présenté élargit le concept de paradigme technologique de Dosi (1982) à celui de paradigme techno-industriel.

La contribution du premier article consiste en l'illustration des avantages opérationnels de la fabrication numérique et de ses effets concurrentiels. Cette illustration contribue à la littérature (en plein développement) sur les enjeux stratégiques et organisationnels de la fabrication additive (section 2.3) en donnant à voir une mise en œuvre sectorielle concrète des fonctions de personnalisation et de fabrication locale. Par ailleurs, nous analysons les mécanismes conduisant à la désintermédiation dans ce contexte de numérisation de la fabrication en identifiant l'importance du contrôle et de l'intégration des différentes compétences complémentaires. Cette analyse permet de comprendre l'articulation des variables opérationnelles et des variables stratégiques (capacité à intégrer des compétences complémentaires) dans la reconfiguration déclenchée par la fabrication numérique.

La contribution du second article consiste en la proposition d'un modèle de pratiques relationnelles dans les alliances multipartenaires. Sur la base des observations faites dans les

deux cas, le modèle met en lumière cinq pratiques relationnelles spécifiques et leur cycle d'évolution. Ce faisant, l'article contribue à la littérature sur les pratiques relationnelles dans les alliances en complétant les travaux sur les alliances dyadiques (e.g. Ness, 2009; Majchrzak, Jarvenpaa, et Bagherzadeh, 2015) par une observation du fonctionnement des alliances multipartenaires. Par ailleurs, cette approche contribue à la littérature sur les alliances multipartenaires (e.g. Zeng et Chen, 2003; Albers, Schweiger, et Gibb, 2015) en suggérant un modèle de processus d'évolution des pratiques relationnelles dans ces arrangements organisationnels au fonctionnement complexe, et en soulignant les avantages (tels que la construction d'un cadre partagé) et les limites (la difficulté de mettre en œuvre des actions concrètes).

La contribution du troisième article réside dans la mise en lumière des éléments concernant la gestion de la tension exploration-exploitation (ambidextrie) au sein des alliances dyadiques. Cette contribution complète les approches concluant à une ambidextrie structurelle (dans lesquelles exploration et exploitation sont mises en œuvre par différentes structures) (Lavie et Rosenkopf, 2006) ou à une ambidextrie temporelle (dans lesquelles exploration et exploitation sont séparées dans le temps) (Rothaermel et Deeds, 2004). Nous soulignons l'importance des alliances hybrides, ainsi que des dimensions essentielles de leur gestion, face à un changement technologique majeur.

Au-delà des trois articles, notre cadre intégrateur contribue à la littérature en management stratégique en proposant des éléments d'un cadre conceptuel des relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. Nous suggérons que les types de relations inter-firmes adaptées pour tirer profit du nouveau paradigme évoluent avec la diversité de la palette des modalités, et le degré de maturité de l'exploitation dans ces relations (tableau 12). Ce cadre permet également de comprendre les logiques, les objectifs, les problématiques, et les résultats des différents types de relations inter-firmes observées (tableau 13). Finalement, la synthèse visuelle proposée figure 15 et développé dans la section 9.2.3 intègre les différents types de relations inter-firmes observées dans un processus d'évolution itératif. Elle raccorde également ces relations au rôle qu'elles jouent au sein des mécanismes complexes de l'évolution technologique (section 9.2.4).

Le travail conduit a ainsi permis de faire émerger une vision d'ensemble des dynamiques à l'œuvre quand une révolution technologique survient, avec un changement de paradigme techno-industriel. Le cadre théorique des capacités dynamiques, avec le triptyque « sensing-seizing-reconfiguring » (Teece, 2007), décrit bien les étapes par lesquelles un acteur est amené

à passer pour espérer tirer parti des opportunités portées par une révolution technologique. Mais ce cadre ne s'inscrit guère dans un cadre plus large de compréhension de la façon dont différentes boucles sont à l'œuvre et s'entremêlent pour construire des trajectoires d'exploration et d'exploitation du nouveau paradigme techno-industriel. Une multitude de quêtes d'applications de solutions technologiques nouvelles à des besoins latents dans différents secteurs sont lancées en parallèle, s'entrecroisent et se renforcent mutuellement, tout en restant spécifiques, c'est-à-dire sans pour autant relever des mêmes besoins ni des mêmes solutions technologiques.

C'est ce que donne à voir notre travail et qu'illustre le schéma de la figure 15.

Dans cette nouvelle représentation théorique,

- si la boucle MPA correspond bien à une logique de « sensing » (les acteurs viennent flairer, s'informer, apprendre, repérer les compétences qui leur seront nécessaires et qui leur manquent, repérer des partenaires potentiels « en complémentarité », voire espèrent trouver un peu de financement public dans ces MPA),

- si la boucle des alliances dyadiques hybrides s'inscrit dans la logique du « seizing », (les acteurs tentent de passer à l'acte sur leurs propres enjeux, avec leur propre stratégie, en recourant soit à un partenaire technologique de la FA, soit à un partenaire « métier » qui veut appliquer la FA : la difficulté principale de cette boucle survient lors du basculement d'une logique d'exploration à une logique d'exploitation, complétée par une poursuite de l'exploration elle-même confortée par le démarrage de l'exploitation),

- si la boucle de la transformation des chaînes de valeur participe bien du « reconfiguring » (les acteurs sont passés à l'acte et la bagarre concurrentielle a démarré sur le terrain de l'exploitation. Les chaînes de valeur peuvent être reconfigurées avec de la désintermédiation et de nouvelles intermédiations) ...

... il est néanmoins important de noter que cette méta-vision du « sensing-seizing-transforming » n'est pas exactement celle des capacités dynamiques. Car ces dernières s'appliquent à chacun des acteurs qui tente de tirer parti du nouveau paradigme, en l'explorant selon son propre agenda, alors que la représentation que nous donnons à voir est plus globale en ce qu'elle résulte des actions entrecroisées et combinées des acteurs dans leur ensemble. Ainsi, le reconfiguring (ou transforming) au sens des DCs décrit une reconfiguration du portefeuille des compétences

organisationnelles d'un acteur, alors que le reconfiguring (ou transforming) décrit ici des reconfigurations de chaîne de valeur.

Notre contribution vient se situer entre le cadrage d'ensemble de Dosi (1982) (qui décrit comment des trajectoires technologiques sont constituées par l'exploration du nouveau paradigme) et la description plus fine de Teece (2007), qui décrit, au niveau de chaque acteur, la séquence suivie, l'enjeu des compétences complémentaires à mobiliser, et les capacités dynamiques pour sortir des rails de l'enfermement dans les compétences accumulées jusque-là.

La littérature postulait que les trajectoires technologiques suivies dans l'exploration d'un paradigme résultent des choix des acteurs parties prenantes à cette exploration tout autant sinon plus que de la dynamique propre des technologies. Pourtant cette même littérature ne détaillait guère comment s'opère cette interaction à double sens. Notre contribution comble ce gap dans la littérature en donnant à voir comment les actions des acteurs s'entrecroisent à différents niveaux, sur différents besoins, en mobilisant différentes sous-technologies du nouveau paradigme, façonnant ainsi, au milieu de ce foisonnement, une trajectoire techno-industrielle à un méta-niveau.

En outre, dans cette représentation, chaque acteur peut être amené à entrer dans la danse à son heure, avec son propre tempo, en étant attiré qui par un besoin criant conduisant à trouver une solution grâce à un fournisseur (cas des prothèses dentaires), qui par un partenariat ciblé sur un secteur ou une application détectée (alliances dyadiques hybrides), qui via l'effet d'attraction déclenchée par une initiative collective accompagnée par la puissance publique et des fédérations professionnelles (MPA), elle-même stimulée par le « buzz » qui a créé un effet de prise de conscience de ce que « quelque chose est en train d'émerger ».

En plus de ces contributions théoriques, ce travail de thèse propose une contribution empirique que nous soulignons dans la section suivante.

10.2. Contribution empirique

Le point de départ de ce travail de thèse est un intérêt pour le phénomène technologique de la fabrication additive et ses enjeux stratégico-économiques. Comme nous l'avons montré section 2.1, ce thème a donné lieu à un grand nombre de publications (académiques ou non). Un bon nombre de ces publications s'est concentré sur les effets attendus du développement de la fabrication additive. Cet angle a été largement parcouru et différents futurs possibles ont été décrits. Néanmoins, ces travaux présupposent des progrès technologiques importants,

notamment en termes de possibilités de fabrication, de coût, et sur différentes contraintes opérationnelles.

Bien qu'intellectuellement stimulantes et potentiellement utiles à la réflexion stratégique, le présumé de ces travaux à propos du développement de la fabrication additive laisse inobservé et impensé la trajectoire de développement de la fabrication additive. (Reconnaissons toutefois que ces anticipations ont de fait contribué à attirer l'attention des entreprises de différents secteurs (et des pouvoirs publics) sur la FA et ont ainsi alimenté la dynamique d'ensemble d'exploration du nouveau paradigme, comme l'illustre la partie basse de la boucle gauche de la figure 15). En donnant à voir les arrangements organisationnels à l'œuvre dans ce processus de développement, cette thèse contribue à combler le manque d'observation empirique sur ce sujet majeur.

Les articles de cette thèse proposent des immersions dans les processus concrets de développement de la fabrication additive, à différents stades d'évolution et niveaux de définition de la technologie. Ces approches sont autant d'éclairages sur la transformation en cours. Au sein des réflexions sur l'émergence de la fabrication additive (section 2.3), ces éclairages nous semblent complémentaires de l'approche par les conséquences (et bien sûr d'une approche technico-scientifique) pour comprendre la transformation techno-industrielle à l'œuvre. Ici, notre contribution est proche des travaux sur les changements organisationnels mis en œuvre avec l'adoption de la fabrication additive (2.3.3).

10.3. Contribution managériale

Cette thèse peut être utile pour les managers à plusieurs titres. Tout particulièrement, pour les managers d'entreprises portant un intérêt à la fabrication additive, cette thèse donne à voir des développements récents autour de cette nouvelle technologie. Mais, pour d'autres cas de révolution techno-industrielle, la compréhension proposée des mécanismes d'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel est de nature à équiper des managers d'une vision d'ensemble pour les aider à comprendre à quel stade et par quelles boucles ils entendent entrer dans la danse de l'exploration du paradigme, par quels moyens ils escomptent doter leur entreprise de quelles compétences complémentaires qui leur font défaut, en particulier par quel jeu de relations inter-firmes et avec quels objectifs, et à quelles reconfigurations éventuelles des chaînes de valeur il leur faut envisager de se préparer.

Pour les managers intéressés par la FA, nous proposons dans les deux premiers chapitres une présentation générale du phénomène de la fabrication additive. L'effort de pédagogie fait dans ces chapitres nous semble pouvoir servir à des managers souhaitant développer une première compréhension du phénomène. Cet effort nous semble d'autant plus utile que l'engouement généré par la fabrication additive ces dernières années a donné lieu à des développements qui, excessivement visionnaires, peuvent donner une image trompeuse de la réalité de ce qu'est aujourd'hui la fabrication additive.

Par ailleurs, au-delà du cas de la FA, la présentation de développements théoriques autour des problématiques du management stratégique des nouvelles technologies peut fournir des pistes de réflexion pour les managers. Si les développements de ce chapitre (4) reprennent des éléments déjà développés dans la littérature, la synthèse réalisée autour des thèmes des compétences, des capacités dynamiques, et des relations inter-firmes peut servir de résumé sur ces questions

Si les articles se concentrent sur des situations relativement précises, ils peuvent offrir des éléments structurants pour réfléchir à la façon de gérer l'adaptation à ce changement technologique, et plus largement les relations inter-firmes en situation de changement de paradigme techno-industriel.

Au-delà du secteur de la prothèse dentaire, le premier article permet, pour des producteurs, d'identifier les risques de désintermédiation consécutive à l'adoption de la fabrication additive/numérique dans un secteur d'activité, ainsi que des leviers pour adapter leurs compétences pour éviter cette désintermédiation face à un changement technologique important. Le second article montre comment fonctionne une alliance multipartenaire dédiée à la réflexion stratégique, et permet d'en identifier les limites. Finalement, le troisième article permet de comprendre un type d'alliance entre un spécialiste technologique et une entreprise plus proche des marchés pouvant être mis en œuvre face à un changement de paradigme techno-industriel.

Enfin et plus fondamentalement, le cadre intégrateur proposé dans la discussion offre aux managers une vision intégrée et synthétique des objectifs, problématiques, solutions de gestion, et résultats de différents types de relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. Ce cadre offre également aux managers une indication sur le type de relations inter-firmes adaptées aux différentes situations technologiques et aux besoins associés.

10.4. Limites

Comme tout travail de recherche, cette thèse comporte certaines limites.

Une première limite est inhérente à l'approche compréhensive et à la démarche qualitative que nous avons adoptée. En effet cette approche, qui consiste à donner à voir et à théoriser des mécanismes, ne peut servir à élaborer des lois générales. Cette approche limite donc la validité externe de nos résultats : on ne peut généraliser les résultats de notre recherche à d'autres contextes.

Parmi les éléments saillants de notre contexte qui limitent la généralisation se trouve en premier lieu la nature du changement de paradigme techno-industriel étudié. En effet, s'il existe différentes évolutions technologiques que l'on peut qualifier de paradigmes technologiques, chacun de ces changements paradigmatiques a ses spécificités qui le rendent unique, par exemple la tâche générale qu'ils permettent d'accomplir (ou le problème général qu'ils permettent de résoudre). Le paradigme de la fabrication additive transforme la façon dont on accomplit la tâche générale de la fabrication (et donc ce que l'on fabrique). D'autres paradigmes technologiques permettent de traiter d'autres tâches : les matériaux électroniques semi-conducteurs ont permis de changer la façon dont on traite l'information en permettant l'informatique, et le moteur à explosion celle dont on se déplace en permettant l'automobile. La spécificité de la fabrication additive nous a conduit à la qualifier, dans la synthèse des 4 premiers chapitres, de paradigme techno-industriel. La différence fondamentale concernant le problème qu'ils résolvent apparaît comme une limite potentielle à la généralisation de nos résultats à d'autres paradigmes technologiques.

Parmi les éléments contextuels figure également le fait qu'à l'exception du cas de l'alliance multipartenaire anglaise dans le second article, nos recherches se concentrent sur la transformation telle qu'elle a lieu en France.

D'autres contextes d'entreprises peuvent donner lieu à des stratégies différentes de celles que nous avons observées. Par exemple, aux Etats-Unis, *General Electric* s'est lancé dans la fabrication additive via une politique de croissance externe qui a donné lieu à des investissements de plus de 1.3 milliards de dollars en acquisition⁴⁵, et une politique de R&D interne en investissant près de 1.5 milliards de dollars dans son centre de recherche et

⁴⁵<https://www.3dnatives.com/general-electric-impression-3d-030520173/> (consulté le 25/03/2019)

développement interne⁴⁶. Ainsi, les stratégies d'alliances que nous identifions comme essentielles pour construire des compétences ne sont pas les seules, et un contexte de ressources financières plus abondantes ainsi que des choix stratégiques donnant plus de place à la fabrication additive semblent conduire à une moindre importance des stratégies d'alliances pour le développement des compétences.

En dehors des questions de généralisation, on peut aussi noter que notre travail ne traite pas d'un certain nombre de thèmes qu'il eût été intéressant d'intégrer dans la réflexion. Dans le cadre d'une recherche en management stratégique, intégrer une réflexion plus poussée sur la performance des dispositifs étudiés apparaîtrait souhaitable. Par ailleurs, la réflexion sur l'évolution des technologies gagnerait à être complétée par une observation plus poussée sur l'évolution des entreprises, des procédés, et des usages de la fabrication additive. Sur ces deux aspects, la durée d'une thèse rend l'observation difficile. L'évolution des technologies est un processus de long terme et une étude complète de ce sujet nécessite une approche longitudinale sur longue période. Ainsi, si notre dispositif de recherche nous permet d'étudier au plus près le développement « en train de se faire » d'un paradigme techno-industriel, il ne nous permet pas d'avoir le recul nécessaire pour observer les conséquences technologiques, ni d'ailleurs stratégiques, à long terme de cette émergence.

En dehors de ces limites d'ensemble, on peut souligner des limites concernant chacun des articles.

Le périmètre d'investigation du premier article, l'industrie des prothèses dentaires, se limite à l'industrie française. Le contexte national est structurant dans cette recherche, car l'industrie de la prothèse dentaire appartient au secteur médical lui-même influencé par le contexte et la législation nationale, notamment du fait des spécificités du financement des soins médicaux dans les différents pays. Par ailleurs, la structure du secteur en France, caractérisée par une majorité de cabinets dentaires et laboratoires de prothèses dentaires de petite taille, influence les capacités d'investissement des acteurs et donc l'adoption des nouveaux moyens de production. Comme nous l'avons dit, dans le second article, les alliances multipartenaires sont encadrées dans les systèmes nationaux d'innovation français et anglais. Ces contextes nous semblent exercer une influence forte sur les résultats des alliances multipartenaires étudiées. Comme nous l'indiquons dans la section méthodologie de l'article, même si ces contextes

⁴⁶<https://www.ge.com/additive/press-releases/ge-makes-significant-progress-investments-additive-equipment-companies> (consulté le 25/03/2019)

nationaux en termes de systèmes d'innovation sont assez comparables. Ces éléments contextuels limitent la généralisation de nos résultats.

Finalement, les observations de terrain du troisième article pourraient être approfondies. Si nous sommes attachés dans une première approche à interviewer un représentant de chaque partenaire de l'alliance, les contraintes d'accès au terrain ont limité la collecte de données à un entretien par partenaire dans chaque alliance. Malgré des entretiens approfondis qui nous ont permis d'identifier et de confirmer des sujets et des événements structurants dans le déroulement de ces alliances, interviewer d'autres acteurs du terrain permettrait sans doute de compléter notre compréhension des situations et des dynamiques à l'œuvre.

10.5. Pistes de recherche

Les analyses de cette thèse ainsi que ses limites ouvrent de nombreuses perspectives de recherche futures.

En premier lieu, à l'heure de conclure le travail ici présenté, nous souhaitons approfondir et enrichir notre réflexion sur l'évolution technologique en poursuivant nos observations et notre travail de terrain dans l'écosystème en développement de la fabrication additive.

Ce suivi pourrait passer par différentes voies. D'abord, l'étude de l'initiative française pour le second article sur les alliances multipartenaires nous a permis d'identifier deux projets pour le développement de la fabrication additive en France. Un projet collaboratif de recherche et développement lancé à la suite des travaux de l'Alliance Industrie du Futur en 2017 et nommé *Additive Factory Hub* est une initiative structurante de ce développement et nous souhaitons l'étudier. Un second projet nommé *3D start PME* vise à accompagner des PME dans leur réflexion sur l'adoption de la fabrication additive. Ce projet a débuté en 2018, et nous semble également être un objet de recherche intéressant. Une seconde voie est de continuer à suivre les alliances dyadiques que nous décrivons dans le troisième article. Ce suivi implique à la fois d'observer leur évolution dans le temps et également, à ce stade, d'approfondir leur étude en complétant la collecte de données par des interviews ou la collecte de documents secondaires.

Nous avons souvent abordé ces opportunités d'approfondissement avec les acteurs de terrain que nous avons pu rencontrer durant notre travail de thèse, et avec qui nous avons pu échanger autour d'un intérêt commun (avec des desseins différents) pour l'objet fabrication additive. Ces premières rencontres offrent des opportunités d'accès à ces terrains de recherche pour l'avenir.

Si l'étude de ces projets nous intéresse « en elle-même », notre volonté de les analyser vient aussi d'un souhait de les articuler avec les situations étudiées dans cette thèse, pour penser leur place dans le développement d'un écosystème autour d'un nouveau paradigme techno-industriel.

Avec ces pistes de recherche se dessine un projet d'ensemble qui s'inscrit dans la continuité de ce travail de thèse. Notre projet est de compléter notre collecte de données et notre compréhension de l'émergence de l'écosystème de la fabrication additive en France. A terme, l'objectif serait de construire une compréhension maillant, le plus densément possible, l'ensemble de cet écosystème.

Un tel maillage impliquerait d'inclure dans l'analyse non seulement le niveau des relations inter-firmes mais également le niveau de l'entreprise et de ce qu'il s'y passe. En effet, si ce travail de thèse aboutit à la conclusion que le niveau des relations inter-firmes est essentiel pour comprendre le développement d'un paradigme techno-industriel, une compréhension la plus générale possible, telle que nous la dessinons, implique d'inclure le niveau d'analyse de l'entreprise. Ces questions ont été abordées durant nombre de nos entretiens, même si elles ne sont pas le cœur de cette thèse. Par ailleurs, il nous semblerait également important d'inclure une analyse au niveau des individus : quels individus jouent un rôle majeur ? Comment ?... Les travaux sur l'évolution technologique font en effet apparaître l'importance de ces différents niveaux, et notre projet est de comprendre comment ces niveaux s'articulent en nous appuyant sur le « cas » de la fabrication additive.

Du point de vue empirique, l'intérêt de ce projet serait de « raconter l'histoire » la plus complète possible du développement de la fabrication additive en France. Notre ambition théorique est d'essayer d'élaborer un modèle multi-niveaux liant les capacités dynamiques des individus, des organisations, et l'émergence d'un écosystème industriel. Ce projet nous semble combler un manque important dans la littérature sur le management stratégique du changement technologique. Cette littérature, dont l'approche par les capacités dynamiques fournit un cadre intégrateur, est issue de l'économie évolutionniste. En effet, de manière analogue aux approches en stratégie issues de l'économie industrielle, l'approche par les capacités dynamiques est issue d'un changement de perspective économique qui consiste à porter attention au phénomène d'évolution technologique. Contrairement aux approches issues de l'économie industrielle, l'approche par les capacités dynamiques intègre entièrement l'idée que l'entreprise peut contribuer à transformer son environnement. Néanmoins, il nous semble qu'il n'existe pas de cadre théorique expliquant comment les capacités d'une entreprise à se transformer et à

transformer son environnement conduisent à la création de nouveaux écosystèmes ou industries autour d'un nouveau paradigme technologique (ou techno-industriel.) Cette ambition théorique est la direction générale que nous souhaitons développer en poursuivant un programme de recherche sur la base des pistes dessinées ci-dessus.

Cette ambition théorique posée, elle ouvre des pistes de recherches qui consisteraient à documenter une recherche sur ces questions en s'appuyant sur d'autres cas de développements technologiques qui constituent de nouveaux paradigmes technologiques. On peut par exemple citer l'intelligence artificielle, ou la transition énergétique. Ce dernier thème nous apparaît comme particulièrement intéressant car il apparaît émerger d'un besoin commun de changement de la production et de la consommation énergétiques, auquel des technologies peuvent répondre. Il s'apparente ainsi à un nouveau paradigme techno-industriel, celui de la production écologique d'énergie permettant de répondre au grand problème du réchauffement climatique, avec un ensemble de technologies mobilisables et une large palette de besoins à explorer dans un foisonnement similaire à celui observé dans le cas de la FA. Néanmoins, un tel paradigme de la « production écologique d'énergie » nous apparaît comme très particulier, notamment du fait que le problème général à résoudre est un problème collectif et souvent difficilement perceptible de manière immédiate par les individus. Le développement du paradigme du moteur à explosion a pu s'appuyer sur le puissant levier des besoins et désirs individuels des consommateurs, celui de la FA surfe sur les opportunités industrielles ouvertes, ce qui semble moins évident pour le paradigme de la « production écologique d'énergie ». Cette spécificité nous apparaît intéressante, elle nécessiterait d'être documentée et pensée de manière plus approfondie.

Les pistes suggérées ci-dessus dessinent déjà les contours d'un projet de recherche dense. Nous envisageons également d'autres pistes, sur des thèmes précis qui sont apparus dans notre travail de thèse mais que nous n'avons pu développer.

Une première piste serait de poursuivre l'étude des alliances multipartenaires, et plus largement des initiatives nationales, pour le développement de la fabrication additive dans d'autres pays que ceux déjà étudiés (*Made in China 2025*, *Industry 4.0 and AM* (Allemagne), *2014 3D Printing Industry Promotion Strategy* (Corée du Sud), *America Makes* (Etats-Unis) ...). Cette piste pourrait conduire vers une étude comparative des initiatives nationales dans une perspective guidée par une approche par les systèmes nationaux d'innovation, c'est-à-dire en s'intéressant à la place de la fabrication additive dans le contexte plus large des relations entre

organisations participant au processus de développement scientifique et technique (entreprises, agences publiques, centres de recherche et développement...).

De la même manière, suivant la perspective que nous avons développée dans le troisième article, de nombreuses autres alliances créées pour la fabrication additive pourraient être étudiées. En effet, si nous ne les avons pas observées dans une approche systématique, notre suivi de l'actualité de la fabrication additive nous a conduit à identifier un certain nombre d'alliances proches du type de celles que nous avons étudiées (par exemple : HP et Deloitte, Arkema et Ultimaker, ou encore 3D System et GF Machining Solutions ou Konica Minolta). Une étude de ces alliances pourrait permettre d'approfondir notre réflexion sur les difficultés de gestion des alliances mises en œuvre pour s'adapter à un changement de paradigme techno-industriel.

Bibliographie

- ACHILLAS, C., TZETZIS, D., RAIMONDO, M. O. (2017). Alternative production strategies based on the comparison of additive and traditional manufacturing technologies. *International Journal of Production Research*, 55(12), pp. 3497-3509.
- ALBERS, S., SCHWEIGER, B., GIBB, J. (2015). Complexity, power and timing in multipartner alliances: an integrative review and research agenda. In: DAS, T.K (éd.), *Managing Multipartner Strategic Alliances*. New York: Information Age Publishing, 288 p.
- ANDERSON, C. (2012). *Makers. The New Industrial Revolution*. Crown business, 340 p.
- ANDERSON, P., TUSHMAN, M. L. (1990). Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 35(4), pp. 604-633.
- ANTONCIC, B. (2001). Organizational processes in intrapreneurship: a conceptual integration. *Journal of Enterprising Culture*, 9(02), pp. 221-235.
- ARIÑO, A., DE LA TORRE, J. (1998). Learning from Failure: Towards an Evolutionary Model of Collaborative Ventures. *Organization Science*, 9(3), pp. 306-325.
- ARORA, A., GAMBARDELLA, A. (1990). Complementarity and External Linkages: The Strategies of the Large Firms in Biotechnology. *The Journal of Industrial Economics*, 38(4), pp. 361.
- ARRIGHI, P.-A., MAURYA, S., MOUGENOT, C. (2016). Towards Co-designing with Users: A Mixed Reality Tool for Kansei Engineering, in A. Bouras, B. Eynard, S. Foufou, et K.-D. Thoben (éd.), *Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things* Doha, Qatar. Springer International Publishing, p.751-760.
- ARTHUR, W. B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99(394), pp. 116.
- ASTOLFI, C.-P., CONSTANTIN, E., MOULET, A. (2016). *Fabrication additive Mobiliser les forces françaises*. Presses des Mines. Paris. Les Docs de La Fabrique.

- ATZENI, E., IULIANO, L., MINETOLA, P., SALMI, A. (2010). Redesign and cost estimation of rapid manufactured plastic parts. *Rapid Prototyping Journal*, 16(5), pp. 308-317.
- ATZENI, E., SALMI, A. (2012). Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62, pp. 1147-1155.
- AUGIER, M., TEECE, D. (éd.) (2015). Cognition and technical change, *In : The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management* Palgrave Macmillan, .
- BARLIER, C., BERNARD, A. (2015). *Fabrication Additive. Du prototypage rapide à l'impression 3D*. Dunod. Technique et Ingénierie.
- BARNEY, J. B., (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1), pp. 99-120.
- BARRATT, M., CHOI, T. Y., LI, M. (2011). Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of Operations Management*, 29(4), pp. 329-342.
- BAUMERS, M., DICKENS, P., TUCK, C., HAGUE, R. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 193-201.
- BEACH, R., MUHLEMANN, A. P., PRICE, D. H. R., PATERSON, A., SHARP, J. A. (2000). A review of manufacturing Flexibility. *European Journal of Operational Research*, 122(1), pp. 41-57.
- BEN-NER, A., SIEMSEN, E. (2017). Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing (3D Printing). *California Management Review*, 59(2), pp. 5-23.
- BERKOWITZ, H. (2016). *Les méta-organisations rendent-elles performatif le développement durable ? Stratégies collectives dans le secteur pétrolier*. Thèse de doctorat en sciences de gestion de l'université Paris Saclay. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01487154>
- BERMAN, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), pp. 155-162.
- BERNARD, B. (2018). D'une innovation en réponse à un besoin interne à la conquête d'un marché en émergence. *Le journal de l'école de Paris du management*, 134(6), pp. 14-21.

- BEYER, C. (2014). Strategic implications of current trends in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 136(6), 8 p.
- BIANCHI, M., ÅHLSTRÖM, P. (2014). Additive manufacturing: towards a new operations management paradigm?, In: *Production and Operations Management Society 25th Annual Conference, Atlanta, USA*.
- BINGHAM, G.A., HAGUE, R.J.M., TUCK, C.J., LONG, A.C., CROOKSTON, J.J., SHERBURN, M.N. (2007). Rapid manufactured textiles. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(1), pp. 96-105.
- BIRTCHNELL, T., BÖHME, T., GORKIN, R. (2017). 3D printing and the third mission: The university in the materialization of intellectual capital. *Technological Forecasting and Social Change*, 123, pp. 240-249.
- BIRTCHNELL, T., DALY, A., RAYNA, T., STRIUKOVA, L. (2018). *3D Printing and Intellectual Property Futures*. UK Intellectual Property Office.
- BOGERS, M., HADAR, R., BILBERG, A. (2016). Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 225-239.
- BOUFFARON, P. (2014). Impression 3D Les prémisses d'une nouvelle (r)évolution industrielle. Rapport d'Ambassade / Consulat Général de France à San Francisco, Californie. https://www.france-science.org/IMG/pdf/smm14_025_impression_3d_les_premises_d_une_nouvelle_r-evolution_industrielle.pdf
- BRESNAHAN, T.F., TRAJTENBERG, M. (1995). General purpose technologies 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, 65, pp. 83-108.
- BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company, 320 p.
- BROMBERGER, J., KELLY, R. (2017). Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers. *McKinsey Insights*.
- BRYSON, J. M., CROSBY, B. C., STONE, M. M. (2015). Designing and Implementing Cross-Sector Collaborations: Needed and Challenging. *Public Administration Review*, 75(5), pp. 647-663.

BURGELMAN, R. A., CHRISTENSEN, C. M., WHEELWRIGHT, S. C. (2004). *Strategic management of technology and innovation*, 4th edition, Mc Graw Hill.

CAMPBELL, T., WILLIAMS, C., OLGA IVANOVA, GARETT, B. (2012). *Could 3D Printing Change the World? - Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*. Atlantic Council.

CARTON, G. (2015). *La production des connaissances managériales : du rapport de la recherche à la pratique*. Thèse de doctorat en sciences de gestion de l'Université Paris-Dauphine. <https://www.theses.fr/2015PA090053>

CHAN, H. K., GRIFFIN, J., LIM, J. J., ZENG, F., CHIU, A. S. F. (2018). The impact of 3D Printing Technology on the supply chain: Manufacturing and legal perspectives. *International Journal of Production Economics*, 205, pp. 156-162.

CHEKUROV, S., METSÄ-KORTELAINEN, S., SALMI, M., RODA, I., JUSSILA, A. (2018). The perceived value of additively manufactured digital spare parts in industry: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 205, pp. 87-97.

CHEN, D., HEYER, S., IBBOTSON, S., SALONITIS, K., STEINGRÍMSSON, J. G., THIEDE, S. (2015). Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, 107, pp. 615-625.

CHOI, J. (2018). The rise of 3D printing and the role of user firms in the U.S.: evidence from patent data. *Technology Analysis & Strategic Management*, 30(10), pp. 1195-1209.

CHOI, T. Y., HONG, Y. (2002). Unveiling the structure of supply networks: case studies in Honda, Acura, and Daimler Chrysler. *Journal of Operations Management*, 20(5), pp. 469-493.

CHRISTENSEN, C. M. (2008). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Rev. updated ed. Boston: Mass. Harvard Business School Press. The management of innovation and change series, 252 p.

CHRYSSOLOURIS, G., MAVRIKIOS, D., PAPAKOSTAS, N., MOURTZIS, D., MICHALOS, G., GEORGOULIAS, K. (2009). Digital manufacturing: History, perspectives, and outlook. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(5), pp. 451-462.

COASE, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), pp. 386-405.

- COHEN, D., SARGEANT, M., SOMERS, K. (2014). 3-D printing takes shape. *McKinsey Quarterly*.
- COLOMBO, M. G., GRILLI, L., PIVA, E. (2006). In search of complementary assets: The determinants of alliance formation of high-tech start-ups. *Research Policy*, 35(8), pp. 1166-1199.
- COLOSIMO, B. M., HUANG, Q., DASGUPTA, T., TSUNG, F. (2018). Opportunities and challenges of quality engineering for additive manufacturing. *Journal of Quality Technology*, 50(3), pp. 232-252.
- CONNER, B. P., MANOGHARAN, G. P., MARTOF, A. N., RODOMSKY, L. M., RODOMSKY, C. M., JORDAN, D. C., LIMPEROS, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, 1-4, pp. 64-76.
- COX, A. (1999). Power, value and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 4(4), pp. 167-175.
- COX, A., SANDERSON, J., WATSON, G. (2001). Supply chains and power regimes: toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and supplier relationships. *Journal of Supply Chain Management*, 37(1), pp. 28-35.
- COZZOLINO, A., ROTHÄERMEL, F. T. (2018). Discontinuities, competition, and cooperation: Coopetitive dynamics between incumbents and entrants. *Strategic Management Journal*, 39(12), pp. 1-33.
- COZZOLINO, A., VERONA, G., ROTHÄERMEL, F. T. (2018). Unpacking the Disruption Process: New Technology, Business Models, and Incumbent Adaptation: Unpacking the Disruption Process. *Journal of Management Studies*, 55(7), pp. 1166-1202.
- CROOK, T. R., COMBS, J. G. (2007). Sources and consequences of bargaining power in supply chains. *Journal of Operations Management*, 25(2), pp. 546-555.
- D. L. BOURELL, J. J. BEAMAN, MING C. LEU, D. W. ROSEN (2009). A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead. *Proceedings of RapidTech*, pp. 24-25.

- DAGNINO, G.B., LEVANTI, G., MOCCIARO LI DESTRI, A. (2016). Structural Dynamics and Intentional Governance in Strategic Interorganizational Network Evolution: A Multilevel Approach. *Organization Studies*, 37(3), pp. 349-373.
- D'AMBOISE, G., MULDOWNNEY, M. (1988). Management Theory for Small Business: Attempts and Requirements. *The Academy of Management Review*, 13(2), pp. 226-240.
- DAS, T. K., TENG, B.-S. (2002). Alliance constellations: A social exchange perspective. *Academy of management review*, 27(3), pp. 445-456.
- DAS, T. K., TENG, B.-S. (1998). Between trust and control: Developing confidence in partner cooperation in alliances. *Academy of management review*, 23(3), pp. 491-512.
- DAS, T. K., TENG, B.-S. (2000). Instabilities of Strategic Alliances: An Internal Tensions Perspective. *Organization Science*, 11(1), pp. 77-101.
- D'AVENI, R. (2013). 3-D Printing Will Change the World. *Harvard Business Review*, 91(3).
- D'AVENI, R. (2015a). The 3-D Printing Revolution. *Harvard Business Review*, pp. 40-48 (May 2015).
- D'AVENI, R. (2015b). The Time to Think About the 3D-Printed Future Is Now. *Harvard Business Review* (May 2015).
- D'AVENI, R. (2018a). The 3-D Printing Playbook. *Harvard Business Review*, 96(4), pp. 106-113.
- D'AVENI, R. (2018b). *The Pan-Industrial Revolution: How New Manufacturing Titans Will Transform the World*. Houghton Mifflin Harcourt, 320 p.
- DAVID, P. A. (1992). Heroes, Herds and Hysteresis in Technological History: Thomas Edison and « The Battle of the Systems » Reconsidered. *Industrial and Corporate Change*, 1(1), pp. 129-180.
- DAVID, P. A., BUNN, J. A. (1988). The economics of gateway technologies and network evolution: Lessons from electricity supply history. *Information Economics and Policy*, 3(2), pp. 165-202.
- DAVIS, J. P. (2016). The Group Dynamics of Interorganizational Relationships: Collaborating with Multiple Partners in Innovation Ecosystems. *Administrative Science Quarterly*, 61(4), pp. 621-661.

DERADJAT, D., MINSHALL, T. (2018). Decision trees for implementing rapid manufacturing for mass customisation. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 23, pp. 156-171.

DERADJAT, D., MINSHALL, T. (2017). Implementation of rapid manufacturing for mass customisation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 95-121.

DESPEISSE, M., BAUMERS, M., BROWN, P., CHARNLEY, F., FORD, S. J., GARMULEWICZ, A., KNOWLES, S., MINSHALL, T., MORTARA, L., REED-TSOCHAS, F. P., ROWLEY, J. (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, pp. 75-84.

DEUTSCHER, S., RITTER, D., SCHUURING, M. (2013). 3D Printing Will Change the Game. <https://www.bcg.com/publications>.

DHANARAJ, C., PARKHE, A. (2006). Orchestrating Innovation Network. *Academy of Management Review*, 31(3), pp. 659-669.

DI STEFANO, G., GAMBARDELLA, A., VERONA, G. (2012). Technology push and demand pull perspectives in innovation studies: Current findings and future research directions. *Research Policy*, 41(8), pp. 1283-1295.

DIRECCTE CENTRE, CCI CENTRE. (2014). L'impression 3D, enjeux et perspective. Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (DIRECCTE) Centre. http://www.centre.cci.fr/sites/centre.cci.fr/files/L'impression%203D_etat%20des%20lieux%20et%20perspectives.pdf

DOGANOVA, L., MUSTAR, P., COLOMBO, M. G., D'ADDA, D., PIVA, E. (2015). The impact of ambidextrous alliances on innovation: how do research based spin-offs affect their partners' innovation? *Journal of Technology Transfer*, 40(4), pp. 696-722.

DOSI, G. (1988). Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, 26(3), pp. 1120-1171.

DOSI, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), pp. 147-162.

- DOSI, G., NELSON, R. R. (2010). Technical Change and Industrial Dynamics as Evolutionary Processes, In : Hall, B. H., Rosenberg, N., (éd.), *Handbook of the Economics of Innovation, Volume 1*, Elsevier, p.51-127.
- DOUMA, M. U., BILDERBEEK, J., IDENBURG, P. J., LOOISE, J. K. (2000). Strategic alliances: managing the dynamics of fit. *Long range planning*, 33(4), pp. 579-598.
- DOZ, Y. L, HAMEL, G. (1998). *Alliance Advantage: The Art of creating value through partnering*. Harvard Business School Press, 334 p.
- DOZ, Y. L. (1987). Technology Partnerships between Larger and Smaller Firms: Some Critical Issues. *International Studies of Management & Organization*, 17(4), pp. 31-57.
- DOZ, Y. L. (1996). The evolution of cooperation in strategic alliances: Initial conditions or learning processes? *Strategic Management Journal*, 17, pp. 55-83.
- DUMEZ, H. (2016). *Méthodologie de la recherche qualitative. Les questions clés de la démarche* compréhensive. Vuibert (2nd éd.), 256 p.
- DURACH, C. F., KURPJUWEIT, S., WAGNER, S. M. (2017). The impact of additive manufacturing on supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(10), pp. 954-971.
- DURAND, T. (1992). Dual technological trees: Assessing the intensity and strategic significance of technological change. *Research Policy*, 21, pp. 361-380.
- DURAND, T. (2003). Le Management de la Technologie et de l'Innovation. In: Le Duff, R. (éd.), *Encyclopédie de la gestion et du management*, Dalloz, 1643p.
- DURAND, T. (2003). Twelve lessons from Key Technologies 2005: the French technology foresight exercise. *Journal of Forecasting*, 22, pp. 161-177.
- DURAY, R. (2002). Mass customization origins: mass or custom manufacturing? *International Journal of Operations & Production Management*, 22(3), pp. 314-328.
- DURAY, R., WARD, P. T., MILLIGAN, G. W., BERRY, W. L. (2000). Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*, 18, pp. 605-625.
- DUSSAUGE, P., GARRETTE, B. (1999). *Cooperative strategy: competing successfully through strategic alliances*. New York : John Wiley, 236 p.

- DUYSTERS, G., KOK, G., VAANDRAGER, M. (1999). Crafting successful strategic technology partnerships. *R&D Management*, 29(4), pp. 343-351.
- DWIVEDI, G., SRIVASTAVA, S. K., SRIVASTAVA, R. K. (2017). Analysis of barriers to implement additive manufacturing technology in the Indian automotive sector. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(10), pp. 972-991.
- DYER, J. H., SINGH, H. (1998). The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of management review*, 23(4), pp. 660-679.
- EISENHARDT, K. M. (1989). Building Theories from Cases Study Research. *Academy of Management Review*, 14(4), pp. 532-550.
- EISENHARDT, K. M., GRAEBNER, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of management journal*, 50(1), pp. 25-32.
- EISENHARDT, K. M., MARTIN, J. A. (2000). Dynamic capabilities: What are they?, *Strategic Management Journal*, 21, pp. 1105-1121.
- EISENHARDT, K. M., SCHOONHOVEN, C. B. (1996). Resource-based View of Strategic Alliance Formation: Strategic and Social Effects in Entrepreneurial Firms. *Organization Science*, 7(2), pp. 136-150.
- ETZKOWITZ, H., LEYDESDORFF, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, 29(2), pp. 109-123.
- EYERS, D. R., POTTER, A. T. (2015). E-commerce channels for additive manufacturing: an exploratory study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26(3), pp. 390-411.
- EYERS, D. R., POTTER, A. T., GOSLING, J., NAIM, M. M. (2018). The flexibility of industrial additive manufacturing systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(12), pp. 2313-2343.
- FJELDSTAD, Ø. D., SNOW, C. C., MILES, R. E., LETTL, C. (2012). The architecture of collaboration. *Strategic Management Journal*, 33(6), pp. 734-750.
- FLICHY, P. (2003). *L'innovation technique - Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation*. La découverte (Sciences et société), 256 p.

- FOGLIATTO, F. S., DA SILVEIRA, G. J. C., BORENSTEIN, D. (2012). The mass customization decade: An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 138(1), pp. 14-25.
- FORD, S., MINSHALL, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, pp. 131-150.
- FORD, S., MORTARA, L., MINSHALL, T. (2016). The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 156-159.
- FREEMAN, C. (1987). *Technology and Economic Performances : lessons from Japan*. Frances Pinter Publishers, London, New York, 155 p.
- FREEMAN, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of economics*, 19(1), pp. 5-24.
- FREEMAN, C., CLARK, J., SOETE, L. (1982). *Unemployment and technical innovation: a study of long waves and economic development*. Francis Pinter, London, 214 p.
- FREEMAN, C., PEREZ, C. (1988). Structural crises of adjustment: Business cycles and investment behavior, In : Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R. R., Silverberg, G., et Soete, L., (éd.), *Technical Change and Economic Theory*. London : Pinter Publishers, 656 p.
- FREY, C. B., OSBORNE, M. A. (2013). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation. *Oxford Martin Programme on Technology and Employment*.
- FREY, C. B., OSBORNE, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, pp. 254-280.
- GAMBARDELLA, A., MCGAHAN, A. M. (2010). Business-Model Innovation: General Purpose Technologies and their Implications for Industry Structure. *Long Range Planning*, 43(2-3), pp. 262-271.
- GAMBARDELLA, A., RAASCH, C., VON HIPPEL, E. (2017). The User Innovation Paradigm: Impacts on Markets and Welfare. *Management Science*, 63(5), pp. 1450-1468.
- GAMME, I., SEIM, E. A., LODGAARD, E., ANDERSEN, B. (2017). Operational integration in a craft-oriented small enterprise. *The TQM Journal*, 29(2), pp. 240-256.

- GAO, W., ZHANG, Y., RAMANUJAN, D., RAMANI, K., CHEN, Y., WILLIAMS, C. B., WANG, C. C. L., SHIN, Y. C., ZHANG, S., ZAVATTIERI, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, pp. 65-89.
- GARDAN, J. (2016). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), pp. 3118-3132.
- GARMULEWICZ, A., HOLWEG, M., VELDHUIS, H., YANG, A. (2018). Disruptive Technology as an Enabler of the Circular Economy: What Potential Does 3D Printing Hold? *California Management Review*, 60(3), pp. 112-132.
- GARRETTE, B., DUSSAUGE, P. (1995). *Les stratégies d'alliance*. Paris : Les éditions d'organisation, 288 p.
- GARTNER, J., MARESCH, D., FINK, M. (2015). The Potential of Additive Manufacturing for Technology Entrepreneurship: An Integrative Technology Assessment: Additive Manufacturing and Technology Entrepreneurship. *Creativity and Innovation Management*, 24(4), pp. 585-600.
- GARUD, R., RAPPA, M. A. (1994). A Socio-Cognitive Model of Technology Evolution: The Case of Cochlear Implants. *Organization Science*, 5(3), pp. 344-362.
- GARVIN, D. A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*. 57, 173-84.
- GEELS, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy*, 31(8), pp. 1257-1274.
- GIBSON, I. (2017). The changing face of additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 10-17.
- GIBSON, I., ROSEN, D., STUCKER, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*. New York : Springer, 486 p.
- GIRIN, J. (1989). L'opportunisme méthodique dans les recherches sur la gestion des organisations, *Collège de systématique*, École Centrale de Paris.
- GLASER, B. G., STRAUSS, A. L. (2009). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New Brunswick: Aldine (4^{ème} éd.), 271 p.

- GUDMUNDSSON, S. V., LECHNER, C., VAN KRANENBURG, H. (2012). Multilevel embeddedness in multilateral alliances: A conceptual framework. In: DAS, T.K (éd.), *Managing Multipartner Strategic Alliances*. New York: Information Age Publishing, 288 p.
- GUSTAFSSON, R., JARVENPAA, S. (2017). Extending community management to industry-university-government organizations. *R&D Management*, 48(1), 121-135.
- HAGEDOORN, J. (2002). Inter-firm R&D partnerships: an overview of major trends and patterns since 1960. *Research Policy*, 31(4), pp. 477-492.
- HAGEDOORN, J. (1993). Understanding The Rationale of Strategic Technology Partnering: Interorganizational Modes of Cooperation and Sectoral Differences. *Strategic Management Journal*, 14(5), pp. 371-385.
- HAGEDOORN, J., DUYSTERS, G. (2002). External Sources of Innovative Capabilities: The Preferences for Strategic Alliances or Mergers and Acquisitions. *Journal of Management Studies*, 39(2), pp. 167-188.
- HÄLLGREN, S., PEJRYD, L., EKENGREN, J. (2016). (Re)Design for Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, 50, pp. 246-251.
- HAMEL, G. (1991). Competition for competence and interpartner learning within international strategic alliances. *Strategic management journal*, 12, pp. 83-103.
- HAMEL, G., DOZ, Y. L., PRAHALAD, C. K. (1989). Collaborate with your competitors and win. *Harvard Business Review*, 67, pp. 133-139.
- HANNIBAL, M., KNIGHT, G. (2018). Additive manufacturing and the global factory: Disruptive technologies and the location of international business. *International Business Review*, 27(6), pp. 1116-1127.
- HARRIGAN, K.R. (2017). Strategic alliances as agents of competitive change. p.13-19. In : MESQUITA, L. F., RAGOZZINO, R., REUER, J. J. (éd.), *Collaborative Strategy*. Northampton, Massachusetts : Edward Elgar Publishing, 330 p.
- HARTL, R. F., KORT, P. M. (2017). Possible market entry of a firm with an additive manufacturing technology. *International Journal of Production Economics*, 194, pp. 190-199.

- HARTMANN, T., VANPOUCKE, E. (2017). User Acceptance of Technologies in Their Infancy: The Case of 3D Printing Business Models. *Journal of Organizational and End User Computing*, 29(2), pp. 1-24.
- HEIKKILÄ, J. (2002). From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction. *Journal of Operations Management*, 20(6), pp. 747-767.
- HILL, C. W. L., ROTHÄRMEL, F. T. (2003). The Performance of Incumbent Firms in the Face of Radical Technological Innovation. *The Academy of Management Review*, 28(2), pp. 257-274.
- VON HIPPEL, E. (1988). *The sources of innovation*. New York: Oxford University Press, 218 p.
- HOBDAÏ, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research Policy*, 26(6), pp. 689-710.
- HOLMSTRÖM, J., HOLWEG, M., KHAJAVI, S. H., PARTANEN, J. (2016). The direct digital manufacturing (r)evolution: definition of a research agenda. *Operations Management Research*, 9(1), pp. 1-10.
- HOLMSTRÖM, J., PARTANEN, J., TUOMI, J., WALTER, M. (2010). Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(6), pp. 687-697.
- HOLWEG, M. (2015). The Limits of 3D Printing.pdf. *Harvard Business Review*, (May 2015).
- HOLWEG, M., PIL, F. (2008). Theoretical perspectives on the coordination of supply chains. *Journal of Operations Management*, 26(3), pp. 389-406.
- HOLZMANN, P., BREITENECKER, R. J., SOOMRO, A. A., SCHWARZ, E. J. (2017). User entrepreneur business models in 3D printing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 75-94.
- HOPKINSON, N., HAGUE, R. J. M., DICKENS, P. M. (éd.) (2006). *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. Chichester, England: John Wiley, 285 p.
- HOÏ, F. (2007). Nurturing the interpreneur. *Electronic Journal of Family Business Studies*. [Accédé le 5 juillet 2017]. <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/20247>

- HUANG, S. H., LIU, P., MOKASDAR, A., HOU, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, pp. 1191-1203.
- HULL, C. (2012). On Stereolithography. *Virtual and Physical Prototyping*, 7(3), pp. 177-177.
- IANSITI, M., LEVIEN, R. (2004). *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*. Harvard Business School Press, 272 p.
- INGELAERE, R. (2015). *Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D*. Avis du Conseil économique, social et environnemental, section des activités économiques.
https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Rapports/2015/2015_07_innovations_techno_imp_ression_3d.pdf
- JACOBIDES, M. G., CENNAMO, C., GAWER, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8), pp. 2255-2276.
- JACOBS, P. F. (1992). *Rapid Prototyping & Manufacturing - Fundamentals of StereoLithography*. Society of Manufacturing Engineers, 434 p.
- JIA, F., WANG, X., MUSTAFEE, N., HAO, L. (2016). Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 202-213.
- JIANG, R., KLEER, R., PILLER, F. T. (2017). Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 84-97.
- JIN, Y., JI, S., LI, X., YU, J. (2017). A scientometric review of hotspots and emerging trends in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 18-38.
- KALE, P., SINGH, H. (2009). Managing strategic alliances: What do we know now, and where do we go from here. *Academy of management perspectives*, 23(3), pp. 45-62.
- KANNATTUKUNNEL, R. S. (2016). Global Patents on 3D Printing: Revelations Based on Vector Autoregression Analysis for Three Decades. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 13(06), 27 p.

- KAPETANIOU, C., RIEPLE, A., PILKINGTON, A., FRANDBSEN, T., PISANO, P. (2018). Building the layers of a new manufacturing taxonomy: How 3D printing is creating a new landscape of production eco-systems and competitive dynamics. *Technological Forecasting and Social Change*, 128, pp. 22-35.
- KAPLAN, S. (2008). Cognition, capabilities, and incentives: Assessing firm response to the fiber-optic revolution. *Academy of Management Journal*, 51(4), pp. 672-695.
- KAPLAN, S., TRIPSAS, M. (2008). Thinking about technology: Applying a cognitive lens to technical change. *Research Policy*, 37(5), pp. 790-805.
- KATZ, M. L. (1986). An Analysis of Cooperative Research and Development. *The RAND Journal of Economics*, 17(4), pp. 527-543.
- KETOKIVI, M., CHOI, T. (2014). Renaissance of case research as a scientific method. *Journal of Operations Management*, 32(5), pp. 232-240.
- KETOKIVI, M., TURKULAINEN, V., SEPPÄLÄ, T., ROUVINEN, P., ALI-YRKKÖ, J. (2017). Why locate manufacturing in a high-cost country? A case study of 35 production location decisions. *Journal of Operations Management*, 49-51, pp. 20-30.
- KHAJAVI, S. H., PARTANEN, J., HOLMSTRÖM, J. (2014). Additive manufacturing in the spare parts supply chain. *Computers in Industry*, 65(1), pp. 50-63.
- KHORRAM NIAKI, M., NONINO, F. (2017a). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 55(5), pp. 1419-1439.
- KHORRAM NIAKI, M., NONINO, F. (2017b). Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 56-74.
- KILKKI, K., MÄNTYLÄ, M., KARHU, K., HÄMMÄINEN, H., AILISTO, H. (2018). A disruption framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 129, pp. 275-284.
- KLAHN, C., LEUTENECKER, B., MEBOLDT, M. (2015). Design Strategies for the Process of Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, 36, pp. 230-235.

- KLINE, S. J., ROSENBERG, N. (1986). An Overview of Innovation. p.275-305. In : Rosenberg, N., Landau R. (éd.), *The Positive Sum Strategies: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington : National Academy of Sciences, 640 p.
- KNOFIUS, N., VAN DER HEIJDEN, M. C., ZIJM, W. H. M. (2016). Selecting parts for additive manufacturing in service logistics. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), pp. 915-931.
- KOCHAN, A. (1997). Rapid prototyping trends. *Rapid Prototyping Journal*, 3(4), pp. 150-152.
- KOGUT, B. (1988). Joint ventures: Theoretical and empirical perspectives. *Strategic management journal*, 9(4), pp. 319-332.
- KOTHMAN, I., FABER, N. (2016). How 3D printing technology changes the rules of the game: Insights from the construction sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), pp. 932-943.
- KOZA, M. P., LEWIN, A. Y. (2000). Managing partnerships and strategic alliances: raising the odds of success. *European Management Journal*, 18(2), pp. 146-151.
- KOZA, M. P., LEWIN, A. Y. (1998). The Co-Evolution of Strategic Alliances. *Organization Science*, 9(3), pp. 255-264.
- KURFESS, T., CASS, W. J. (2014). Rethinking Additive Manufacturing and Intellectual Property Protection. *Research-Technology Management*, 57(5), pp. 35-42.
- KWAK, K., KIM, W., PARK, K. (2018). Complementary multiplatforms in the growing innovation ecosystem: Evidence from 3D printing technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, pp. 192-207.
- KYRIAKOU, H., NICKERSON, J. V., SABNIS, G. (2017). Knowledge Reuse for Customization: Metamodels in an Open Design Community for 3D Printing. *MIS Quarterly*, 41(1), pp. 315-332.
- LAPLUME, A. O., PETERSEN, B., PEARCE, J. M. (2016). Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*, 47(5), pp. 595-609.
- LATOURET, B. (1992). *Aramis ou l'amour des techniques*. La Découverte, 248 p.

- LAVIE, D., KANG, J., ROSENKOPF, L. (2011). Balance Within and Across Domains: The Performance Implications of Exploration and Exploitation in Alliances. *Organization Science*, 22(6), pp. 1517-1538.
- LAVIE, D., ROSENKOPF, L. (2006). Balancing exploration and exploitation in alliance formation. *Academy of Management Journal*, 49(4), pp. 797-818.
- LE PENDEVEN, B., (2018). *Emerging approaches for financing innovation*. Thèse de doctorat en sciences de gestion du Conservatoire National des Arts et Métiers. <https://www.theses.fr/2018CNAM1169>
- LERNER, J., TIROLE, J. (2005). The economics of technology sharing: Open source and beyond. *The Journal of Economic Perspectives*, 19(2), pp. 99-120.
- LEVINTHAL, D. A. (1998). The slow pace of rapid technological change: gradualism and punctuation in technological change. *Industrial and corporate change*, 7(2), pp. 217-247.
- LEVINTHAL, D. A., MARCH, J. G. (1993). The myopia of learning. *Strategic Management Journal*, 14, pp. 95-112.
- LI, D., EDEN, L., HITT, M. A., IRELAND, R. D., GARRETT, R. P. (2012). Governance in multilateral R&D alliances. *Organization Science*, 23(4), pp. 1191-1210.
- LI, Y., JIA, G., CHENG, Y., HU, Y. (2017). Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. *International Journal of Production Research*, 55(5), pp. 1498-1515.
- LIN, Z., YANG, H., ARYA, B. (2009). Alliance partners and firm performance: resource complementarity and status association. *Strategic Management Journal*, 30(9), pp. 921-940.
- LIPSON, H., KURMAN, M. (2013). *Fabricated The New World of 3D Printing*. Wiley. 320 p.
- LIU, P., HUANG, S. H., MOKASDAR, A., ZHOU, H., HOU, L. (2013). The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis. *Production Planning & Control*, 25, pp. 1169-1181.
- LIU, Q., LEU, M. C., SCHMITT, S. M. (2006). Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, pp. 317-335.

- MAHTO, M., SNIDERMAN, B., COTTELEER, M. (2018). *3D opportunity for innovation Trends in additive manufacturing patents*. Deloitte Insight.
- MAJCHRZAK, A., JARVENPAA, S. L., BAGHERZADEH, M. (2015). A review of interorganizational collaboration dynamics. *Journal of Management*, 41(5), pp. 1338-1360.
- MARCH, J. G. (1991). Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, 2(1), pp. 71-87.
- MARIC, J., RODHAIN, F., BARLETTE, Y. (2016). Frugal innovations and 3D printing: insights from the field. *Journal of Innovation Economics*, 21(3), pp. 57.
- MARTINSUO, M., LUOMARANTA, T. (2018). Adopting additive manufacturing in SMEs: exploring the challenges and solutions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), pp. 937-957.
- MARZI, G., ZOLLO, L., BOCCARDI, A., CIAPPEI, C. (2018). Additive Manufacturing in SMEs: Empirical Evidences from Italy. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 15(1), 22 p.
- MAVRI, M. (2015). Redesigning a Production Chain Based on 3D Printing Technology: Process Redesign. *Knowledge and Process Management*, 22(3), pp. 141-147.
- MCCUE, T. (2015). 3D Printing Is Changing the Way We Think.pdf. *Harvard Business Review*, (July 2015).
- MEISSNER, D. (2015). Public-Private Partnership Models for Science, Technology, and Innovation Cooperation. *Journal of the Knowledge Economy*. <http://dx.doi.org/10.1007/s13132-015-0310-3>.
- MELLOR, S., HAO, L., ZHANG, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, pp. 194-201.
- MILLER, I. (1987). Interpreneurship: A Community Coalition Approach to Health Care Reform. *Inquiry*, 24(3), pp. 266.
- MILLS, J. F., CAMEK, V. (2004). The risks, threats and opportunities of disintermediation A distributor's view. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(9), pp. 714-727.

- MINTZBERG, H., WATERS, J. A. (1985). Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic management journal*, 6(3), pp. 257-272.
- MIONE, A. (2006). Les normes comme démarche collective. *Revue française de gestion*, 32(167), pp. 105-122.
- MOHR, S., KHAN, O. (2015). 3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future. *Technology Innovation Management Review*, 5(11), pp. 20-25.
- MOORE, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, 71(3), pp. 75-83.
- MOWERY, D., ROSENBERG, N. (1979). The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies. *Research Policy*, 8, pp. 102-153.
- NELSON, R. R. (éd.) (1993). *National innovation systems: a comparative analysis*. New-York : Oxford University Press, 541 p.
- NELSON, R. R., WINTER, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 437 p.
- NELSON, R.R., WINTER, S.G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6, pp. 36-76.
- NESS, H. (2009). Governance, negotiations, and alliance dynamics: Explaining the evolution of relational practice. *Journal of Management Studies*, 46(3), pp. 451-480.
- NIGHTINGALE, P. (1998). A cognitive model of innovation. *Research Policy*, 27(7), pp. 689-709.
- VAN NOORT, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(1), pp. 3-12.
- ÖBERG, C., SHAMS, T., ASNAFI, N. (2018). Additive Manufacturing and Business Models: Current Knowledge and Missing Perspectives. *Technology Innovation Management Review*, 8(6), pp. 15-33.
- OECD. (2015). *Shaping the Strategy for Tomorrow's Production*. Enabling The Next Production Revolution: Issues Paper. Paris, 26-27 March 2015.

- OETTMEIER, K., HOFMANN, E., STEENHUIS, H.-J., ORTT, R. (2016). Impact of additive manufacturing technology adoption on supply chain management processes and components. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), pp. 944-968.
- O'REILLY, C. A., TUSHMAN, M. L. (2013). Organizational Ambidexterity: Past, Present, and Future. *Academy of Management Perspectives*, 27(4), pp. 324-338.
- ORLIKOWSKI, W. J., GASH, D. C. (1994). Technological frames: making sense of information technology in organizations. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 12(2), pp. 174-207.
- ORTT, J. R. (2017). Guest editorial. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), pp. 2-9.
- PENROSE, E. T. (1959). *The theory of the growth of the firm*. (4^{ème} éd.), Oxford, New York : Oxford University Press, 249 p.
- PERKS, H., JEFFERY, R. (2006). Global network configuration for innovation: a study of international fibre innovation. *R&D Management*, 36(1), pp. 67-83.
- PETRICK, I. J., SIMPSON, T. W. (2013). 3d printing disrupts manufacturing: How economic of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, 56(6), pp. 12-16.
- PINCH, T. J., BIJKER, W. E. (1984). The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. *Social Studies of Science*, 14(3), pp. 399-441.
- PINE, B. J. II, VICTOR, B., BOYTON, A. C. (1993). Making mass customization work. *Harvard Business Review*. 71: 108-119.
- PISANO, P., PIRONTI, M., RIEPLE, A. (2016). The changing role of the designer in new business models based around 3D printing technologies. p.60-64. In : Rieple, A., DeFillippi, R., Wikström, P. (éd.), *International Perspectives on Business Innovation and Disruption in Design*. Edward Elgar Publishing, 320 p.
- POPKOVA, E. G., RAGULINA, · Y. V., BOGOVIZ, A. V. (2018). *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. New York, NY : Springer Berlin Heidelberg.
- PORTER, M.E. (1985). Technology And Competitive Advantage. *Journal of Business Strategy*, 5(3), pp. 60-78.

- POWELL, W. W., KOPUT, K. W., SMITH-DOERR, L. (1996). Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, 41(1), pp. 116-145.
- POZA, E. J. (1988). Managerial practices that support entrepreneurship and continued growth. *Family Business Review*, 1(4), pp. 339-359.
- PRATT, M. G. (2009). From the editors: For the lack of a boilerplate: Tips on writing up (and reviewing) qualitative research. *Academy of Management Journal*, 52(5), pp. 856-862.
- PROVAN, K. G., FISH, A., SYDOW, J. (2007). Interorganizational Networks at the Network Level: A Review of the Empirical Literature on Whole Networks. *Journal of Management*, 33(3), pp. 479-516.
- PROVAN, K. G., KENIS, P. (2007). Modes of Network Governance: Structure, Management, and Effectiveness. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(2), pp. 229-252.
- PROVAN, K. G., SEBASTIAN, J. G. (1998). Research Notes. Networks Within Networks: Service Link Overlap, Organizational Cliques, And Network Effectiveness. *Academy of Management Journal*, 41(4), pp. 453-463.
- RAASCH, C., HERSTATT, C., BALKA, K. (2009). On the open design of tangible goods. *R&D Management*, 39(4), pp. 382-393.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L. (2016). A Taxonomy of Online 3D Printing Platforms. p.153-166. In : Van den Berg, B., van der Hof, S., Kosta, E., (éd.), *3D Printing* The Hague. T.M.C. Asser Press, 212 p.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L. (2015). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 214-224.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L. (2014). The impact of 3d printing technologies on business model innovation. p.119-132. In : Benghozi, P., Krob, D., Lonjon, A., Panetto, H. (éd.), *Digital Enterprise Design & Management*, Springer, 153 p.
- RAYNA, T., STRIUKOVA, L., DARLINGTON, J. (2015). Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms. *Journal of Engineering and Technology Management*, 37, pp. 90-102.

- REEVES, P., TUCK, C., HAGUE, R. (2011). Additive manufacturing for mass customization. p.275-289. In : FOGLIATTO, F. S., DA SILVEIRA, G. J. C. (éd.), *Mass Customization*. London : Springer London. (Springer Series in Advanced Manufacturing), 385 p.
- REICHHART, A., HOLWEG, M. (2007). Creating the customer-responsive supply chain: a reconciliation of concepts. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(11), pp. 1144-1172.
- REUER, J. J., DEVARAKONDA, S. V. (2016). Mechanisms of Hybrid Governance: Administrative Committees in Non-Equity Alliances. *Academy of Management Journal*, 59(2), pp. 510-533.
- RICHTER, F.-J., TERAMOTO, Y. (1995). « Interpreneurship »: A New Management Concept from Japan. *MIR: Management International Review*, 35, Euro-Asian Management and Business II – Issues in Foreign Subsidiary and National Management, pp. 91-104.
- RINDFLEISCH, A., O'HERN, M. (2015). Brand Remixing: 3D Printing the Nokia Case, In : Macinnis, D. J., Park C. W., (éd.), *Brand Meaning Management (Review of Marketing Research, Volume 12)*, Emerald Group Publishing Limited, p.53-81.
- RINDFLEISCH, A., O'HERN, M., SACHDEV, V. (2017). The Digital Revolution, 3D Printing, and Innovation as Data. *Journal of Product Innovation Management*, 34(5), pp. 681-690.
- RITCHIE, B., BRINDLEY, C. (2000). Disintermediation, disintegration and risk in the SME global supply chain. *Decision*, 38(8), pp. 575-583.
- ROGERS, H., BARICZ, N., PAWAR, K.S. (2016). 3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(10), pp. 886-907.
- ROGERS, H., BRAZIOTIS, C., PAWAR, K.S. (2017). Special issue on 3D printing: opportunities and applications for supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(10), pp. 950-953.
- ROMELAER, P. (2005). L'entretien de recherche. pp.101-137. In : Roussel P. et Wacheux F. (éd.), *Management des ressources humaines: méthodes de recherche en sciences humaines et sociales*, De Boeck Supérieur, 440 p.

- RONG, K., PATTON, D., CHEN, W. (2018). Business models dynamics and business ecosystems in the emerging 3D printing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 134, pp. 234-245.
- ROSENBERG, J., MORAND, P., TURCQ, D. (2015). *L'impression 3d : porte d'entrée dans l'industrie du 21ème siècle*. Chambre de commerce et d'industrie de région Paris Île-de-France
- ROTH, S. (2018). The cash is in the medium, not in the machine: Toward the golden moments of 3D printing. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 32(1), pp. 5-15.
- ROTHAERMEL, F. T. (2001). Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage: an empirical study of industry and firm effects in the biopharmaceutical industry. *Research Policy*, 30(8), pp. 1235-1251.
- ROTHAERMEL, F. T. (2001). Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. *Strategic Management Journal*, 22, pp. 687-699.
- ROTHAERMEL, F. T., BOEKER, W. (2008). Old technology meets new technology: complementarities, similarities, and alliance formation. *Strategic Management Journal*, 29(1), pp. 47-77.
- ROTHAERMEL, F. T., DEEDS, D. L. (2004). Exploration and exploitation alliances in biotechnology: a system of new product development. *Strategic Management Journal*, 25(3), pp. 201-221.
- RUFFO, M., TUCK, C., HAGUE, R. (2006). Cost estimation for rapid manufacturing - laser sintering production for low to medium volumes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(9), pp. 1417-1427.
- RUFFO, M., TUCK, C., HAGUE, R. (2007). Make or buy analysis for rapid manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 13(1), pp. 23-29.
- RUNGTUSANATHAM, M. J., SALVADOR, F. (2008). From Mass Production to Mass Customization: Hindrance Factors, Structural Inertia, and Transition Hazard. *Production and Operations Management*, 17(3), pp. 385-396.
- RÜBMAN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., HARNISCH, M. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. BCG Perspective.

- RYAN, M. J., EYERS, D. R., POTTER, A.T., PURVIS, L., GOSLING, J. (2017). 3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(10), pp. 992-1014.
- RYLANDS, B., BÖHME, T., GORKIN, R., FAN, J., BIRTCHNELL, T. (2016). The adoption process and impact of additive manufacturing on manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), pp. 969-989.
- SAKAKIBARA, M. (2002). Formation of R&D consortia: industry and company effects. *Strategic Management Journal*, 23(11), pp. 1033-1050.
- SAKAKIBARA, M., CHO, D.-S. (2002). Cooperative R&D in Japan and Korea: a comparison of industrial policy. *Research Policy*, 31(5), pp. 673-692.
- SALVADOR, M. R., ZAMUDIO, P. C., CARRASCO, A. S. A., BENÍTEZ, E. O., BAUTISTA, B. A. (2014). Strategic Foresight: Determining Patent Trends in Additive Manufacturing. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 4(3), pp. 42-62.
- SANDSTRÖM, C. G. (2016). The non-disruptive emergence of an ecosystem for 3D Printing — Insights from the hearing aid industry's transition 1989-2008. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 160-168.
- SASSON, A., JOHNSON, J. C. (2016). The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(1), pp. 82-94.
- SAZ-CARRANZA, A., OSPINA, S. M. (2011). The behavioral dimension of governing interorganizational goal-directed networks—Managing the unity-diversity tension. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 21(2), pp. 327-365.
- SCHNIEDERJANS, D. G. (2017). Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, pp. 287-298.
- SCHWAB, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business, 198 p.
- SCULPTEO (2014). *A sculpteo guide to cost efficiency through short series manufacturing*. <https://www.sculpteo.com/static/0.30.0-56/download/ebooks/Sculpteo%20Guide%20to%20Manufacturing.pdf>

- SHAH, R. H., SWAMINATHAN, V. (2008). Factors influencing partner selection in strategic alliances: the moderating role of alliance context. *Strategic Management Journal*, 29(5), pp. 471-494.
- SHUKLA, M., TODOROV, I., KAPLETIA, D. (2018). Application of additive manufacturing for mass customisation: understanding the interaction of critical barriers. *Production Planning & Control*, 29(10), pp. 814-825.
- SIERZCHULA, W., BAKKER, S., MAAT, K., VAN WEE, B. (2015). Alliance Formation in the Automobile Sector during an Era of Ferment: Alliance Formation in the Automobile Sector during an Era of Ferment. *Creativity and Innovation Management*, 24(1), pp. 109-122.
- SIGGELKOW, N. (2007). Persuasion with case studies. *Academy of management journal*, 50(1), pp. 20.
- SIMPSON, T. W., WILLIAMS, C. B., HRIPKO, M. (2017). Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a National Science Foundation workshop. *Additive Manufacturing*, 13, pp. 166-178.
- SINGH, S., RAMAKRISHNA, S., SINGH, R. (2017). Material issues in additive manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, pp. 185-200.
- SLAUGHTER, S. (1993). Innovation and learning during implementation: a comparison of user and manufacturer innovations. *Research Policy*, 22(1), pp. 81-95.
- STALK, JR, G. (1988). Time —The Next Source of Competitive Advantage. *Harvard Business Review*.
- STEENHUIS, H.-J., PRETORIUS, L. (2016). Consumer additive manufacturing or 3D printing adoption: an exploratory study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), pp. 990-1012.
- STRANGE, R., ZUCHELLA, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*, 25(3), pp. 174-184.
- STUART, I., MCCUTCHEON, D., HANDFIELD, R., MCLACHLIN, R., SAMSON, D. (2002). Effective case research in operations management: a process perspective. *Journal of Operations Management*, 20(5), pp. 419-433.

SUDDABY, R. (2006). From the editors: What grounded theory is not. *Academy of management journal*, 49(4), pp. 633-642.

SYDOW, J., WINDELER, A. (1998). Organizing and evaluating interfirm networks: A structurationist perspective on network processes and effectiveness. *Organization science*, 9(3), pp. 265-284.

TEECE, D. J., PISANO, G. (1994). The dynamic capabilities of firms: an introduction. *Industrial and Corporate Change*, 3(3), pp. 537-556.

TEECE, D. J. (1992). Competition, cooperation, and innovation. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 18, pp. 1-25.

TEECE, D. J. (1984). Economic Analysis and strategic management. *California Management Review*, XXVI(3), pp. 87-110.

TEECE, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), pp. 1319-1350.

TEECE, D. J. (1989). Inter-Organizational Requirements of the Innovation Process. *Managerial and Decision Economics*, 10, pp. 35-42.

TEECE, D. J. (2016). Profiting from Innovation in the Digital Economy: Standards, Complementary Assets, and Business Models in the Wireless World. *Tusher Center for the Management of Intellectual Capital - Berkeley University*, Working Paper Series No. 16.

TEECE, D. J. (1986). Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing, and public policy. *Research Policy*, 15(6), pp. 285-305.

TEECE, D. J. (2006). Reflections on « Profiting from Innovation ». *Research Policy Conference*.

TEECE, D. J., PISANO, G., SHUEN, A., (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), pp. 509-533.

THE ECONOMIST (2011). *Difference Engine: Making it - 3D printing*. <https://www.economist.com/babbage/2011/11/25/difference-engine-making-it>

THE ECONOMIST (2012). *Difference Engine: The PC all over again - 3D printing*. <https://www.economist.com/babbage/2012/09/09/difference-engine-the-pc-all-over-again>

- THOMAS-SEALE, L. E. J., KIRKMAN-BROWN, J. C., ATTALLAH, M. M., ESPINO, D. M., SHEPHERD, D. E. T. (2018). The barriers to the progression of additive manufacture: Perspectives from UK industry. *International Journal of Production Economics*, 198, pp. 104-118.
- TRAPPEY, A. J. C., TRAPPEY, C. V., LEE, K. L. C. (2017). Tracing the Evolution of Biomedical 3D Printing Technology Using Ontology-Based Patent Concept Analysis. *Technology Analysis & Strategic Management*, 29(4), pp. 339-352.
- DE TREVILLE, S., SHAPIRO, R. D., HAMERI, A.-P. (2004). From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, 21(6), pp. 613-627.
- TRIPSAS, M. (2008). Customer preference discontinuities: a trigger for radical technological change. *Managerial and Decision Economics*, 29(2-3), pp. 79-97.
- TSENG, M. M., RADKE, A. M. (2011). Production Planning and Control for Mass Customization – A Review of Enabling Technologies. pp.195-218. In : FOGLIATTO, F. S., DA SILVEIRA, G. J. C. (éd.), *Mass Customization*. London : Springer London. (Springer Series in Advanced Manufacturing), 385 p.
- TUCK, C., HAGUE, R. (2006). The pivotal role of rapid manufacturing in the production of cost-effective customised products. *International Journal of Mass Customisation*, 1(2-3), pp. 360-373.
- TUCK, C., HAGUE, R., BURNS, N. (2007). Rapid manufacturing: impact on supply chain methodologies and practice. *International Journal of Services and Operations Management*, 3(1), pp. 1-22.
- TUSHMAN, M. L., ANDERSON, P. (1986). Technological Discontinuities and Organizational Environments. *Administrative Science Quarterly*, 31(3), pp. 439-465.
- TUSHMAN, M. L., O'REILLY, C. A. (1996). Ambidextrous Organizations: Managing Evolutionary and Revolutionary Change. *California Management Review*, 38(4), pp. 8-29.
- TUSHMAN, M. L., ROSENKOPF, L. (1992). Organizational determinants of technological-change – toward a sociology of technological evolution. *Research in Organizational Behavior*, 14, pp. 311-347.

- UNRUH, G. (2018). Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules. *California Management Review*, 60(3), pp. 95-111.
- URIONDO, A., ESPERON-MIGUEZ, M., PERINPANAYAGAM, S. (2015). The present and future of additive manufacturing in the aerospace sector: A review of important aspects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 229(11), pp. 2132-2147.
- UTTERBACK, J. M., ABERNATHY, W. J. (1975). A Dynamic Model of Process and Product Innovation. *OMEGA*, pp. 639-656.
- UZZI, B. (1997). Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness. *Administrative Science Quarterly*, 42(1), pp. 35-67.
- DE VAAN, M. (2014). Interfirm networks in periods of technological turbulence and stability. *Research Policy*, 43(10), pp. 1666-1680.
- VECCHI, A. (2017). *Reshoring of manufacturing: Drivers, Opportunities, and Challenges*. Springer International Publishing. New York, NY : Springer International Publishing, 244p.
- VENDRELL-HERRERO, F., BUSTINZA, O. F., PARRY, G., GEORGANTZIS, N. (2017). Servitization, digitization and supply chain interdependency. *Industrial Marketing Management*, 60, pp. 69-81.
- WAGNER, S. M., WALTON, R. O. (2016). Additive manufacturing's impact and future in the aviation industry. *Production Planning & Control*, 27(13), pp. 1124-1130.
- WALSH, G. S., PRZYCHODZEN, J., PRZYCHODZEN, W. (2017). Supporting the SME commercialization process: the case of 3D printing platforms. *Small Enterprise Research*, 24(3), pp. 257-273.
- WANG, Q., SUN, X., COBB, S., LAWSON, G., SHARPLES, S. (2016). 3D printing system: an innovation for small-scale manufacturing in home settings? – early adopters of 3D printing systems in China. *International Journal of Production Research*, 54(20), pp. 6017-6032.
- WELLER, C., KLEER, R., PILLER, F. T. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, 164, pp. 43-56.

- WERNERFELT, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, (6), pp. 178-203.
- WEST, J., KUK, G. (2016). The complementarity of openness: How MakerBot leveraged Thingiverse in 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, pp. 169-181.
- WILLIAMSON, O. E. (1991). Comparative Economic Organization: The Analysis of Discrete Structural Alternatives. *Administrative Science Quarterly*, 36(2), pp. 269-296
- WILLIAMSON, O.E. (1989). Transaction cost economics. pp.135-182. In : Schmalensee, R., Willig, R.D., (éd.), *Handbook of Industrial Organization, Volume I*, Elsevier Science Publishers, 942 p.
- WISE, R., BAUMGARTNER, P. (1999). Go Downstream: The New Profit Imperative in manufacturing. *Harvard Business Review*. 77 (5), 133-141.
- YEH, C.-C., CHEN, Y.-F. (2018). Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, pp. 209-216.
- YIN, R.K. (2014). *Case study research: Design and methods*. (5^{ème} éd. Révisée), Newbury Park, CA: Sage, 312p.
- ZENG, M., CHEN, X.-P. (2003). Achieving Cooperation in Multiparty Alliances: A Social Dilemma Approach to Partnership Management. *The Academy of Management Review*, 28(4), pp. 587-605.
- ZHANG, Q., VONDEREMBSE, M.A., LIM, J.-S. (2003). Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction. *Journal of Operations Management*, 21(2), pp. 173-191.

Relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. Comment les entreprises s'y prennent pour tirer parti de la fabrication additive ?

Résumé

Titre Relations inter-firmes pour l'exploration d'un nouveau paradigme techno-industriel. Comment les entreprises s'y prennent-elles pour tirer parti de la fabrication additive ?

La fabrication additive désigne un ensemble de technologies dont les caractéristiques uniques ouvrent des perspectives de conception et de production radicalement innovantes. Certains ont imaginé qu'elle permettrait un jour la fabrication décentralisée et en petites séries d'objets personnalisés aux formes complexes, grâce à des machines flexibles capables de tout fabriquer ou presque, ce qui déclencherait une nouvelle révolution industrielle. Néanmoins, pour l'heure, nous sommes encore dans la phase d'exploration de ce nouveau paradigme techno-industriel.

Nous étudions ce sujet au travers de trois instanciations particulières de ces relations inter-firmes. Nous nous intéressons d'abord à des cas où la mise en œuvre des nouvelles technologies s'est déjà opérée. Nous observons alors la transformation des chaînes de valeur où se jouent de nouvelles relations clients-fournisseurs, avec de la désintermédiation. Nous étudions ensuite des alliances multipartenaires au travers desquelles les acteurs mènent une réflexion stratégique collective pour se préparer à la fabrication additive. Si les acteurs travaillent collectivement, ils pensent et développent aussi leur propre stratégie. Enfin, nous nous penchons sur des alliances dyadiques qui visent à combiner des compétences technologiques et des compétences métier afin de rapprocher la technologie et ses applications potentielles, et donc de permettre aux acteurs de mettre en œuvre la fabrication additive pour de nouveaux usages.

A partir de ces trois plongées dans des instanciations typées des relations inter-firmes à différents stades d'exploration d'un nouveau paradigme, nous proposons un cadre intégrateur qui théorise le processus itératif et entremêlé par lequel les acteurs explorent et tirent parti du nouveau paradigme techno-industriel, façonnant ainsi les trajectoires technologiques.

Mots clés Relations inter-firmes, paradigme technologique, fabrication additive, capacités dynamiques, alliances.

Résumé en anglais

Title Inter-firm relationships for the exploration of a new techno-industrial paradigm. How firms manage to capture value from additive manufacturing?

Additive manufacturing designates a set of technologies whose unique features open radically innovative design and production possibilities. Some early authors imagined that it would eventually allow decentralized and customized production of objects with complex shapes and in small quantities, thanks to flexible machines that could manufacture about everything. This could, in turn, triggers a new industrial revolution. However, at the present time, we are still in the exploration phase of this new techno-industrial paradigm.

Inter-firm relationships appear to be crucial in the exploration of the additive manufacturing new techno-industrial paradigm. We study this exploration processes through the lenses of three specific types of inter-firm relationships.

We first focus on value chain relationships. We look at a sector where the implementation of new offerings is already effective. The competitive battle to capture value is raging. Then, we study multipartner alliances where companies engage in a collective strategic exercise to prepare themselves for additive manufacturing. If players work collectively, they also think and develop their own strategy along the way. Finally, we look at dyadic alliances implemented to combine technological and industry capabilities to connect the technologies and potential needs that previously could not be properly served. These alliances allow players to implement additive manufacturing for a few specific applications.

Based on these three sets of empirical observations on three different types of inter-firm relationships at three different stages of the exploration of the new paradigm, we present and discuss an integrative theoretical framework that models the exploration of a new techno-industrial paradigm as an iterative and intricate evolution process : the combined actions of the players involved in the exploration of the new paradigm in fact contribute to shape the technological trajectories as they aim at benefitting from the new opportunities offered.

Keywords Inter-firm relationships, technological paradigm, additive manufacturing, dynamic capabilities, alliances