HAL
open science

Modéliser l'émergence de l'expertise et sa gouvernance dans les entreprises innovantes : des communautés aux sociétés proto-épistémiques d'experts

Benjamin Cabanes

▶ **To cite this version:**

Benjamin Cabanes. Modéliser l'émergence de l'expertise et sa gouvernance dans les entreprises innovantes : des communautés aux sociétés proto-épistémiques d'experts. Gestion et management. MINES ParisTech - PSL Research University, 2017. Français. NNT : . tel-01565628v1

HAL Id: tel-01565628

https://hal.science/tel-01565628v1

Submitted on 20 Jul 2017 (v1), last revised 26 Mar 2018 (v3)

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

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

THÈSE DE DOCTORAT

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

Préparée à MINES ParisTech

Modéliser l'émergence de l'expertise et sa gouvernance dans les entreprises innovantes : des communautés aux sociétés proto-épistémiques d'experts

Ecole doctorale n°396

ECONOMIE, ORGANISATION ET SOCIETE

Spécialité SCIENCES DE GESTION

COMPOSITION DU JURY :

Mme. Florence CHARUE-DUBOC
Professeur, Ecole Polytechnique, Directeur de recherche, CNRS, Membre du jury

M. Patrick COHENDET
Professeur, HEC Montréal, Rapporteur

M. Christian DEFELIX
Professeur, IAE de Grenoble, Membre du jury

M. Philippe GALY
Directeur technique (Fellow), STMicroelectronics, Membre du jury

M. Gilles GAREL
Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers, Rapporteur

M. Pascal LE MASSON
Professeur, Mines ParisTech, Membre du jury

M. Benoit WEIL
Professeur, Mines ParisTech, Membre du jury

Soutenue par **Benjamin CABANES**
le 20 juin 2017

Dirigée par
Pascal LE MASSON
Benoit WEIL

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

À Jean-Pierre Bouliech,

Dans les rues de la ville il y a mon amour. Peu importe où il va dans le temps divisé. Il n'est plus mon amour, chacun peut lui parler. Il ne se souvient plus ; qui au juste l'aima ?

Il cherche son pareil dans le vœu des regards. L'espace qu'il parcourt est ma fidélité. Il dessine l'espoir et léger l'éconduit. Il est prépondérant sans qu'il y prenne part.

Je vis au fond de lui comme une épave heureuse. A son insu, ma solitude est son trésor. Dans le grand méridien où s'inscrit son essor, ma liberté le creuse.

Dans les rues de la ville il y a mon amour. Peu importe où il va dans le temps divisé. Il n'est plus mon amour, chacun peut lui parler. Il ne se souvient plus ; qui au juste l'aima et l'éclaire de loin pour qu'il ne tombe pas ?

René Char

Allégeance, In *Fureur et Mystère*

REMERCIEMENTS

Il y a exactement dix ans, peu de temps après avoir été reçu au baccalauréat, j'adressais une lettre à celui qui avait été mon professeur de français et qui m'avait tant inspiré. Dans cette lettre, je lui confiais toute ma reconnaissance et de toute mon admiration, sans oublier de lui révéler mon profond désir de devenir un grand écrivain. En effet, à cette époque, j'avais le projet ambitieux – sûrement trop – d'imaginer réunir, dans un nouveau style littéraire, l'ironie sensible de Capote, le rythme et la spontanéité de Kerouac, le lyrisme de Fitzgerald, l'empathie de Boulgakov, la précision de Stendhal et l'hermétisme de Char. Dans les dernières lignes de cette lettre, je lui formulais une promesse : celle qu'un jour je lui rendrai un hommage public en lui dédiant ma première œuvre littéraire, sans aucun doute, l'un des plus grands romans de ce siècle. Dix ans après, force est de constater que cette grande œuvre littéraire n'a pas émergé. J'ai bien tenté d'ajouter quelques figures de styles et quelques envolées lyriques dans ce manuscrit de thèse, cependant mes bienveillants directeurs de thèses me l'ont chaudement déconseillées. A défaut d'être cette grande œuvre littéraire, cette thèse me permet tout même de tenir ma promesse d'hommage public. Ainsi, ce manuscrit est dédié à mon professeur et ami Jean-Pierre Bouliech.

Contrairement à un roman, l'écriture d'une thèse ne repose pas seulement sur l'inspiration de l'auteur. Si elle a été écrite à deux mains, les questionnements, les analyses, les idées, les concepts et les développements sont principalement l'œuvre d'un travail d'équipe, constitué d'un doctorant et de deux directeurs de thèse. Ainsi, je tiens à remercier chaleureusement Pascal Le Masson & Benoit Weil pour avoir accepté d'encadrer mes travaux de recherche. Je leur suis reconnaissant pour leurs encouragements, leurs exigences intellectuelles, leurs intuitions, leurs conseils et pour la confiance qu'ils ont su me témoigner.

Cette thèse n'aurait jamais existé sans la volonté de certains industriels de confronter leurs pratiques gestionnaires aux dernières avancées de la recherche en sciences de gestion. Je remercie donc Patrick Cogez, Hervé Jaouen et Frédéric Bœuf, mes encadrants industriels chez ST. C'est grâce à eux que j'ai découvert le merveilleux monde la microélectronique et de l'industrie des semi-conducteurs. Ce travail de recherche n'aurait pas pu se faire sans eux. Je les remercie infiniment pour leurs ouvertures intellectuelles, leurs engagements dans mon projet, leurs conseils avisés, leurs soutiens indéfectibles et la liberté qu'ils ont bien voulu m'accorder au cours de cette recherche. Ma reconnaissance va également à Philippe Galy et Stéphane Hubac, deux grands experts chez ST et aussi deux grands amis. Grace à eux, cette thèse a aussi été une formidable aventure humaine. Enfin, je remercie aussi toute l'équipe *Photonique* & *NRJ* qui m'a gentiment accueilli chez ST. Je souhaite en particulier remercier Stéphane Monfray, Charles Baudot, Aurèlie Souhaite, Sébastien Cremer, Nathalie Vulliet, Sonia Messaoudene et Elise Baylac. Merci aussi à Catherine Soulignac, Christine Deudon, Nicolas Seller et Philippe Woest ; sans oublier mes compagnons de thèse chez ST : Maurin Douix, Jocelyn Durel, Gabriel Mugny, Gaspard Hiblot, Thomas Ferroti et Sylvain Guerber.

Je tiens également à dire un grand merci l'ensemble des membres du CGS qui ont, de près comme de loin, contribué à ce travail de recherche. Merci à Sophie, Akin, Kevin, Marine, Shenle, Lucie, Sylvain, Fred et Cédric pour les discussions que nous avons pu avoir et leurs conseils inestimables. Merci aussi à l'ensemble des doctorants du CGS, notamment Juliette, Yanyan, Laura, Adam, Germain, Hicham, Morgane, Léo, Rémi, Yohann, Nicolas, Virginie, Laure-Anne, Mario, Dominique, Olivier, Rachelle et Daniel. Enfin, un très grand merci à Stéphanie Brunet et Céline Bourdon.

Un immense merci à Teiva pour son travail de relecture et pour sa redoutable chasse aux coquilles.

Merci à mes proches et à Carine pour leur soutien et leurs nombreux encouragements.

Enfin, une thèse n'en serait pas une sans les membres du jury. Ainsi, je tiens à remercier madame Florence Charue-Duboc, monsieur Patrick Cohendet, monsieur Christian Defélix et monsieur Gilles Garel qui ont examiné et évalué ce travail.

SOMMAIRE

Introduction générale : quelle gouvernance de l'émergence de l'expertise pour l'innovation intensive ? 11
Innovation & gouvernance de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles 12
Premières hypothèses & problématique de recherche 14
Approche méthodologique de la recherche 17
Plan & itinéraire de recherche 18
Partie I. – Innovation & gestion de l'expertise dans les organisations industrielles 25
Chapitre 1 – Innovation & expertise : entre tensions et interdépendances 27
Chapitre 2 – De la gestion des experts à la gouvernance de l'expertise 57
Chapitre 3 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise : dynamique des structures d'expertise & dispositifs de gestion 79
Partie II. – Méthodologie de recherche & présentation du terrain de recherche 109
Chapitre 4 – Approche méthodologique & itinéraire de recherche 111
Chapitre 5 – Présentation du terrain de recherche & justification du caractère extrême du cas 123
Partie III. – Mise en évidence d'une anomalie concernant les théories de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles 143
Chapitre 6 – Dispositifs de gestion des experts & dynamique des expertises chez STMicroelectronics 145
Chapitre 7 – Analyse empirique des formes d'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics 177
Partie IV. – Elaboration d'un modèle formel de l'émergence de l'expertise 201
Chapitre 8 – Modèle formel de l'émergence d'expertises dans les organisations industrielles 203
Chapitre 9 – Emergence & recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics : le cas de l'expertise *FDSOI* et de la *photonique sur silicium* 231
Partie V. – Ingénierie de la gouvernance de l'émergence de l'expertise face à l'innovation intensive : principes d'organisation & modèles de gouvernance 251
Chapitre 10 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise basée sur la co-extension des structures d'expertise : vers le concept de société proto-épistémique d'experts 253
Chapitre 11 – Institutionnalisation d'une nouvelle gouvernance de l'émergence de l'expertise : l'exemple du *Technical Staff College* chez STMicroelectronics 279
Chapitre 12 – Exemples de projets entrepris par le *Technical Staff College* : la cas de la *méthode FMEA* & le cas de l'expertise *energy harvesting* 301
Conclusion générale 317
Principaux résultats de recherche 317
Implications managériales 322
Limites du travail de recherche 323
Perspectives de recherche 324
Annexes 327
Annexe 1 – Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question 329
Annexe 2 – L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise 351
Annexe 3 – Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor 363
Annexe 4 – Questionnaire sur la gestion des experts & la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 389
Annexe 5 – Listes des sujets de thèses CIFRE chez STMicroelectronics de 2004 à 2015 409
Annexe 6 – From FMEA as problem solving to design-oriented process : toward a design perspective of FMEA 429
Annexe 7 – *Disruptive Innovation Exploration Application Form* 441
Annexe 8 – Analyse statistique de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 449
Liste des figures 455
Liste des tableaux 459
Références 461
Table des matières 487

INTRODUCTION GENERALE : QUELLE GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE POUR L'INNOVATION INTENSIVE ?

Dans les organisations industrielles, les enjeux d'innovation et de renouvellement de l'expertise sont déterminants car ils contribuent aux succès et à la survie des firmes. De nos jours, dans un contexte économique caractérisé par une hyper-compétivité des marchés (D'Aveni, 1994 ; Ilinitch et al., 1996), les organisations industrielles doivent être en capacité d'introduire des innovations à fort pouvoir différenciant de manière répétée et à un rythme soutenu. La répétition de l'innovation ainsi que sa radicalité – c'est-à-dire sa capacité à produire une déstabilisation de l'identité des objets et des *dominant designs* – fondent ce que Hatchuel et al. (2002) appellent une compétition par **l'innovation intensive**. Le concept *d'innovation intensive* souligne l'impératif du renouvellement permanent des produits et des technologies (Hatchuel & Weil, 1995 ; Hatchuel et al., 2002 ; Le Masson et al., 2006). Dans les industries de hautes technologies (aéronautique, automobile, énergie, biotechnologie, nanotechnologie, technologies de l'information, semi-conducteur, etc.), caractérisées à la fois par une complexification des technologies et par un renouvellement accéléré des produits, **l'avantage compétitif des organisations de type *« science-based »* repose principalement sur la capacité de ces dernières à développer, renouveler et exploiter une expertise technologique permettant la conception de nouvelles technologies et de produits innovants.** Ce défi est souvent associé aux savoir-faire et à l'excellence scientifique et technique du personnel des départements de recherche et développement (R&D).

Les chercheurs, les scientifiques, les ingénieurs et les experts constituent des ressources indispensables, exerçant les missions de recherche et assurant le développement de l'innovation des firmes. Dans les organisations industrielles, les termes (généralement interchangeables) de « chercheur », « scientifique » et « expert » désignent un membre du personnel technique qui est reconnu par l'entreprise en tant que professionnel détenant un haut niveau d'expertise dans un domaine scientifique et technique. Dans certaines organisations, la notion d'expert désigne à la fois les experts scientifiques et techniques et les experts des grandes fonctions de l'entreprise (achats, finance, ressources humaines, logistique, etc.) (Lauzol & Jonquière, 2015). Dans ce travail de thèse, nous retiendrons uniquement la première notion : l'expert scientifique. En effet, nous nous intéresserons au secteur industriel, c'est-à-dire aux entreprises dont le cœur d'activité s'appuie sur le développement de produits et technologies, basés sur la science. Etant donné que l'avantage concurrentiel et compétitif des organisations industrielles réside essentiellement dans la conception, le développement et la maîtrise des dernières avancées scientifiques et technologiques, l'enjeu de notre thèse est donc de déterminer les relations entre la gestion des experts

techniques, le renouvellement des expertises scientifiques et technologique, et les capacités d'innovations, en particulier les capacités pour l'innovation de rupture : **Comment mobiliser le savoir des experts pour l'innovation de rupture ? Comment gérer les experts en situation d'innovation intensive ? Comment organiser l'action collective des experts pour permettre le renouvellement des expertises dans les organisations industrielles ? Quel modèle de gouvernance pour le renouvellement de l'expertise ?**

INNOVATION & GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

Paradoxalement, dans les organisations industrielles, les enjeux d'expertise et d'innovation peuvent parfois sembler en opposition ou du moins en tension. En effet, la notion d'expertise renvoie à un modèle dans lequel la connaissance, les savoirs et les savoir-faire sont stabilisés, ordonnés et validés (Larson, 1997). En tant que base de connaissances longue à constituer et à stabiliser, l'expertise tend à être protégée des ruptures technologiques. En outre, le développement de l'expertise requiert un temps long et la dynamique de son évolution est lente. Comme le remarque Lelebina (2014), la littérature souligne la règle des dix ans (Chase & Simon, 1973 ; Hayes, 1989 ; Ericsson, 1996 ; Weisberg, 2006). D'autre part, les expertises sont détenues et protégées par des communautés d'experts, qui ont tendance à poursuivre des stratégies de valorisation de l'expertise existante plutôt qu'à développer des stratégies de renouvellement des expertises (Ferlie et al., 2005). A l'opposé, l'innovation est généralement associée à la prise de risque, au changement et à l'exploration de l'inconnu (Le Masson et al., 2006). L'innovation, particulièrement celle de rupture, se caractérise par un rythme rapide et une dynamique qui tend à remettre en question les valeurs et les conventions admises et partagées. Enfin, l'innovation tend à s'opposer aux postulats établis provoquant ainsi des perturbations fortes de l'expertise existante.

Néanmoins, il existe aussi une incontestable interdépendance entre innovation et expertise. Tout comme l'innovation, la possession d'une expertise technologique est une condition nécessaire pour envisager le développement de stratégies de différenciation ayant pour objectif d'obtenir un avantage compétitif durable. L'expertise incarne les connaissances, les savoirs et les savoir-faire techniques et scientifiques sur lesquels se base le positionnement des firmes (Lelebina, 2014). L'expertise correspond donc à un potentiel d'innovations technologiques. En effet, dans les industries de haute technologie, toutes les explorations désireuses de faire émerger des solutions innovantes se basent nécessairement sur des expertises de haut niveau. Réciproquement, la création et l'émergence de nouvelles expertises ne sont pas envisageables sans des innovations de rupture (Koh, 2000). Ainsi, nous sommes face à un paradoxe : **l'expertise renforce et inhibe l'innovation.** Ce premier constat explique sans doute l'importance et la place centrale des travaux de recherche en matière de gestion des compétences et de l'expertise et de leurs conséquences sur les stratégies d'innovation des firmes. Toujours est-il que si les termes de compétence et d'expertise semblent synonymes, il n'en demeure pas moins que leur filiation théorique est cependant différente.

Dans la littérature en management stratégique, le concept de compétences souligne principalement l'aptitude de la firme à mobiliser des ressources pour l'accomplissement de ses activités. Pour innover, les compétences de la firme doivent évoluer dynamiquement. En d'autres termes, la firme doit être en mesure de pouvoir intégrer, construire, reconfigurer ses compétences pour répondre aux rapides changements de l'environnement (Teece et al., 1997). Ainsi, la création de nouveaux produits et services est directement reliée à la création de nouvelles connaissances et compétences qui rendent ces créations possibles (Nonaka & Takeuchi, 1997). **Dans cette perspective, l'innovation se définit comme la création de nouvelles connaissances qui une fois mises en application deviennent productives** (Penrose, 1959 ; Drucker, 1993). En effet, les nouvelles connaissances et compétences ont pour vocation d'être incorporées dans de nouveaux produits, technologies ou services, puis la commercialisation de ces nouveaux produits, technologies ou services génèrera potentiellement de la valeur pour l'organisation. Cette vision de la relation entre innovation, compétences et connaissances donnera naissance à plusieurs courant en management stratégique, parmi lesquels la *« Resource-Based View »* (Wernerfelt, 1984 ; Barney, 1986, 1991), la *« Knowledge-Based View »*, ou encore la *« Competence-Based View »* (Conner & Prahalad, 1996 ; Spender, 1996 ; Kogut & Zander, 1996). Cependant, il est possible de mettre en évidence de nombreuses limites à ces courants de recherche. Premièrement, le raisonnement qui consiste à affirmer que la création de nouvelles connaissances permet de créer des innovations et donc de la croissance, est loin d'être évident. En effet, dans une étude[1] portant sur les 1000 entreprises mondiales dépensant le plus en R&D, le cabinet de conseil Booz Allen Hamilton a démontré que la performance des entreprises est décorrélée du montant de leurs investissements financiers en R&D, quels qu'en soient la période ou l'indicateur économique. Ainsi, **l'innovation ne peut pas se circonscrire à un simple processus de création de connaissances**. Deuxièmement, il est communément admis que le modèle linéaire de l'innovation, selon lequel le processus d'innovation est un cheminement séquentiel qui va des activités de recherche (donc de création de connaissances) jusqu'à la mise sur le marché d'un nouveau produit, n'est pas tenable. Pour Hounshell (1996) et Kline & Rosenberg (1986), le modèle linéaire nie la diversité des processus d'innovation et leur caractère incertain, il correspond ainsi à une représentation erronée du processus d'innovation. Enfin, les processus d'apprentissage, pouvant se définir comme étant des *« processus contrôlés de production de connaissance »* (Le Masson et al., 2006), ne permettent pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence de nouvelles connaissances et des formes de gouvernance associées. Comme le remarque Le Masson & Weil (2016), la production de connaissances peut contribuer plus ou moins à l'innovation.

Dans un contexte organisationnel, **le concept d'expertise correspond aux savoirs, savoir-faire et savoir-être détenus par les individus membres de l'organisation**. Cette notion est principalement utilisée dans la littérature en gestion des ressources humaines pour mettre en évidence la figure de l'expert, désignant un membre du personnel technique qui est reconnu par l'entreprise en tant que professionnel détenant un haut niveau de connaissance (Shepard, 1956 ; Katz et al., 1990 ; Katz, 1997 ; Gastaldi & Gilbert, 2007). La question de la reconnaissance du statut d'expert dans les organisations industrielles trouve son origine dans les travaux de Shepard (1956), qui avait identifié neuf dilemmes concernant les activités de recherche dans les entreprises. Parmi ces dilemmes, la gestion du personnel technique (scientifiques, ingénieurs, chercheurs) est le plus important, en particulier la question de la

[1] Booz Allen Hamilton - Global Innovation 1000 (2005)

récompense du personnel technique. Dans les principales organisations industrielles, le succès et l'influence d'un individu se mesurent en grande partie par l'importance du nombre de personnes dont cet individu à la responsabilité, i.e. par sa position hiérarchique. Cependant, les meilleurs chercheurs et scientifiques ne sont pas forcément tous en mesurent de superviser, de gérer et d'administrer le travail des membres de l'organisation. En outre, dans une telle fonction, toute l'expertise, le savoir, les compétences et le talent créatif du chercheur ou du scientifique ne seront plus mis à profit dans l'entreprise. Il en résulte un dilemme pour la promotion et le développement de carrière du personnel technique. Face à ce constat, Shepard (1958) proposa un nouveau dispositif organisationnel : **la *double échelle***. La *double échelle* vise à offrir un parcours de carrière spécialement dédié aux experts techniques (échelle technique ou filière expertise ou filière technique) en tant qu'alternative à l'encadrement hiérarchique (échelle management ou filière management). D'une part, la filière management (*managerial ladder*) assure la promotion, le statut, la reconnaissance, le salaire, le pouvoir et l'influence des individus à travers des responsabilités de supervision et de management. D'autre part, la filière technique ou filière expertise (*technical ladder*) permet la promotion par des avantages spéciaux pouvant être obtenus sans responsabilités de supervision : par exemple, l'autonomie et la liberté dans les travaux de recherche, des salaires élevés et des titres spécifiques (expert, senior member of technical staff, senior scientist, fellow, etc.). Bien que de nombreuses entreprises aient adopté ce système, il existe actuellement un consensus, entre les chercheurs d'une part et les praticiens d'autre part, selon lequel la double échelle ne répond pas aux difficultés rencontrées dans la gestion du personnel technique (Shepard, 1958 ; Gunz, 1980 ; Allen et Katz, 1986 ; Roth, 1988 ; Katz et al., 1990 ; Gupta, 1993 ; Katz et al., 1995 ; Gand et al., 2010 ; Bobadilla & Gilbert, 2015). Récemment, de nouvelles recherches tentent d'apporter de nouvelles pistes afin d'améliorer les pratiques concernant la gestion des experts (Gand et al., 2010 ; Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012 ; Bobadilla & Gilbert, 2015). Ces travaux soulignent qu'il est plus important de prendre en compte le rôle des experts dans l'organisation que de se concentrer sur les enjeux de reconnaissance, de légitimation et de promotion. Cependant, de notre point de vue, il manque encore un cadre théorique, capable de préciser le rôle des experts en situation d'innovation intensive et d'en déduire les dispositifs de gestion associés : **quelle est la valeur de la connaissance, des compétences et de l'expertise en situation d'innovation intensive ? Comment construire, développer et mobiliser les connaissances des experts pour favoriser l'innovation de rupture ? Quels sont les rôles des experts pour favoriser les innovations de rupture ? Quels sont les dispositifs de gestion permettant de soutenir le renouvellement des connaissances, et des expertises dans une situation d'innovation intensive ?**

PREMIERES HYPOTHESES & PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Etant donné que l'innovation ne peut pas se circonscrire à un simple processus de création de connaissances, nous estimons que les concepts de processus d'apprentissage, de recherche industrielle, de production et de gestion des connaissances ne permettent pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence d'expertise et des formes de gouvernance associées. Face à ce premier constat, dans le premier chapitre de cette thèse, nous proposons d'introduire le concept de **régime d'émergence d'expertise** afin de souligner la variété des formes d'émergence d'expertise, des modes de gouvernance de l'expertise et des potentiels d'innovation atteignables. Ce concept se distingue du concept de gestion de connaissance, car il ne s'apparente pas à une démarche managériale regroupant un ensemble d'initiatives,

de méthodes et de techniques permettant d'identifier, d'organiser et de partager des connaissances dans les organisations. Ainsi, dans la première partie de cette thèse, nous allons élaborer l'hypothèse selon laquelle il devrait être possible de **distinguer deux grands archétypes de régimes d'émergence d'expertise** :

- Un régime d'émergence d'expertises **qui minimise la réorganisation des expertises existantes et qui est susceptible de préserver les *dominant designs* et d'engendrer des innovations incrémentales.**
- Un régime d'émergence d'expertises **qui provoque une restructuration profonde des expertises et qui est susceptible de provoquer des ruptures de *dominant designs* et d'engendrer des innovations de rupture.**

Cette première hypothèse nous permet d'introduire la question de recherche suivante :

Quelles sont les caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise susceptibles de provoquer des innovations de rupture ?

Nous montrerons que contrairement aux modèles classiques de type *« recherche fondamentale / recherche appliquée »* ou *« capacité d'absorption »*, chez STMicroelectronics l'émergence d'expertise n'est pas une sorte de *« génération spontanée »* à la suite de quoi le nouveau champ d'expertise se constituerait progressivement un réseau de relation avec les autres expertises existantes. Chez STMicroelectronics, **l'émergence d'expertise s'effectue en provoquant une réorganisation et une restructuration profonde des structures d'expertise existantes**. Autrement dit, le nouveau champ d'expertise émerge de la recomposition des relations d'interdépendance entre les différents champs d'expertises existants.

La notion d'émergence d'expertise a pour objectif de désigner les processus de formation de nouveaux champs d'expertise et les transformations des relations d'interdépendances entre les différents champs d'expertise. Chaque champ d'expertise émergent peut être parfaitement nouveau et totalement irréductible aux champs d'expertise préexistants. Dans la mesure où les champs d'expertise sont des ensembles structurés d'éléments interconnectés (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique), on admettra que chaque champ d'expertise est doté d'une structure propre et spécifique : on parlera donc de **structure de champ d'expertise**. D'autre part, dans les organisations industrielles les champs d'expertise ne sont pas isolés les uns des autres. Chaque champ d'expertise est nécessairement en relation avec les autres champs. Ils sont des éléments constitutifs d'un ensemble construit et organisé, faisant de cet ensemble un tout homogène et interdépendant que l'on nommera **structure d'interdépendances des champs d'expertise.** La structure d'interdépendances des champs d'expertise décrit de manière générale, la façon dont l'organisation de différents champs d'expertise constitue un système cohérent, représentant un stade plus ou moins stable de l'évolution des champs d'expertise et de leurs interdépendances. Ainsi, nous défendons l'hypothèse selon laquelle une structure d'interdépendances de l'expertise peut s'incarner et se matérialiser à la fois dans une technologie, mais aussi dans un produit, un système, un sous-système, un composant, un procédé, un service, etc. Ainsi, une structure d'expertise (structures des champs d'expertise et leurs relations d'interdépendances) se matérialise par ce que nous appelons un **artéfact technologique**. Un produit, une technologie ou un

procédé sont nécessairement des systèmes complexes composés de plusieurs champs d'expertise, mais non réductible à la somme des champs d'expertise. A partir d'un artéfact technologique (technologie, produit, procédé, système, etc.), il est possible de retrouver la structure de l'expertise, c'est-à-dire l'ensemble des différents champs d'expertise ainsi que leurs relations d'interdépendance. A partir de l'analyse des caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise et en se basant sur les notions de structure et de structure d'interdépendance des champs, nous nous intéresserons à la question de recherche suivante :

Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?

Afin de caractériser la structure d'expertise uniquement par des relations de dépendances et d'interdépendances, nous proposerons un modèle formel s'appyant sur la théorie des matroïdes. En nous appuyant sur les deux principaux opérateurs de la théorie des matroïdes, *extension* et *co-extension*, nous mettrons **en évidence quatre modèles de l'émergence de l'expertise, se différenciant selon la dynamique de leurs structures d'expertise et de leur générativité**. Ce modèle révèlera qu'un régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise permet d'augmenter la générativité des structures d'expertise (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise).

Enfin, nous faisons l'hypothèse que le développement et le renouvellement de l'expertise dans les organisations doit s'analyser par l'intermédiaire de trois dimensions : les dispositifs de gestion des ressources humaines, les systèmes de coordination et d'action collective et la définition du rôle des experts dans les organisations. Nous défendons l'idée selon laquelle, la gestion des experts ou le management de l'expertise ne sont que des composantes de ce que nous appelons la gouvernance de l'expertise. Cette distinction se base sur le fait, que les enjeux de l'expertise pour l'innovation ne peuvent se circonscrire à des techniques de gestion de carrières, à de simples dispositifs d'incitation ou encore à des méthodes et outils de gestion de l'information. Si les termes de gestion ou de management désignent généralement les pratiques liées à la planification, la mise en œuvre des processus et des méthodes pour l'organisation de l'action collective, le terme de gouvernance a un sens plus spécifique. Il permet de mettre l'accent sur l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels, dont l'objectif est de fixer le cadre général des dispositifs managériaux et d'organiser les conditions de l'action collective des différentes parties prenantes de l'organisation. Ainsi, notre troisième et dernière question de recherche vise à élaborer un dispositif organisationnel pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive.

Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?

A partir **des idéaux-types de communauté et société** (Tönnies, 1957), nous proposerons d'introduire le concept de ***société proto-épistémique d'experts***. La *société proto-épistémique d'experts* est une réponse aux enjeux managériaux qu'impose un régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise. Par conséquent, la *société proto-épistémique d'experts* a pour objectif d'organiser des stratégies d'exploration de champs d'innovation, non pas centrées sur la création de produits, mais sur **la**

conception de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif. D'autre part, étant donné la nature des structures d'interdépendance des expertises, la *société proto-épistémique d'experts* a pour but d'instituer, de gérer et de piloter les **réorganisations des relations d'interdépendances entre les expertises** pour provoquer la rupture des *dominant designs*.

APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE

La recherche a été conduite dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) chez STMicroelectronics de novembre 2013 à novembre 2016. En tant que chercheur en sciences de gestion, tout en étant salarié de l'entreprise qui constitue notre terrain de recherche, nous avons adopté une position de *« chercheur-acteur »* (Lallé, 2004). En nous basant sur la typologie proposée par David (2000), **notre travail de recherche peut être qualifié de recherche-intervention car notre objectif est de contribuer à proposer un modèle théorique et à transformer le système organisationnel à partir d'un projet concret de transformation.** Ainsi, notre ambition est de produire des connaissances à la fois scientifiques et utiles à l'action. La majorité des données ont été recueillies au sein de STMicroelectronics et cela a été rendu possible par notre interaction directe sur le terrain. Lors de notre recherche, nous avons mobilisé plusieurs types de données indispensables pour les démarches qualitatives :

- Données *« froides »* : documentations internes, organigrammes, roadmaps technologiques, documentations administratives, documentations techniques, base de brevets, manuscrits de thèses, publications scientifiques (conférences et journaux), sites internet, intranet, comptes rendus de réunions, etc.
- Données *« chaudes »* : observation participante, réunions d'équipe hebdomadaires, réunions mensuelles, etc.
- Questionnaires et entretiens semi-directifs avec les principaux responsables et acteurs en charge de la gestion des experts et de l'expertise chez STMicroelectronics.

Le point de départ de notre recherche a consisté à **l'analyse des cadres théoriques existants** concernant la gouvernance de l'expertise, l'émergence de l'expertise et la gestion de l'innovation intensive (**Partie I**). Pour **révéler un nouvel objet absent de la littérature ou une anomalie théorique** (**Partie III**), nous avons suivi un processus d'identification et de caractérisation (Siggelkow, 2007) : caractérisation et identification des modèles existants dans la littérature, définition de descripteurs permettant de déterminer l'anomalie, modélisation de cette anomalie et construction d'un instrument pour décrire le phénomène de recherche correspondant. Dans notre cas, **il s'agit d'un contre-exemple soulignant les limites des cadres théoriques existants** (Siggelkow, 2007). Nous nous basons sur un cas unique (STMicroelectronics) car nous estimons qu'il a été choisi et analysé avec précision et qu'il constitue une base solide à la constitution d'un « *free-standing model* », c'est-à-dire **un modèle théorique qui paraît plausible en lui-même et pour lequel le cas sert à identifier les principaux paramètres** (Siggelkow, 2007). En effet, le cas n'a pas été choisi pour sa représentativité étant donné qu'il ne vise pas à tester un modèle, mais parce qu'il remet en question le domaine de validité des théories existantes (Eisenhardt & Graebner, 2007). Par conséquent, **nous nous sommes attachés à construire un modèle théorique capable de rendre compte de ce phénomène tout en tenant compte des cadres théoriques**

préexistants (**Partie IV**). Enfin, à partir du modèle théorique développé, nous proposons d'expérimenter un nouveau dispositif de gestion (**Partie V**). Cette étape correspond à la phase d'intervention. Le chercheur, en collaboration avec les praticiens, propose un nouveau dispositif de gestion en réponse à la problématique soulevée et en se basant sur le modèle théorique développé.

PLAN & ITINERAIRE DE RECHERCHE

Afin de répondre à notre problématique de recherche, nous avons structuré notre manuscrit de thèse en cinq parties. Notre itinéraire de recherche se base sur un processus récursif mobilisant trois niveaux de raisonnement scientifique : abduction / déduction / induction. Ces différents niveaux se caractérisent respectivement par le choix de cadres théoriques pour rendre compte du phénomène étudié, la mise en évidence d'une anomalie théorique face à des observations empiriques, une modélisation théorique expliquant les faits empiriques et la mise en œuvre d'expérimentations pour tester le modèle théorique. Ainsi, notre recherche s'est déroulé selon trois étapes : une phase d'abduction pour analyser les cadres théoriques (Partie I) et relever une anomalie (Partie III), une phase déductive de modélisation des mécanismes d'émergence de l'expertise (Partie IV) et une phase inductive pour tester de nouveaux dispositifs de gestion (Partie V). La Partie II de cette thèse est dédiée à la présentation de la méthodologie de recherche et du terrain de recherche.

Dans la **première partie** de ce manuscrit de thèse, nous proposons une revue de littérature et un état de l'art des cadres théoriques portants sur les enjeux d'innovation et d'expertise sur les organisations industrielles. L'objectif de cette partie vise principalement à présenter les principaux concepts et limites des cadres théoriques existants, nous permettant ainsi d'introduire notre problématique de recherche.

Dans le **chapitre 1,** nous mettons en évidence les relations complexes entre innovation et expertise dans les organisations industrielles. D'un côté, la notion d'expertise renvoie à un modèle dans lequel la connaissance, les savoirs et les savoir-faire sont stabilisés, ordonnés et validés. D'un autre côté, la notion d'innovation est généralement associée à la prise de risque, à l'incertitude et au changement. Néanmoins, il y a aussi une incontestable interdépendance entre innovation et expertise. En effet, dans les industries de haute technologie, toutes les explorations désireuses de faire émerger des solutions innovantes se basent nécessairement sur des expertises de haut niveau. Ainsi, ce chapitre nous permet d'exposer un paradoxe : **l'expertise renforce et inhibe l'innovation.** Après avoir souligné que les capacités d'innovation des firmes sont directement reliées aux activités de conception, nous introduisons le concept de **régime d'émergence d'expertise** afin de souligner **la variété des formes d'émergence d'expertise et leurs interdépendances aux modes de gouvernance de l'expertise**. Le concept de régime d'émergence d'expertise postule que l'émergence et la gouvernance de l'expertise sont forcément liées aux capacités génératives de nouveaux concepts : une gouvernance de l'émergence de l'expertise minimisant la générativité de nouveaux concepts innovants ou une gouvernance de l'émergence de l'expertise favorisant l'expansions de la générativité de nouveaux concepts. Par conséquent, les développements de ce chapitre nous permettent de formuler l'hypothèse selon laquelle **il existe différentes formes d'émergence d'expertise et que ces différentes formes d'émergence auront un impact différent en matière de potentiel d'innovation.**

Dans le **chapitre 2,** nous étudions la figure de l'expert dans la littérature en sciences de gestion. Nous proposons ensuite de mettre en évidence le modèle de référence en matière de gestion des experts et de l'expertise dans l'organisation : la **double échelle**. Cependant, nous montrons qu'il n'est pas adapté aux enjeux de l'innovation intensive et qu'il ne permet pas de gérer et d'organiser l'action collective des experts pour le renouvellement des expertises face à l'innovation intensive. Enfin, nous terminons en défendant l'idée selon laquelle, **la gestion des experts ou la gestion des connaissances ne sont que des composantes de ce que nous appelons la gouvernance de l'expertise**. Nous définissons la gouvernance de l'expertise comme l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation, afin d'assurer le développement et le renouvellement des champs d'expertise permettant la conception et la production des technologies et produits futurs de l'organisation. D'autre part, nous proposons de penser la gouvernance de l'expertise selon trois dimensions : un modèle de coordination et d'action collective, un modèle de GRH et un modèle du rôle de l'expert dans l'organisation. **C'est ce que nous appelons l'approche trilogique de la gouvernance de l'expertise**.

Dans le **chapitre 3,** nous mettons en évidence les processus de formation de nouveaux champs d'expertise et les transformations des relations d'interdépendance entre ces différents champs d'expertise. Dans un premier temps, nous introduisons les concepts de **structure de champ d'expertise** et de **structure d'interdépendance des champs d'expertises.** Ces notions visent à souligner que chaque champ d'expertise est doté d'une structure propre et spécifique, c'est-à-dire que chaque champ d'expertise est doté d'un ensemble structuré d'éléments interconnectés (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique). Deuxièmement, à partir de la notion de régime d'émergence d'expertise, introduite dans le premier chapitre, nous proposons de distinguer trois archétypes d'émergence d'expertise selon la nature des formes d'émergence de l'expertise et selon leur modèle de gouvernance associé : (1) un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise (laboratoire de recherche industriel), (2) un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise (gestion de projet) et (3) un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise (plateforme technologique). Nous défendons l'idée selon laquelle ces trois régimes d'expertise visent à préserver une partie des structures d'expertise et à favoriser une dynamique déterministe de ces structures. Par conséquent, pour sortir des *dominant designs* et potentiellement concevoir des innovations de rupture, il faut donc un autre modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise capable d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus. Nous terminons ce chapitre en introduisant nos trois questions de recherche : **Quelles sont les caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise susceptibles de provoquer des innovations de rupture ? Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ? Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?**

La **seconde partie** de ce manuscrit de thèse, présente en détail notre méthodologie de recherche ainsi que notre terrain de recherche.

Dans le **chapitre 4,** nous présentons notre méthodologie de recherche ainsi que l'itinéraire de recherche que nous avons suivi dans cette thèse. **Nous avons opté pour une démarche exploratoire et longitudinale à partir du cas d'une organisation industrielle faisant face à des problématiques de gestion des experts et de l'expertise face à l'innovation intensive : STMicroelectronics**. La recherche a été conduite dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE). Notre méthodologie de recherche se base sur une méthode de recherche collaborative (Shani et al., 2008), menée par des chercheurs et des praticiens afin de créer des connaissances concrètes pour l'organisation et de nouveaux modèles théoriques pour la recherche en sciences de gestion (David & Hatchuel, 2008).

Dans le **chapitre 5,** nous présentons notre terrain de recherche en justifiant le choix de celui-ci, en lien avec notre problématique de recherche. Etant donné que notre projet de recherche a pour objectif d'étudier les formes de gouvernance d'expertise pour l'innovation de rupture**, nous avons choisi d'inscrire notre recherche dans un contexte particulier où les tensions entre expertise et innovation sont maximales**. C'est ainsi que nous avons choisi le secteur industriel des semi-conducteurs, notamment pour d'autres raisons : très haut niveau d'expertise technique et scientifique, grande variété d'expertise nécessaire à la conception des produits semi-conducteurs, importance des activités de recherche scientifique, complexité des produits et des technologies, contraintes scientifiques et techniques, interdépendance entre différents champs d'expertise. Nous avons décidé de nous intéresser plus particulièrement à l'entreprise STMicroelectronics. Ce choix est naturel dans la mesure où STMicroelectronics est une société européenne (franco-italienne) et l'un des principaux leaders européens et mondiaux de l'industrie des semi-conducteurs. De plus, l'entreprise STMicroelectronics a été retenue en raison de sa forte activité de R&D (plus de 1,5 milliard de dollars d'investissement en R&D), de son haut niveau d'expertise (plus de 480 experts scientifiques et techniques reconnus internationalement), de sa capacité à mener des stratégies d'innovation technologiques et pour son aptitude à inventer de nouveaux modèles de gestion.

La **troisième partie** de ce manuscrit de thèse présente une analyse empirique des dispositifs de gestion en lien avec la gestion des experts et des expertises chez STMicroelectronics. D'autre part, en analysant empiriquement la dynamique et les formes d'émergence des expertises chez STMicroelectronics, cette partie a pour objectif de mettre en évidence une anomalie théorique concernant l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles.

Dans le **chapitre 6,** nous présentons les dispositifs de gestion des experts chez STMicroelectronics ainsi que la dynamique des expertises dans cette même organisation. Premièrement, nous présentons l'ensemble des dispositifs existants parmi lesquels la double échelle, les *Technical Advisory Committees*, la charte des experts, l'observatoire des métiers, le réseau social d'entreprise spécialement dédié aux experts. De plus, **nous analysons ces dispositifs en fonction des dispositifs existants dans d'autres entreprises industrielles** : Renault, Safran et Schneider Electric. Nous montrons que ces dispositifs sont communément utilisés par la plupart des entreprises industrielles telles qu'IBM, Danone, Areva, Google, HP, Xerox, Microsoft, Raytheon, Renault, Thales, etc. D'autre part, nous soulignons que ces dispositifs s'interprètent parfaitement dans les modèles théoriques de la gestion des experts et de l'expertise que nous

avons présentés dans les chapitres précédents. Deuxièmement, à partir d'une analyse empirique, **nous avons cherché à confirmer ou à infirmer les hypothèses qui sous-tendent les principaux modèles de gouvernance de l'expertise, que nous avons présentés dans les chapitres précédents.** A partir de trois bases de données distinctes (questionnaire, base de données sur les expertises issues de la plateforme *Researchgate*, base de données des thèses CIFRE chez STMicroelectronics), et après avoir identifié des modèles théoriques dans la littérature, nous avons proposé des caractéristiques ou des descripteurs afin de mettre en évidence une anomalie. Pour cela nous avons cherché à vérifier les onze premières caractéristiques correspondant aux modèles théoriques**. Notre analyse empirique nous a ensuite permis d'infirmer chacune de ces caractéristiques et de mettre en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature**, parmi lesquels : le statut d'expert n'est pas nécessairement corrélé à la durée d'expérience, les experts sont multi-expertise, l'action collective des experts n'est pas circonscrite aux collectifs de métier, etc.

Dans le **chapitre 7,** nous caractérisons la nature et les formes de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics. Pour analyser l'émergence de l'expertise, nous nous appuyons sur une base de données de 647 sujets de thèses sur une période de douze ans (entre 2004 et 2015). **Notre ambition est de mettre en évidence les structures d'expertise au sein de l'organisation et d'en évaluer la nature de leurs dynamiques.** Nous proposons de représenter la structure des expertises sous forme de graphe. La théorie des graphes nous permet de modéliser la structure des expertises (relations d'interdépendances entre les expertises) par des modèles abstraits de dessins de réseaux reliant des objets. Nous proposons quatre modèles d'émergence : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise (modèle 1), un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise (modèle 2), un modèle d'émergence de l'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise (modèle 3) et un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise (modèle 4). Ainsi, pour chaque modèle nous proposons des simulations d'émergence d'expertise. Enfin, nous comparons les résultats de nos simulations avec l'analyse empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics. **La comparaison entre les résultats des simulations et les résultats de notre analyse empirique nous permet de conclure sur la nature de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics** : l'émergence de l'expertise correspond à un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise.

La **quatrième partie** de ce manuscrit de thèse a pour objectif de proposer un modèle théorique intégrateur afin de rendre compte de ces différentes formes d'émergence de l'expertise et de répondre à la question de recherche suivante : comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?

Dans le **chapitre 8,** nous proposons un modèle théorique intégrateur afin de rendre compte de ces différentes formes d'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles. Notre modèle formel vise à proposer une représentation simplifiée du fonctionnement et des mécanismes de l'émergence d'expertises au sein des organisations industrielles**. Pour cela, nous nous basons sur la théorie des matroïdes afin de représenter des structures d'expertise ainsi que leurs dynamiques**. Nous nous appuyons sur les deux principaux opérateurs de la théorie des matroïdes : *extension* et *co-extension*.

Premièrement, ces opérateurs ont pour objectif de caractériser la nature de l'émergence d'expertises. Deuxièmement, l'enjeu est de relier, par l'intermédiaire de ces deux opérateurs, la nature de l'émergence d'expertise et le potentiel d'innovation. **Le potentiel d'innovation caractérise la relation entre la dynamique de la structure d'expertise et sa capacité à générer une large variété de nouveaux artefacts technologiques.** Nous défendons donc l'idée selon laquelle la dynamique des structures d'expertise peut être plus ou moins générative. Nous proposons quatre modèles de l'émergence de l'expertise qui se différencient selon la dynamique de leurs structures d'expertise et de leur générativité. Nous insistons particulièrement sur la description du modèle d'émergence d'expertise le plus génératif : modèle d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise. **Enfin, nous terminons ce chapitre en mettant en évidence les enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.**

Le **chapitre 9** a pour objectif d'illustrer les processus d'émergence et de recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics. Premièrement, nous choisissons de présenter l'émergence de l'expertise FDSOI qui est considérée, par l'industrie, comme ayant permis une rupture technologique majeure pour la poursuite de la miniaturisation des circuits électroniques. Deuxièmement, nous présentons l'émergence de l'expertise photonique sur silicium. Par ailleurs, **ces études de cas visent aussi à illustrer le modèle formel que nous avons présenté dans le chapitre précédent**. Enfin, nous insistons particulièrement sur les enjeux managériaux qui résultent d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.

La **cinquième et dernière partie** de ce manuscrit de thèse a pour objectif de proposer un modèle de gouvernance pour l'émergence de l'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertises et de répondre à la question de recherche suivante : quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?

Le **chapitre 10** a pour objectif d'étudier la nature des modèles de coordination et d'action collective susceptible d'accompagner un régime d'émergence d'expertise capable de contribuer à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise). **A partir des idéaux-types de communauté et société (Tönnies, 1957), nous proposons d'introduire le concept de *société proto-épistémique d'experts.*** Ce concept se construit par opposition au concept de *communauté épistémique d'experts.* Une *communauté épistémique d'experts* peut se définir comme un groupe d'individus partageant un même domaine d'expertise permettant une compréhension partagée et ayant un objectif cognitif commun de création de connaissances dans un champ d'expertise spécifique. A l'inverse, le concept de *société proto-épistémique d'experts* se caractérise comme un groupe d'individus partageant des domaines d'expertise différents et ayant pour objectif cognitif commun de **faire émerger une nouvelle proto-expertise et de réorganiser les relations d'interdépendance d'expertise afin de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs.*** Enfin, nous terminons ce chapitre en questionnant le rôle et la place de la *société proto-épistémique d'experts dans la gouvernance de l'entreprise.*

Le **chapitre 11** a pour objectif de proposer et d'expérimenter un nouveau modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise. Conformément à notre méthodologie de recherche, ce chapitre illustre la phase d'intervention qui s'est déroulée de novembre 2014 à novembre 2016. **En se basant sur le concept de *société proto-épistémique d'experts*, nous proposons un nouveau dispositif de gestion permettant d'assurer l'émergence d'expertise en situation d'innovation intensive : le *Technical Staff College*.** Ce dispositif a été co-construit par une équipe composée d'experts (membres de la filière technique), de managers, de directeurs de l'innovation, de responsables des ressources humaines et des chercheurs en sciences de gestion. Ce nouveau dispositif organisationnel vise à dépasser les outils traditionnels de la gestion des experts et de l'expertise, tels que la double échelle, et à organiser le pilotage de l'émergence et du renouvellement des expertises pour l'innovation de rupture. Cette organisation a pour missions principales de fédérer l'ensemble des membres du personnel techniques (experts), de motiver les membres du personnel technique, de gérer la dynamique des expertises au sein de l'organisation, de piloter et organiser le renouvellement des expertises pour l'innovation, de gérer l'exploration de nouveau concepts d'innovation de rupture et de participer à l'élaboration des stratégies de recherche de l'entreprise. Enfin, nous terminons le chapitre en expliquant comment cette nouvelle structure organisationnelle a été institutionnalisée au sein de l'organisation, notamment par l'intermédiaire d'une refonte de la charte des experts et de la matrice d'évaluation de la filière technique.

Le **chapitre 12** a pour objectif d'illustrer les actions concrètes entreprises par le *Technical Staff College*. Premièrement, nous présenterons un projet d'évaluation et d'amélioration des méthodes de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité dans les activités de productions, notamment la méthode FMEA. La méthode FMEA est une procédure systématique ayant pour but d'identifier, d'anticiper et d'évaluer les modes de défaillance ainsi que leurs conséquences sur les systèmes, les produits, les technologies et les processus. Les experts du *Technical Staff College* ont décidé d'entreprendre **la refondation théorique et pratique de la méthodes FMEA, afin de proposer notamment des améliorations susceptibles de perfectionner la gestion de la qualité et de la fiabilité dans les activités de conception et de production.** Deuxièmement, nous présenterons un projet d'émergence d'un nouveau champ d'expertise. Ce projet vise à développer une expertise en récupération d'énergie (*energy harvesting*) afin de permettre la conception de technologies innovantes de récupération d'énergie pour les capteurs autonomes. Cependant, concevoir des objets autonomes du point de vue énergétique est un défi majeur pour les acteurs de l'industrie. C'est dans ce contexte que deux experts en CMOS et en électronique de **STMicroelectronics** (un *Company Fellow* et un *Senior Member of Technical Staff*) **ont proposé d'explorer un nouveau champ d'innovation au sein de l'entreprise : systèmes innovants de récupération d'énergie (energy harvesting) pour les capteurs autonomes.** Ce collectif d'experts a donc pris en charge l'exploration de ce nouveau champ d'innovation avec pour objectif de développer un nouveau champ d'expertise dans le domaine de la récupération d'énergie spécifiquement destiné aux composants électroniques.

PARTIE I. – INNOVATION & GESTION DE L'EXPERTISE DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

Partie I. – Innovation & gestion de l'expertise dans les organisations industrielles 25

Chapitre 1 – Innovation & expertise : entre tensions et interdépendances 27

Chapitre 2 – De la gestion des experts à la gouvernance de l'expertise 57

Chapitre 3 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise : dynamique des structures d'expertise & dispositifs de gestion 79

CHAPITRE 1 – INNOVATION & EXPERTISE : ENTRE TENSIONS ET INTERDEPENDANCES

Chapitre 1 – Innovation & expertise : entre tensions et interdépendances 27

1. L'expertise dans les organisations : frein ou moteur de l'innovation ?.....30

1.1. Connaissance, compétences & innovation.....30

1.2. Typologies de l'innovation basée sur les dimensions de la connaissance 32

1.3. Les limites d'un modèle de l'innovation fondées sur les connaissances.....34

2. Les défis d'un capitalisme de l'innovation intensive.....37

2.1. Innovation intensive & rupture de l'identité des objets 38

2.2. La conception comme capacité d'innovation 41

2.3. Les théories de la conception : exploration & structuration de l'inconnu.....44

3. Régime de conception & régime d'émergence d'expertise.....49

3.1. Conception réglée & conception innovante.....49

3.2. Identité de l'objet en tant que produit & identité de l'objet en tant qu'expertise.....52

3.3. Le concept de régimes d'émergence d'expertise.....54

4. Synthèse du chapitre 1 56

Depuis le renouveau du discours stratégique des années 1980, les concepts de ressources, de routines, de connaissances, de compétences, d'expertise et d'apprentissage se sont révélés comme étant les notions clés pour l'analyse de la performance et de la compétitivité des firmes. Cependant, les chercheurs en sciences de gestion parlent-ils la même langue lorsqu'ils dissertent sur ces concepts ? N'assistons-nous pas plutôt à une *« babélisation des langues théoriques »* empêchant ainsi les chercheurs à éclaircir les enjeux épistémologiques de leurs réflexions et de leurs débats ?

> *« Dans une langue sociale, c'est la babélisation des langues théoriques et des métalangues de leur description qui détourne les chercheurs d'éclaircir l'enjeu épistémologique de leurs débats quotidiens, les incitant plutôt à chercher un abri méthodologique éprouvé, aussi loin que possible des querelles qui semblent vite byzantines dès qu'on en égare le dictionnaire. » (Passeron, 2013).*

En effet, force est de constater que les concepts de compétence, de savoir et de connaissance font l'objet de multiples définitions et interprétations dans les sciences de gestion[2].

Pour penser les stratégies d'innovation dans les organisations industrielles, la question de la gestion des compétences et de l'expertise est devenue centrale dans les travaux et dans la pratique du management. Si les termes de *compétence* et d'*expertise* sont les deux faces d'une même pièce, leurs filiations théoriques sont cependant différentes[3]. Dans la littérature en management stratégique, le concept de *compétences* souligne principalement l'aptitude de la firme à mobiliser des ressources pour l'accomplissement de ses activités. Pour innover, les compétences de la firme doivent évoluer dynamiquement ; en d'autres termes la firme doit être en mesure de pouvoir intégrer, construire, reconfigurer ses compétences pour répondre aux rapides changements de l'environnement (Teece et al., 1997). La dynamique des compétences s'appuie principalement sur les capacités et les stratégies d'apprentissage organisationnel de la firme : ce sont les processus de création et de formation des savoirs au sein des organisations. Dans les organisations, le concept d'*expertise* correspond aux savoirs, savoir-faire et savoir-être détenus par les individus membres de l'organisation. Cette notion est principalement utilisée dans la littérature en gestion des ressources humaines pour mettre en évidence la figure de l'expert, désignant un membre du personnel technique qui est reconnu par l'entreprise en tant que professionnel détenant un haut niveau de connaissance (Shepard, 1956 ; Katz et al., 1990 ; Katz, 1997 ; Gastaldi & Gilbert, 2007 ; Defelix et al., 2015). Cependant, le concept d'expertise ne se circonscrit pas à l'unique détention d'une connaissance particulière de haut niveau. L'*expertise* se définit aussi comme la mise œuvre de connaissances spécifiques pour l'action (Lascoumes, 2002), c'est-à-dire qu'elle ne se réduit pas à la simple propriété intrinsèque de l'expert. En ce sens les concepts de *compétence* et d'*expertise* sont bien plus similaires qu'il n'y paraît.

Cependant, à des fins de clarification, des distinctions précises s'imposent. Dans le management stratégique, le concept de *compétence* a tendance à englober un large ensemble de catégories. En effet, ce concept désigne à la fois l'ensemble des actifs intangibles (connaissances, savoirs et savoir-faire) ainsi que

[2] Pour une revue de littérature détaillée des concepts de compétence, de savoir et de connaissance, cf. annexe en fin de manuscrit : *Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question.*
[3] Pour une revue de littérature détaillée des théories de l'expertise, cf. annexe en fin de manuscrit : *L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise.*

l'organisation et les processus permettant un déploiement coordonné des actifs. Nous proposons de modéliser le concept d'*expertise* en tant que sous-catégorie du concept de *compétences* [Figure 1].

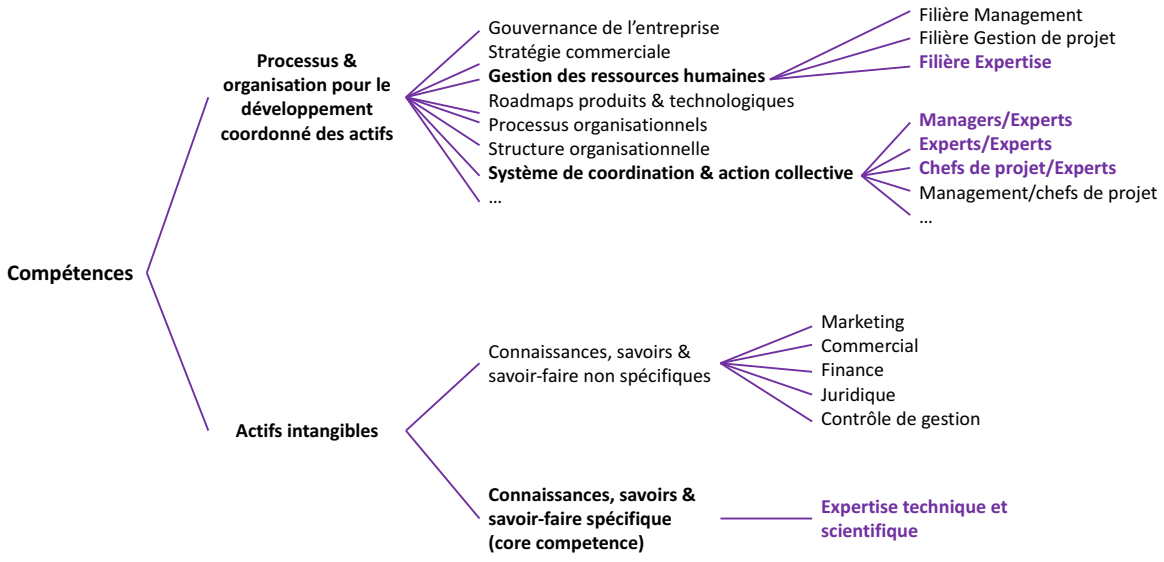


Figure 1: Relation entre les concepts de compétences et d'expertise

Premièrement, ce modèle distingue deux types d'actifs intangibles :

- Les connaissances, savoirs et savoir-faire non spécifiques de la firme (marketing, commercial, finance, juridique, etc.) qui ne relèvent pas de l'expertise.
- Les connaissances, savoirs et savoir-faire spécifiques de la firme – pouvant offrir, dans un secteur industriel, un avantage concurrentiel durable – qui relèvent de l'expertise (connaissances, savoirs et savoir-faire technologiques et scientifiques).

Afin de différencier ces différents types d'actif. Nous désignons par **domaine ou *champ d'expertise*** un **ensemble cohérent et structuré de connaissances, de savoirs et de savoir-faire spécialisés, spécifiques à la firme, de nature scientifique et technique, et pouvant offrir un avantage concurrentiel durable**. Ainsi les organisations industrielles disposent d'un ensemble d'actifs intangibles non spécifiques et d'un ensemble de champs d'expertise. Par exemple, dans l'industrie du semi-conducteur, la photolithographie, la gravure, la modélisation TCAD[4], l'optique, l'électronique, les procédés de fabrication des semi-conducteurs, le manufacturing, les procédés de conception des circuits intégrés, la chimie et la physique des semi-conducteurs sont des champs d'expertises. Les champs d'expertise sont spécifiques à l'industrie et à l'organisation. Dans l'industrie aéronautique,

[4] Conception assisté par ordinateur visant à modéliser la fabrication des dispositifs à semi-conducteurs et leur fonctionnement.

l'aérodynamique, l'avionique, la mécanique du vol, l'acoustique et l'aérothermique sont d'autres champs d'expertise. Des entreprises évoluant dans le même secteur industriel peuvent posséder les mêmes champs d'expertise, néanmoins ces champs d'expertise peuvent se distinguer en matière de qualité, de degrés de maîtrise, de sophistication et de performance.

1. L'EXPERTISE DANS LES ORGANISATIONS : FREIN OU MOTEUR DE L'INNOVATION ?

De prime abord, dans un contexte organisationnel, les enjeux d'expertise et d'innovation semblent en opposition ou du moins en tension. En effet, d'un côté l'expertise renvoie à un modèle dans lequel la connaissance, les savoirs et les savoir-faire sont stabilisés, ordonnés et validés (Larson, 1997). D'autre part, le développement de l'expertise requiert un temps long et la dynamique de son évolution est lente. Comme le remarque Lelebina (2014), la littérature souligne la règle des dix ans (Chase & Simon, 1973 ; Ericsson, 1996 ; Hayes, 1989 ; Weisberg, 2006). Enfin, le contenu de l'expertise est détenu et protégé par des communautés, qui ont tendance à développer des stratégies de valorisation de l'expertise existante plutôt qu'à élaborer des stratégies de renouvellement de l'expertise (Ferlie et al., 2005). En tant que base de connaissances stabilisées et longue à constituer, l'expertise tend à être protégée des ruptures technologiques. En effet, les firmes ont tendance à vouloir valoriser et exploiter l'expertise existante afin d'assurer un retour sur investissement. A l'opposé, l'innovation est généralement associée à la prise de risque, à l'incertitude et au changement (Le Masson et al., 2006). L'innovation, et en particulier l'innovation de rupture, se caractérise par un rythme rapide et une dynamique qui tend à remettre en question les valeurs et les conventions admises et partagées. Enfin, l'innovation tend à s'opposer aux postulats établis provoquant ainsi des perturbations fortes de l'expertise existante.

Cependant, il y a aussi une incontestable interdépendance entre innovation et expertise. Tout comme l'innovation, la possession d'une expertise technologique est une condition nécessaire pour les organisations qui envisagent de développer des stratégies de différenciation et qui cherchent à obtenir un avantage compétitif durable. L'expertise incarne les connaissances, les savoirs et les savoir-faire techniques et scientifiques sur lesquels se base le positionnement des firmes (Lelebina, 2014). L'expertise correspond donc à un potentiel d'innovations technologiques. En effet, dans les industries de haute technologie, toutes les explorations désireuses de faire émerger des solutions innovantes se basent nécessairement sur des expertises de haut niveau. Réciproquement, la création et l'émergence de nouvelles expertises ne sont pas envisageables sans des innovations de rupture (Koh, 2000). Ainsi, nous sommes face à un paradoxe : **l'expertise renforce et inhibe l'innovation.**

1.1. CONNAISSANCE, COMPETENCES & INNOVATION

Dans la littérature en management, la relation entre expertise et innovation est avant tout exprimé à travers le lien entre connaissance et innovation. Comme le souligne Nonaka & Takeuchi (1997), la création de nouveaux produits et services est directement reliée à la création de nouvelles connaissances qui rendent ces créations possibles.

> *« Comprendre comment les organisations créent de nouveaux produits, de nouvelles méthodes et de nouvelles formes organisationnelles est important. Mais il est encore un besoin plus fondamental qui consiste à comprendre comment les organisations créent les nouvelles connaissances qui rendent ces créations possibles » (Nonaka & Takeuchi, 1997 p. 6).*

Dans cette perspective, l'innovation se définit comme la création de nouvelles connaissances qui une fois mises en application deviennent productives (Penrose, 1959 ; Drucker, 1993). En effet, les nouvelles connaissances ont pour vocation à être incorporées dans de nouveaux produits, technologies ou services, puis la commercialisation de ces nouveaux produits, technologies ou services génèrera potentiellement de la valeur pour l'organisation.

Cette vision de la relation entre connaissance et innovation exprime de façon générale le renouveau du discours stratégique qui a émergé dans la littérature en management stratégique dans les années 1980. Ce renouveau théorique, en partie en réaction aux travaux de Michael Porter (1980), est basé sur l'idée selon laquelle les concepts de ressources, de routines et de compétences de la firme doivent faire l'objet d'une théorie pour penser les enjeux d'acquisition et de conservation de l'avantage concurrentiel durable des firmes. La théorie dite *« fondées sur les ressources »* ou *Resource-Based View* (RBV) est le courant fondateur de l'approche ressources et compétences. Ce premier courant est représenté par les travaux de Wernerfelt (1984) et de Barney (1986, 1991). Le point de départ de ce courant repose sur les développements d'Edith Penrose (1959), selon lesquels la firme ne peut pas se circonscrire à une fonction de production. Pour Penrose, la firme est une entité organisée et administrée, mais pas seulement, elle est aussi une entité constituée de différents types de ressources dont l'exploitation peut être diverse et variée. Les ressources désignent un ensemble d'actifs tangibles et intangibles mobilisables par la firme, pour la réalisation de ces objectifs et l'amélioration de ses performances. Dans son article séminal, Wernerfelt (1984) reprendra cette définition des ressources en y apportant quelques exemples, parmi lesquels la marque, les connaissances technologiques, les compétences des employés, le capital, les procédures, etc. Dans ce courant, la stratégie dépend essentiellement des ressources et compétences idiosyncratiques dont la firme dispose, et non plus exclusivement de l'analyse des facteurs environnementaux.

Dans le prolongement de la RBV, de nouveaux développements vont émerger en se focalisant particulièrement sur les ressources difficilement échangeables. Dans la *« Knowledge-Based View »* (KBV) et la *« Competence-Based View »* (CBV), initiées par Demsetz (1988), Conner & Prahalad (1996), Spender (1996) et Kogut & Zander (1996), les auteurs s'intéressent tout particulièrement aux ressources intangibles que sont les connaissances et les compétences. L'accent est mis sur les enjeux de la dynamique des organisations. Si dans la RBV le cadre d'analyse est statique, dans les développements les plus récents l'ambition est d'élaborer un cadre dynamique pour penser les conditions de création, de modification, de transformation et d'évolution des connaissances et des compétences des firmes. Ainsi, du concept de ressource, on passe aux concepts de compétence ou de capacité, que l'on retrouve dans la littérature anglo-saxonne sous les terminologies suivantes : *competences*, *capability* et *capacity*. Les concepts de compétence ou de capacité sont définis en tant qu'aptitude à mobiliser des ressources pour accomplir une tâche ou une activité (Grant, 1991). Ces concepts tentent d'illustrer le fait que la simple possession d'une ressource ne saurait garantir l'accès aux bénéfices que celle-ci pourrait procurer. Pour exploiter une ressource, la firme

se doit d'être en capacité d'utiliser et d'appliquer des connaissances, de maîtriser des technologies et des méthodes de productions, de maîtriser des dispositifs de gestion, de contrôler et de piloter la coordination des individus et des différents groupes de travail, d'anticiper les besoins et les futures tendances du marché, etc. De son côté, Leonard-Barton (1992) identifie quatre dimensions des compétences des firmes : (1) « *Employee knowledge and skills* » ; (2) « *Physical technical systems* » (équipements, logiciels, bases de données, etc.) ; (3) « *Managerial systems* » (structure organisationnelle, règles, systèmes d'incitation, etc.) ; (4) « *Value and norms* » (« *system of castes and status, rituals of behavior and passionate beliefs* »). Enfin, Lowendahl et Haanes (1997) définissent la compétence comme *« an ability to sustain the coordinated deployment of assets in a way that helps a firm to achieve its goals »*.

1.2. Typologies de l'innovation basee sur les dimensions de la connaissance

Dans la littérature en management de l'innovation, plusieurs typologies d'innovation ont été identifiées afin de faciliter l'analyse, la classification et l'étude des réalités complexes de l'innovation. Les typologies les plus courantes sont fondées sur la nature de l'innovation (technologique, usage, social, produits, services, marketing, etc.), ou sur le degré de radicalité de l'innovation (innovation incrémentale, innovation de rupture, innovation radicale, innovation disruptive, innovation continue, etc.). Cependant, il nous semble qu'il existe peu de typologies de l'innovation basée sur les dimensions de la connaissance, à l'exception des typologies proposées par Henderson & Clark (1990) et par Hall & Andriani (2003).

Pour Henderson & Clark (1990), l'innovation implique rarement une technologie isolée ou un marché unique, mais plutôt un ensemble de connaissances rassemblées autour d'une configuration. Ils font la distinction entre un produit en tant que système et un produit en tant qu'ensemble de composants, notamment afin de défendre l'idée selon laquelle le développement de produit nécessite deux types de connaissances distinctes. Une connaissance sur chacun des concepts de base *("component knowledge")* et une connaissance sur l'intégration et les relations de ces différents concepts de base *("architectural knowledge")*.

> *"The distinction between the product as a system and the product as a set of components underscores the idea that successful product development requires two types of knowledge. First, it requires component knowledge, or knowledge about each of the core design concepts and the way in which they are implemented in a particular component. Second, it requires architectural knowledge or knowledge about the ways in which the components are integrated and linked together into a coherent whole. The distinction between architectural and component knowledge, or between the components themselves and the links between them, is a source of insight into the ways in which innovations differ from each other." (Henderson & Clark, 1990).*

Les auteurs identifient quatre types de changement technologique ou quatre types d'innovation : les innovations incrémentales, les innovations modulaires, les innovations architecturales et les innovations radicales [Figure 2].

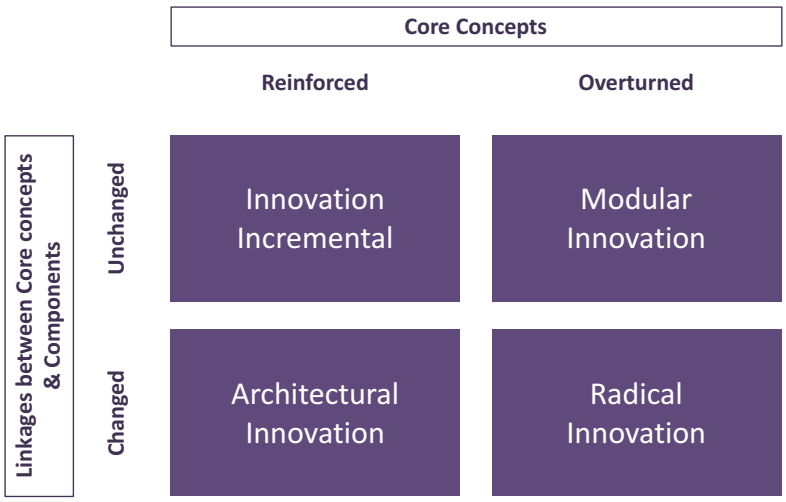


Figure 2 : Typologie d'innovation de Henderson & Clark (1990)

La dimension horizontale capture l'impact d'une innovation sur les composants, tandis que l'axe vertical capture son impact sur les liens entre les composants. L'innovation incrémentale correspond à une amélioration des connaissances sur des concepts de base *("component knowledge")* sans que la relation entre ces composants soit modifiée *("architectural knowledge")*. L'innovation modulaire se caractérise par un changement important sur un concept de base, mais l'architecture globale reste inchangée. L'innovation architecturale résulte de la reconfiguration des relations entre les différents composants qui existent déjà. S'agissant de l'innovation radicale, un changement important est apporté à un concept de base et les relations entre composants sont profondément modifiées. L'innovation radicale établit un nouveau *dominant design*[5], dont les concepts de base des composants et l'architecture sont profondément nouveaux : *"Radical innovation establishes a new dominant design and, hence, a new set of core design concepts embodied in components that are linked together in a new architecture"* (Henderson & Clark, 1990).

Dans une approche complémentaire, Hall & Andriani (2003) se sont aussi intéressés à une typologie d'innovation faisant intervenir plusieurs dimensions de la connaissance : la quantité de nouvelles connaissances à acquérir et à utiliser, l'additivité et la substituabilité des nouvelles connaissances nécessaire à l'innovation. Quatre typologies d'innovation sont alors distinguées : innovations incrémentales mineure, innovations incrémentales majeure, innovations radicales mineure et innovations radicales majeure [Figure 3].

[5] Le *dominant design* est un concept introduit par Utterback & Abernathy (1978), qui caractérise les technologies clés qui deviennent des standards dans l'industrie.

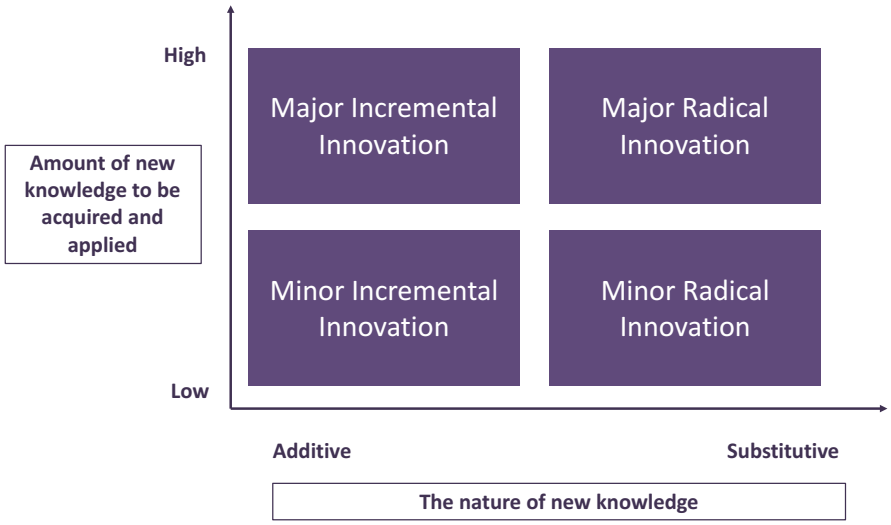


Figure 3 : Typologie d'innovation de Hall & Andriani (2003)

L'innovation incrémentale repose principalement sur des connaissances et compétences existantes. Le processus d'acquisition de connaissances implique l'utilisation de connaissances de façon additive, i.e. les connaissances sont accumulées. L'innovation radicale repose sur des connaissances et des compétences nouvelles qui remettent en question la base de connaissances préexistantes et qui perturbent « *l'état de l'art* » existant. L'acquisition de connaissance implique l'utilisation de connaissance de façon substitutive, c'est-à-dire que cela suppose des désapprentissages significatifs des connaissances, routines et compétences existantes.

> *"Acquiring the "target" knowledge can involve using knowledge in an additive fashion or in a substitutive fashion. In the former case, the process builds upon the existing pool of individual skills, organisational routines, and general knowledge; in the latter case, the knowledge has the potential to disrupt the existing "state of the art" and may require significant unlearning of existing knowledge, skills, routines, and leapfrogging to a new type of knowledge. It can be instructive to plot each unit of analysis on a map that has "amount of new knowledge" and "the degree to which the knowledge is substitutive" as its two dimensions." (Hall & Andriani, 2003).*

Les typologies présentées offrent ainsi une grille de lecture où la connaissance et l'expertise sont au centre des processus d'innovation.

1.3. Les limites d'un modele de l'innovation fondees sur les connaissances

Dans les organisations industrielles, la production contrôlée de connaissance et d'expertise pour l'innovation s'effectue dans les départements de R&D. Paradoxalement, dans la littérature contemporaine en gestion, on observe une profonde séparation entre deux courants qui traitent pourtant de questions étroitement liées (Hatchuel et al., 2001) : le premier courant traite des principes de gestion et de pilotage

de la R&D (Allen, 1977 ; Roussel et al., 1991 ; Myers & Rosenbloom, 1996 ; Charue-Duboc & Midler, 2000 ; Miller & Morris, 2008) ; le second s'intéresse au développement de produits, à la création de connaissances et à l'apprentissage organisationnel, mais semble inconscient du premier courant (Kline & Rosenberg, 1986 ; Clark & Fujimoto, 1991 ; Brown & Duguid, 1991 ; Wheelwright & Clark, 1992 ; Zack, 1999).

La littérature en management de la R&D a généralement associé les activités de recherche et de développement à une activité liée à de grands projets. C'est ainsi que depuis la Seconde Guerre Mondiale, les principaux programmes technologiques (projet Manhattan (bombe nucléaire), programme Apollo (conquête spatiale), programme de défense, programme aéronautique, etc.) ont été gérés comme des projets (Lenfle, 2008). Dans les années 1970, afin de mieux maîtriser l'efficacité et la pertinence de la recherche, ce sont les centres de recherche industrielle qui vont adopter une organisation par projet (Allen, 1977). Ces centres étaient jusque-là structurés selon des fonctions ou des compétences techniques (Hatchuel et al., 2001). Cependant, Roussel et al. (1991) soulignèrent que ces projets de R&D (connus sous l'appellation de *« R&D de deuxième génération »*) avaient tendance à trop s'adapter aux besoins de leurs clients, perdant ainsi leur potentiel innovateur. La multiplication des projets de R&D dans les organisations fit émerger la notion de management de portefeuilles de projets au sein de la R&D. Ainsi, *« la R&D de troisième génération »* mit l'accent sur l'idée d'une gestion stratégique de ces portefeuilles de projets. Cependant, lorsqu'il s'agit d'industries basées sur des produits et technologies complexes, les orientations du marché ne sont pas toujours des critères de sélection pertinents pour sélectionner les projets de recherche ou pour choisir les thématiques innovantes à explorer. C'est pourquoi, comme le soulignent Hatchuel et al. (2001), les concepts de portefeuilles et de gestion stratégique de la recherche sont mieux adaptés aux industries évoluant dans le cadre d'un *dominant design* bien installé. Ainsi, comment piloter la recherche, la production contrôlée de connaissances scientifiques et techniques lorsqu'il s'agit de défier les principes du *dominant design* existant ? Comment prendre en compte la production divergente de la connaissance ?

Les développements dans la littérature sur le développement de produits, sur la gestion des connaissances et sur l'apprentissage organisationnel auraient pu apporter des éléments de réponse. Cependant, l'essentiel de ces développements ne s'est pas intéressé aux activités de recherche et d'innovation. Peut-être parce que les liens entre la création de connaissances, l'apprentissage, la recherche et l'innovation semblent *a priori* si évident. Les travaux scientifiques de ce champ se sont principalement intéressés aux activités de production et de service : le conseil (Hansen et al., 2000), la maintenance de systèmes techniques (Orr, 1990 ; Lave & Wenger, 1991), l'après-vente (Davenport & Klahr, 1998). Cela explique notamment leur intérêt pour les *« communautés de pratique »* où la connaissance est produite et échangée de façon permanente et informelle. Ce courant de recherche insiste également sur l'intensité des échanges requis par la dynamique d'une coopération efficace. Ces partages de connaissances s'effectuent par l'intermédiaire de différents acteurs : courtiers, vendeurs ou agitateurs de connaissances (Brown & Duguid, 1991 ; Von Krogh et al., 2000). Toutefois, comme l'expliquent Hatchuel et al. (2001), ces observations ne sont pas vraiment spécifiques à l'innovation : *« un groupe de joueurs d'échec discutant des stratégies sur une partie et organisant des tournois montrerait le même type de communauté de pratique et d'échanges*

de connaissances même si aucune nouvelle stratégie ou aucune nouvelle règle n'était inventée » (Hatchuel et al., 2001).

D'autre part, le raisonnement qui consiste à affirmer qu'en investissant en R&D pour créer de nouvelles connaissances, afin d'engendrer des innovations et donc de la croissance, est loin d'être évident. En effet si l'inférence investissement R&D ➔ nouvelles connaissances ➔ innovation ➔ croissance était correct, il devrait être possible de retrouver une relation entre un indicateur de quantité de R&D (l'intensité de R&D notamment) et un indicateur de croissance (croissance du chiffre d'affaires, bénéfices, etc.). Or, dans une étude portant sur les 1000 entreprises mondiales dépensant le plus en R&D[6], le cabinet de conseil Booz Allen Hamilton a démontré que la performance des entreprises est décorrélée du montant de leurs investissements financiers en R&D, quel qu'en soit la période ou l'indicateur économique [Figure 4].

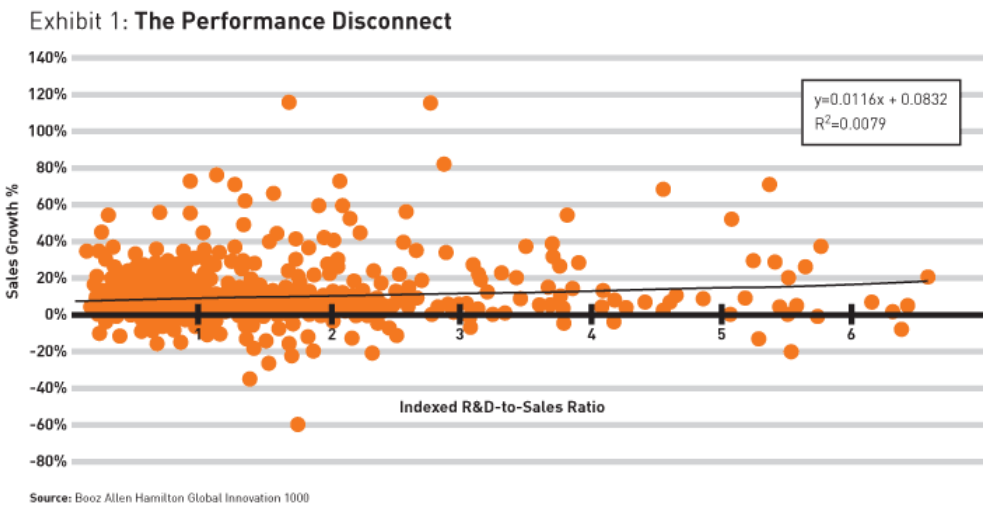


Figure 4 : Croissance du chiffre d'affaires en fonction du ratio d'investissement en R&D (Jaruzelski, Dehoff & Bordia, 2005)

Selon Kandibyn & Kihn (2004), cette absence de corrélation illustre que ce n'est pas le niveau d'investissement, mais la façon d'investir qui influe sur la performance économique de l'entreprise.

> *« Profitable innovation, in other words, cannot be bought. Simply spending more usually leads to a waste of resources on increasingly marginal projects. The solution to innovation anemia is not to boost incremental spending, but to raise the effectiveness of base spending. » (Kandibyn & Kihn, 2004)*

Cela n'est pas vraiment étonnant dans la mesure où nous comprenons tous que ce n'est pas en augmentant seulement les effectifs de la R&D, que les entreprises vont obtenir de nouveaux produits innovants. Ce paradoxe de la R&D est aussi soulevé par Le Masson et al. (2006). Pour les auteurs, l'absence de

[6] Booz Allen Hamilton - Global Innovation 1000

corrélation entre l'investissement et la performance est principalement liée à la méconnaissance des processus d'innovation. En effet, l'innovation ne peut pas se circonscrire à un simple processus de création de connaissances.

Enfin, il est communément admis dans la littérature en management que le modèle linéaire de l'innovation, selon lequel le processus d'innovation est un cheminement séquentiel qui va des activités de recherche jusqu'à la mise sur le marché d'un nouveau produit, n'est pas tenable [Figure 5]. Pour Hounshell (1996) et Kline & Rosenberg (1986), le modèle linéaire nie la diversité des processus d'innovation et leurs caractères incertains, il correspond ainsi à une représentation erronée du processus d'innovation : *« the linear model distorts the reality of innovation in several ways »* (Kline & Rosenberg, 1986 p. 286).

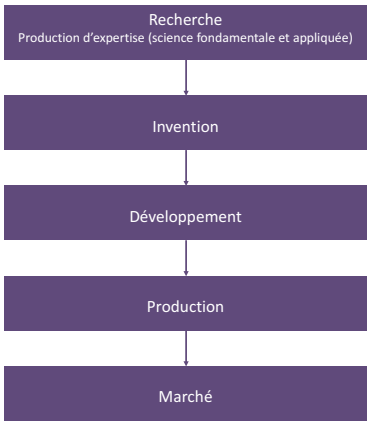


Figure 5 : Modèle linéaire de l'innovation (d'après Kline & Rosenberg, 1986)

En outre, les modèles de types *science/technology* push et *market pull* sont eux aussi intenables. D'un côté, les chercheurs et experts sont dans l'obligation de développer des technologies et des produits pour lesquels des débouchés potentiels sont identifiés dès les phases amont. De l'autre, le modèle *market pull*, supposant que les besoins préexistent à l'innovation et qu'il ne s'agit que de les satisfaire, présente également de nombreuses limites. En effet, compte tenu de la temporalité des processus de recherche, ce modèle s'avère inefficace lorsque les innovations visées exigent une importante création de connaissances (Charue-Duboc & Midler, 2002 ; Charue-Duboc, 2007a ; Gastaldi, 2009).

2. Les defis d'un capitalisme de l'innovation intensive

L'innovation est aujourd'hui le maître-mot de toutes directions d'entreprise. Parée de toutes les vertus, l'innovation est le moteur de la croissance, la base de la compétitivité des firmes et le fondement du progrès économique et social. Ainsi, l'innovation n'est plus une option pour les entreprises. Elle est devenue une condition nécessaire de la compétitivité et même de la survie des organisations (Gastaldi, 2007). Dans la littérature en sciences humaines et sociales, le concept d'innovation recouvre une variété importante de formes et d'interprétations (innovation organisationnelle, innovation sociétale, innovation dans les modèles d'affaires, innovation d'usage, innovation marketing, etc.). Dans ce manuscrit, nous nous

intéressons spécifiquement à l'innovation technologique, c'est-à-dire à l'amélioration ou à la création de produits, technologies ou services s'appuyant sur des connaissances, des savoirs et des savoir-faire scientifiques et techniques forts (i.e. s'appuyant sur des champ d'expertise). Comme le remarque Gastaldi (2007), ce type d'innovation s'appuie principalement sur des acteurs possédant des compétences scientifiques et techniques fortes, à l'inverse de l'innovation ordinaire (Alter, 2000) ou participative (Durieux, 2001) qui sont potentiellement le fait de tous les salariés de l'entreprise.

2.1. INNOVATION INTENSIVE & RUPTURE DE L'IDENTITE DES OBJETS

Dans les industries de hautes technologies (aéronautique, automobile, énergie, biotechnologie, nanotechnologie, robotique, technologies de l'information, semi-conducteur, etc.), l'enjeu pour les organisations ne se limite plus à la simple capacité d'innovation. Dans un environnement économique mondialisé caractérisé par une hyper-compétivité des marchés (D'Aveni, 1994 ; Ilinitch et al., 1996), les firmes doivent être en capacité d'introduire des innovations à fort pouvoir différenciant de manière répétée et à un rythme soutenu. La répétition de l'innovation ainsi que sa radicalité – c'est-à-dire sa capacité à produire une déstabilisation de l'identité des objets et des *dominant designs* – fondent ce que Hatchuel et al. (2002) appellent une compétition par ***l'innovation intensive***. Le concept *d'innovation intensive* (Hatchuel & Weil, 1995 ; Hatchuel et al., 2002 ; Le Masson et al., 2006) souligne l'impératif du renouvellement permanent des produits, ainsi que le fait que tous les modes de formation de la valeur sont désormais concernés par une logique d'innovation. La technologie n'est qu'un de ces modes parmi d'autres.

> *« Le qualitatif « d'intensive » que nous utilisons veut indiquer notamment que les progrès techniques ou esthétiques ne sont plus les seuls terrains d'innovation. De fait, tous les attributs visibles ou invisibles d'un produit ou d'un service sont devenus des terrains potentiels d'innovation. » (Le Masson et al., 2006 p24).*

Dans un tel régime concurrentiel, les entreprises agissent sur des marchés où l'innovation peut porter indifféremment sur les qualités fonctionnelles d'un produit, sur son style, sur l'incarnation de valeurs (écoresponsable, biodégradable, respect de l'environnement, etc.) ou encore sur les modèles économiques (Hatchuel et al., 2002). Ce *capitalisme de l'innovation intensive* se manifeste à partir des années 1980 par un régime accru de variété des produits. Il s'accélère ensuite dans les années 1990 et 2000 avec un renouvellement accéléré des produits et des technologies. Gastaldi (2007) souligne que l'émergence de ce capitalisme de l'innovation intensive résulte de plusieurs facteurs qui ont bouleversé les conditions de la compétition dans la plupart des secteurs industriels :

- Le passage d'une économie de l'offre et d'une production de masse à une économie de la demande et de la variété. Les clients sont de plus en plus exigeants et exercent un rôle de plus en plus influent sur les offres des entreprises (Charue-Duboc, 2007b).
- La saturation d'un nombre important de marchés dans les pays occidentaux, provoquant une compétition accrue entre les firmes positionnées sur le même secteur.
- La mondialisation des marchés et de l'économie. Le protectionnisme national décroît et le nombre de compétiteurs augmente.

- L'accélération du progrès techniques et l'apparition de nouvelles technologies bouleversent les positions existantes et enjoignent les entreprises à réagir rapidement (Wheelwright & Clark, 1992 ; Brown & Eisenhardt, 1998).

Compte-tenu de ces caractéristiques, les entreprises sont face à un nouveau défi en matière de stratégie d'innovation. Les stratégies de perfectionnement et l'amélioration continue des produits existants ainsi que les stratégies de recherche fondamentale qui rencontreraient ses applications sans les avoir visées ne sont plus tenables. D'autre part, il ne s'agit plus d'innover de manière ponctuelle, car la rente et l'avantage espérés seront de courte durée. Pour Le Masson et al. (2006), les stratégies d'innovation ponctuelle ou de « coups isolés » sont dépassées. L'innovation répétée est le nouvel impératif stratégique qui s'impose à l'ensemble des secteurs industriels. En effet, le rythme imposé par la compétition de l'innovation intensive enjoint les entreprises à adopter des stratégies de croissance par l'innovation répétée, c'est-à-dire des stratégies basées sur le renouvèlement permanent de produits et technologies nouveaux sur les marchés. D'autre part, ce renouvellement répété des produits et technologies permet aussi d'anticiper les tendances et de réagir rapidement face aux mouvements instables des marchés (Ben Mahmoud-Jouini & Midler, 1999). A partir de ce même constat certain auteurs parlent d'innovation continue (Brown & Eisenhardt, 1998 ; Verona & Ravasi, 2003) ou encore d'innovation en rafale (Deschamps & Nayak, 1997). Dans la littérature académique, le secteur industriel des semi-conducteurs est un cas emblématique de la compétition par l'innovation intensive. Pour illustrer la performance des stratégies basées sur la maîtrise d'un rythme soutenu de renouvellement de produits, Brown & Eisenhardt (1998) mettent en évidence la stratégie d'Intel qui est basée sur des logiques de pénétration de nouveaux marchés tous les ans et sur des roadmaps de création de nouveaux produits tous les neuf mois.

L'impératif de renouvellement rapide de produits et de technologies ne signifie pas pour autant que les entreprises doivent privilégier les innovations incrémentales afin de réduire les délais et les risques. Les innovations introduites se doivent d'être différenciantes. Dans la pratique, cela passe inévitablement par l'introduction de nouveaux espaces de valeurs, de nouvelles fonctionnalités, de nouvelles esthétiques, de nouveaux usages et de nouveaux modèles d'affaires, qui à leur tour stimuleront le développement de nouvelles compétences et expertises techniques. Pour les firmes, l'enjeu est donc d'être en capacité de proposer de nouveaux produits et technologies qui rediscutent les critères de performances établis, en les déplaçant sur des dimensions encore inexplorées et potentiellement intéressantes pour les clients. Ce changement et renouvellement permanent des critères de performance, des systèmes de valeurs et des usages témoignent d'une certaine instabilité de l'identité des objets. Le Masson et al. (2006) parlent de déstabilisation et de renouvellement de l'identité des objets et des valeurs.

> *« L'innovation intensive apparaît ainsi comme l'extension et la généralisation de ce jeu inventif, autoproducteur et autorenforçant dont l'effet le plus visible et le plus frappant est la déstabilisation et le renouvellement de l'identité des objets et des valeurs. » (Le Masson et al., 2006 p24).*

Généralement, les organisations ont des capacités d'innovation focalisées sur des produits, technologies ou services, dont l'identité est relativement stable. Ces entreprises s'adressent généralement à des clients identifiés et travaillent à l'amélioration des fonctions et des propriétés connus des produits.

Avant l'apparition du premier iPhone d'Apple (Juin 2007), les fabricants de téléphones mobiles tels que Nokia, Sony-Ericsson, Motorola, Panasonic et Siemens se concentraient sur l'amélioration des capacités de stockage, de la qualité de l'appareil photo intégré, des capacités de la batterie et de la miniaturisation des appareils. Ces critères de performances étaient connus et partagés par les consommateurs. Lorsqu'Apple lance l'iPhone, celui-ci est plus encombrant que la moyenne des téléphones, la qualité de son appareil photo est inférieure au standard du marché et sa capacité de batterie est extrêmement faible vis-à-vis des téléphones concurrents. Cependant trois innovations majeures sont introduites. Premièrement, la possibilité de pouvoir interagir avec une interface intuitive et un écran tactile multipoint, permettant l'utilisation de deux doigts simultanément et favorisant ainsi l'utilisation de la fonction *navigation Internet*. Deuxièmement, en 2008, l'introduction d'un kit de développement (SDK) pour la conception d'application mobile, destiné à la fois aux professionnels et aux particuliers. Enfin, l'introduction de la place de marché *App Store* pour la distribution et la commercialisation d'une multitude d'applications (jeux, utilitaires, divertissement, etc.). Moins de dix ans après, Nokia, Sony-Ericsson, Motorola, Panasonic et Siemens ont disparus du marché du téléphone mobile et Apple est devenu l'un des leaders mondiaux. Il est amusant de constater que l'on ne parle plus de téléphone mobile mais de *« smartphone »*, comme si une déstabilisation trop importante de l'objet nécessitait un nouveau terme.

Le propre de la notion de déstabilisation de l'identité de l'objet tient précisément au fait qu'il est impossible de rattacher les objets nouvellement conçus à un *dominant design* préexistant. De plus, ces nouveaux objets ou services (téléphone mobile, smartphone, iPod, l'aspirateur sans sac de Dyson, objets connectés, clé USB, GPS, Wifi, covoiturage, cloud computing, software as a service (SAAS), imprimante 3D, etc.) se propagent à une vitesse jamais vue dans l'histoire industrielle. La déstabilisation de l'identité de l'objet n'est pas l'apanage des secteurs de l'informatique ou de la télécommunication. La *crise d'identité des objets* se retrouve dans tous les secteurs économiques, des taxis au services hôteliers en passant par les médias. Le Masson et al. (2006) prennent l'exemple des alicaments qui ont fait leurs apparitions entre alimentation et pharmacie sans que l'on sache encore bien les définir. Pour Le Masson et al. (2006), deux niveaux de compétition semblent se déployer en parallèle : *« d'une part la compétition par les dominant designs brièvement stabilisés (poids, résolution des appareils photos, etc.) avec une lutte drastique sur les prix qui lamine la marge et asphyxie les compétiteurs et d'autre part une compétition consistant à déplacer en permanence l'identité de l'objet, ce qui redonne momentanément des marges si la voie empruntée rencontre l'écho souhaité »* (Le Masson et al., 2006 p63). Les enjeux contemporains de l'innovation se situent clairement au deuxième niveau : *« L'identité des produits n'est plus un point de départ stable de la conception. Alors que la performance à atteindre, les grandes alternatives architecturales et la nature des métiers à maîtriser étaient autrefois données, ce sont maintenant des questions ouvertes ! »* (Le Masson et al., 2006 p61).

La plasticité de l'identité des objets, associé à l'incertitude qui en découle pour les organisations industrielles, constituent les symptômes les plus importants de l'économie contemporaine (Le Masson et al., 2006). Avec la crise de l'identité des objets, tous les repères des principaux acteurs économiques, qu'ils soient concepteurs, fabricants, distributeurs, vendeurs, consommateurs et prescripteurs, disparaissent. Les métiers, les compétences, les champs d'expertise, les fonctionnalités, les valeurs et les usages ne sont plus connus à l'avance : *« De nouveaux espaces s'ouvrent à présent à de nouvelles explorations et aux inventions les plus astucieuses mais aussi les plus risquées : nouveaux espaces de valeurs, nouvelles fonctionnalités, nouvelles technologies*

et nouveaux métiers, nouveaux business models ou encore nouvelles formes de rapports marchands. » (Le Masson et al., 2006). Cette analyse fait aussi largement écho aux différentes typologies d'innovation identifiées dans la littérature en management. L'innovation, qu'elle soit discontinue (Veryzer, 1998 ; Rice et al., 2002), disruptive (Christensen, 1997 ; Christensen et al., 2006 ; Christensen & Raynor, 2013), de rupture (McDermott & Handfield, 2000 ; O'Connor & Rice, 2001) ou radicale (Dewar & Dutton, 1986 ; Leifer et al., 2000 ; O'Connor, 2008 ; Kelley et al., 2011), illustre le fait que les entreprises se doivent de se doter de nouvelles capacités d'innovation leur permettant de concevoir de nouveaux espaces de valeur et de nouveaux champs d'expertise pour sortir des cadres concurrentiels existants. Bien que chacune de ces terminologies désignent des formes particulières d'innovation non incrémentales, nous les utiliserons de manières équivalentes dans ce manuscrit. Ainsi, nous définissons **l'innovation de rupture comme une innovation dont les espaces de valeur, les usages et les champs d'expertises sont nouveaux pour l'entreprise et pour le marché.**

2.2. La conception comme capacite d'innovation

Pour penser l'innovation dans les organisations, il ne s'agit plus de se limiter à un constat *ex post.* L'innovation est avant tout le résultat de processus organisationnels, volontairement planifiés et organisés. Pour être innovante, une firme doit pouvoir gérer des *« capacités d'innovation »* (Le Masson et al., 2006). Pour Le Masson et al. (2006), les capacités d'innovation sont directement reliées aux activités de conception et plus particulièrement aux activités de conception innovante. Pour l'AFNOR, la conception est *« une activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable »* ou encore *« un ensemble de processus qui transforment des exigences en caractéristiques spécifiques ou en spécification d'un produit, d'un processus ou d'un système »*[7]. Cependant ces définitions pâtissent de plusieurs restrictions importantes. La conception se limite à la réalisation d'un produit à partir de besoins déjà exprimés et de connaissances existantes. Dans ce cas, la conception est circonscrite à des activités créatrices reposant sur une stabilité de l'identité des objets. L'expansion des connaissances est limitée volontairement et l'expansion des propriétés fonctionnelles et des espaces de valeur est confinée aux *dominant designs* (Le Masson et al., 2006). Enfin, le raisonnement de conception s'analyse à travers des processus de planification de tâches, d'optimisation et de résolution de problèmes. Simon (1969) est l'un des premiers à s'intéresser aux mécanismes de l'activité de conception. Par opposition aux sciences naturelles, il propose le concept de *sciences de l'artificiel* (*Sciences of artificial)* afin de mettre en évidence ce qui est produit par l'homme.

> *« Alors que s'affirme le rôle décisif de la conception dans toute activité professionnelle, les sciences naturelles [...] ont presque complètement éliminé les sciences de l'artificiel du programme des écoles formant des professionnels » (Simon, 2004 p201).*

Pour Simon (1969), la conception est avant tout un processus de décision sous contrainte, ayant pour objectif de parvenir à une solution la plus satisfaisante. La notion de *rationalité limitée*, introduite par Simon (1982), caractérise cette vision. En effet, elle désigne le fait que le concepteur n'est pas en mesure d'effectuer un choix optimal, car celui-ci dispose de connaissances limitées et imparfaite, de capacités

[7] AFNOR, norme X 50-127

cognitives limitées et d'un défaut d'attention (Simon, 1989). De ce fait, l'activité de conception est une activité de synthèse par opposition à celle de l'analyse : *« In analysis, the final design is given, and the question to be answered is: what design or designs will satisfy these goals and constraints? [...] designing is satisficing, finding an acceptable solution »* (Simon, 1989). Ainsi, comme le remarque Gillier (2010), la conception pour Simon est un processus de traitement de l'information qui vise à gérer simultanément la formulation du problème, la découverte du problème et la résolution de problème.

A partir d'une analyse des principales figures historiques qui ont constituées les traditions de la conception (l'architecte, l'artiste et l'ingénieur), Hatchuel & Weil (2002) mettent en avant de nouvelles caractéristiques de l'activité de conception en lien avec les enjeux d'innovation. Pour les auteurs, la tradition architecturale et artistique distingue les raisonnements, les connaissances et les expansions. Ils expliquent que le traité d'architecture de Vitruve [8] distingue un raisonnement et un ensemble de connaissances nécessaires. Loin d'être indépendants, ils sont complémentaires : *« l'espace des connaissances utiles à l'architecte étant sans limites, le raisonnement de conception est ce qui lui permet de dégager la matière même de son travail, à partir des connaissances auxquelles il a accès. »* (Hatchuel & Weil, 2002). Ce raisonnement de l'architecte s'appuie sur une modélisation des grandes fonctions de l'objet à concevoir, respectant certains critères introduits par Vitruve : *« l'ordonnance, la disposition, l'eurythmie ou proportion, la convenance et la distribution ou l'économie »* (Hatchuel & Weil, 2002).

Les relations entre la tradition artistique et la notion de conception sont plus complexes. A l'origine, l'artiste se satisfaisait d'imiter la nature, puis les mouvements modernistes proposeront une vision plus libre de la création artistique. Tout, comme l'architecte, l'artiste revendique la paternité de son œuvre. Cependant, il ne soumet pas son travail à la réalisation de fonctions prédéfinies et ne conçoit pas son activité comme la résolution de problèmes anciens et bien répertoriés. Pour l'artiste, son travail et son intention sont uniques, et il considère que le destin de sa création dépend du jugement d'autrui. Chaque artiste se veut un créateur de « *mondes nouveaux* » et sait que ces « *mondes* » peuvent être perçus de manière unique par chaque « *regardeur* » (Duchamp 1999, cité dans Hatchuel & Weil, 2002). Pour Hatchuel & Weil (2002), la tradition artistique est *une vision extrême* de la conception : *« un acte créateur de mondes, tous uniques, et qui sont d'autant plus riches qu'ils sont perçus ainsi par les personnes qui les reçoivent »* (Hatchuel & Weil, 2002). Ainsi, la création artistique nous confronte à l'émergence de l'inattendu et à la découverte de l'inconnu. Hatchuel & Weil (2002) ont appelé *« capacité d'expansion »* cette faculté du processus de conception à générer du *« nouveau »*. D'autre part, la tradition artistique souligne aussi que la conception ne se réduit pas au travail du concepteur ou de l'artiste. Le spectateur se voit proposer de poursuivre la logique d'expansion de l'artiste (Le Masson et al, 2006). Cette propriété est fondamentale et permet de retrouver une notion essentielle de l'innovation : le rôle des récepteurs de la conception (l'usager, le client, partenaires, etc.). La logique d'expansion ainsi que le *« rôle concepteur de la réception »* appartenaient déjà à la tradition architecturale (Hatchuel & Weil, 2002). Cependant, ils ne sont pas aussi importants que dans la tradition artistique. Le raisonnement et les connaissances ne sont pas absents de la tradition artistique, ils n'ont pas néanmoins un rôle central et spécificateur. Nul besoin de défendre tels éléments pour être reconnu en tant qu'artiste. En revanche, l'artiste soutient nécessairement occuper une

[8] Vitruve (1ier siècle avant J.-C.) est l'auteur du plus ancien traité d'architecture qui soit parvenu jusqu'à nous.

place inédite et sans équivalent : *« il fait de la logique d'expansion une condition sine qua non de son travail »* (Hatchuel & Weil, 2002).

Bien que non sans lien historique avec les traditions de l'architecte et l'artiste, la tradition de l'ingénieur se distingue de ces dernières par son rapport à la connaissance. C'est dans la production et le développement des connaissances que les ingénieurs puisent leur logique d'expansion. Chez les ingénieurs, l'expansion des connaissances est obtenue aussi bien par l'observation, l'expérience, le calcul, que par la « modélisation », et est nécessairement le résultat d'un travail collectif (Hatchuel & Weil, 2002). A la différence de l'architecte, la démarche scientifique devient l'un des aspects majeurs de leurs métiers, leur permettant ainsi de réaliser des découvertes fondamentales. Le raisonnement de conception chez l'ingénieur est similaire à celui de l'architecte, dans la mesure où celui-ci adopte une vision fonctionnelle (à l'image des fonctions vitruviennes) pour la conception des machines et des instruments. Néanmoins, étant donné la variété des machines et des systèmes, celui-ci devra s'adapter à des objets très différents. Pour cela et aussi pour tenir compte de l'aspect collectif des processus de conception des ingénieurs, le raisonnement de conception se doit d'être systématique. Le raisonnement de conception se base ainsi sur un langage suffisamment abstrait et universel afin de s'adapter à l'ensemble des techniques et des industries. Il définit des étapes à suivre, des tests de contrôle et de validation à respecter impérativement, notamment dans une logique de fiabilité. On parlera alors d'essais, de tests, de prototypes, de démonstrateurs, etc. L'un des modèles les plus important est celui de la conception systématique allemande (Pahl & Beitz, 2013) qui décompose le raisonnement de conception en trois étapes : (1) la phase fonctionnelle ayant pour objectif de définir les fonctions de l'objet, (2) la phase de choix des modèles conceptuels où sont choisis les principes scientifiques et les caractéristiques architecturales, (3) la phase « d'embodiment » c'est-à-dire la phase du déploiement physique du système. Bien que la tradition des ingénieurs soit inséparable de l'idée d'invention et de perfectionnement, les rapports à l'innovation sont complexes. En effet, l'ingénieur est toujours pris entre faisabilité, application et invention. A l'inverse de l'artiste, l'ingénieur n'invente pas nécessairement à chaque réalisation. Il capitalise les *« expansions »* passées afin de pouvoir les réutiliser pour de futures réalisations : *« Ce qui hier a « marché » est une ressource pour demain »* (Hatchuel & Weil, 2002). Ainsi, selon les situations, l'ingénieur est en mesure de réutiliser des solutions antérieures, de les adapter, de les compléter ou de renouveler complètement ce qui a été proposé précédemment, prenant ainsi le risque de l'échec technique. L'ingénieur doit donc pouvoir considérer simultanément l'innovation et l'imitation du passé (Hatchuel & Weil, 2002).

A partir de ces traditions, Le Masson et al. (2006) proposent quatre grandes propriétés essentielles de l'activité de conception :

- Savoir utiliser la connaissance existante ;
- Avoir recours, le cas échant, à une modélisation des objets, c'est-à-dire se donner des propriétés universelles de l'objet à concevoir ;
- Etendre si nécessaire les connaissances (notamment grâce à la science) ;
- Ne pas refuser l'expansion innovante des propositions (voir la création de mondes par l'artiste).

Ces éléments sont indépendants des objets à concevoir et ont le mérite de ne pas se fonder sur une identité des objets stables qui fixerait les compétences et la nature des objets à concevoir. Dans l'activité de conception, l'identité existante ou prédéfinie ne peut être qu'une « connaissance » qui pourra être transgressée par une expansion innovante (Le Masson et al., 2006). La création de connaissances n'est pas non plus circonscrite à une identité stable et peut se réaliser dans des directions variées. **L'approche des activités de conception comme capacité d'innovation ouvre ainsi de nouvelles pistes pour penser les enjeux contemporains de la déstabilisation de l'identité de l'objet [Tableau 1].** Si chaque création peut être nouvelle, originale et singulière, les concepteurs s'appuient toujours sur un cadre leur permettant de reprendre et d'améliorer la conception. Les « innovations » ne sont donc jamais totalement nouvelles. Il n'existe pas de génération spontanée indépendante de toutes bases préexistantes. Dans l'industrie, toutes innovations, même de rupture, dépendent des champs d'expertises et des métiers existants. Cependant, cette dépendance ne signifie en aucune mesure que chaque conception obéirait à un simple déterminisme. Chaque conception est potentiellement porteuse de discontinuités et de ruptures provoquant l'émergence de nouveaux produits, de nouvelles technologies, de nouvelles valeurs et de nouveaux champs d'expertise. Néanmoins, cette émergence s'appuie nécessairement sur les produits, les technologies, les valeurs et les champs d'expertise antérieurs (Le Masson et al., 2006).

	Spécificités contemporaines de la compétition par l'innovation	**L'activité de conception comme capacité d'innovation**
Modèles d'activité et de raisonnement	Un modèle de l'activité sans stabilisation de l'identité des objets (flexibilité sur les produits et les compétences)	Figures marquées par le raisonnement, l'expansion conceptuelle et l'expansion des connaissances.
Objets à gérer – substrat technique	Structurer des capacités d'innovation sans se fonder sur des « métiers » ou des « performances »	Capacité à générer des objets nouveaux pour supporter la conception (collective)
Logique de performance	Croissance par l'innovation répétée, dans un contexte d'identité des objets instable (pas des coups isolés)	Des logiques de performance historiquement variées (économie de connaissance, forte expansion, etc.)
Formes d'organisation	Au niveau de la firme, y compris la grande entreprise à R&D, sans se limiter au cadre du projet	Variété des figures aujourd'hui rassemblées dans les firmes à R&D

Tableau 1 : Cahier des charges pour la gestion des capacités d'innovation (Le Masson et al., 2006)

2.3. Les theories de la conception : exploration & structuration de l'inconnu

Pour envisager l'activité de conception comme capacité d'innovation, encore faut-il disposer d'une théorie de la conception. De plus, il faut une théorie capable de rendre compte des ruptures de l'identité des objets. Il existe plusieurs théories et formalismes de la conception, parmi lesquels le paradigme du *problem solving* de Simon (1969), la *conception systématique allemande* de Pahl & Beitz (Pahl & Beitz, 2013[9]), la *conception axiomatique* de Nam P. Suh (Suh, 1990, Suh, 1998, Suh, 2001), le modèle *Function-Behavior-Structure* de Gero (Gero, 1990, Gero, 1994), le *Coupled Design Process* de Braha & Reich (Braha et Reich,

[9] La première édition date de 1977.

2003), la *general design theory* de Yoshikawa (Yoshikawa, 1981) et la *théorie C-K* (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). La théorie C-K apparaît comme le formalisme le plus adapté dans la mesure où il tient précisément compte des quatre notions suivantes : le raisonnement de conception, la logique des fonction, l'expansibilité des connaissances et l'expansion innovante des propositions.

La théorie unifiée de la conception C-K a été développée par Armand Hatchuel et Benoit Weil du Centre de Gestion Scientifique (CGS) de MINES ParisTech (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). La théorie C-K est une théorie de la conception et une théorie du raisonnement dans la conception, issue d'observation et de nombreux travaux empiriques dans le domaine de l'industrie. Le principe de la théorie C-K repose sur la distinction entre deux espaces en expansion : un espace K pour *« Knowledge »* (connaissance) regroupant un ensemble de propositions ayant toutes un statut logique ; un espace C pour *« Concept »* regroupant un ensemble de propositions indécidables (i.e. propositions dépourvues de statut logique).

- L'espace K inclut toutes les connaissances disponibles (techniques, réglementaires, sociales, usages, marchés, etc.). Les propositions ont un statut logique (i.e. toutes les propositions sont « vraies ou fausses »). Exemple : *« Toutes les voitures que je connais ont des roues »* (Agogué et al., 2013).
- L'espace C est un espace où les propositions n'ont pas de statut logique dans l'espace K (i.e. il est impossible de prouver que cette proposition est vraie ou fausse dans K). Exemple : *« Une voiture sans roues »*, *« un bateau qui vole »* (Agogué et al., 2013). Ces deux propositions sont des concepts car nous ne savons pas ce qu'ils représentent.

D'un point de vue formel, la théorie impose de travailler simultanément dans ces deux espaces pour formaliser le raisonnement de conception d'innovation. Les concepts sont composés de propriétés connues dans K, la théorie C-K est alors dite *K-relative* pour expliquer le fait que l'espace C est indissociable de l'espace K. Le point de départ du processus de conception est, néanmoins, un concept irréductible à l'espace K, c'est-à-dire une proposition qui contient une part d'inconnu. Le processus de conception est défini, par Hatchuel & Weil (2003, 2009), comme un processus au cours duquel un concept engendre d'autres concepts ou induit la recherche de nouvelles connaissances, ou bien des connaissances produisent de nouvelles connaissances ou modifient un concept. Ce processus s'achève quand un concept découlant du point de départ est transformé en une connaissance (positive ou négative), c'est-à-dire lorsqu'on constate la réussite ou l'échec du projet. Le fait de passer d'un espace à l'autre permet de rendre compte d'un double processus d'expansion : les connaissances permettent d'étendre les concepts (c'est-à-dire de les préciser au fur et à mesure des partitions) et les nouveaux concepts entraînent l'expansion des connaissances. L'expansion conjointe de ces deux espaces engendre des objets inconnus à partir de faits connus. L'espace K regroupe les connaissances nécessaires au développement et à la réussite du projet, et l'espace C est un arbre de propositions indécidables, où chaque nœud correspond à une partition du concept initial (sous-concept du concept initial) [Figure 6].

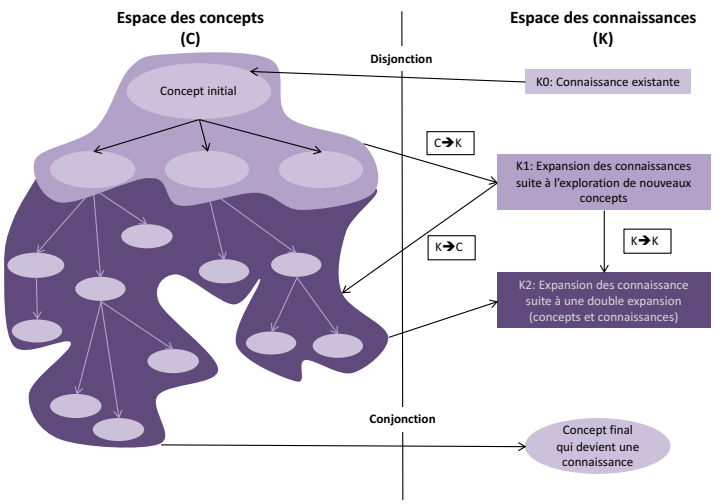


Figure 6 : Modélisation de la théorie C-K

Dans la théorie C-K, l'interaction, entre l'espace des concepts (C) et l'espace des connaissances (K), se modélise par l'intermédiaire de quatre opérateurs qui interagissent entre et dans les deux espaces [Figure 7] :

- **K➔C**, opérateur de disjonction : permet d'élargir l'espace C à partir d'élément de l'espace K en partitionnant le concept initial.
- **C➔K**, opérateur de conjonction : permet à un concept de devenir une connaissance. Cela revient à ajouter ou à soustraire des propriétés de l'espace K à des concepts de l'espace C afin de parvenir à des propositions avec un statut logique.
- **C➔C**, opérateur de partitions dans C : permet de générer des sous-concepts. Une partition peut être restrictive ou expansive. Une partition restrictive réduit l'espace de possibilités sans modifier la définition de l'objet à concevoir. Une partition expansive modifie l'identité de l'objet en ajoutant des nouvelles caractéristiques au concept initial.
- **K➔K**, opérateur d'expansion dans K : permet une expansion de l'espace des connaissances.

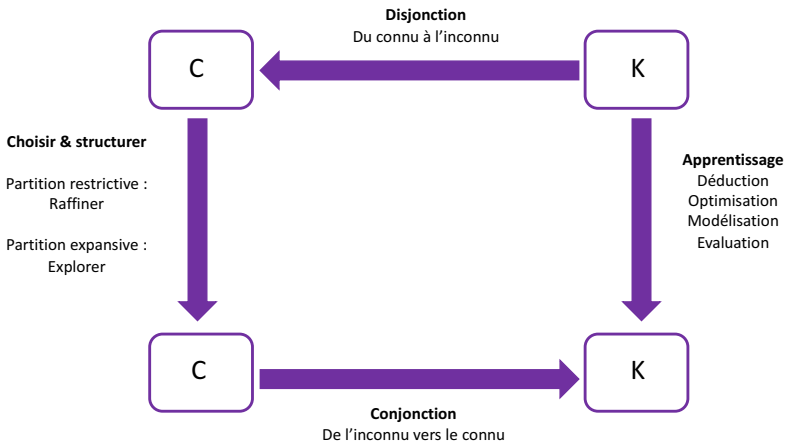


Figure 7 : Les quatre opérateurs de la théorie C-K

La théorie C-K permet de diagrammatiser les raisonnements de conception à travers l'expansion progressive des espaces C et K, dont les règles de structuration diffèrent. On peut ainsi évaluer et étudier les différentes pistes explorées [Tableau 2].

Organisation de l'espace des concepts (C)	Organisation de l'espace des connaissances (K)
Trois types de concepts : - Concepts descriptifs de la généalogie de l'objet - Concepts explorés et atteignables avec les connaissances identifiées - Concepts-expansions questionnant la base des connaissances	- Chaque partition adresse au moins une poche de connaissances - Chaque poche de connaissances doit être accompagnée d'un modèle de performance - Chaque base de connaissances doit permettre de renseigner la maturité des connaissances qu'elle contient

Tableau 2 : Organisation d'un diagramme C-K (Agogué et al., 2013)

L'utilisation d'un code couleur permet de rendre compte dans l'espace C du degré d'expansion des concepts explorés (connus, atteignables et alternatifs) et dans l'espace K du degré de robustesse des connaissances (validées, en cours d'apprentissage, manquantes) [Figure 8 & Tableau 3].

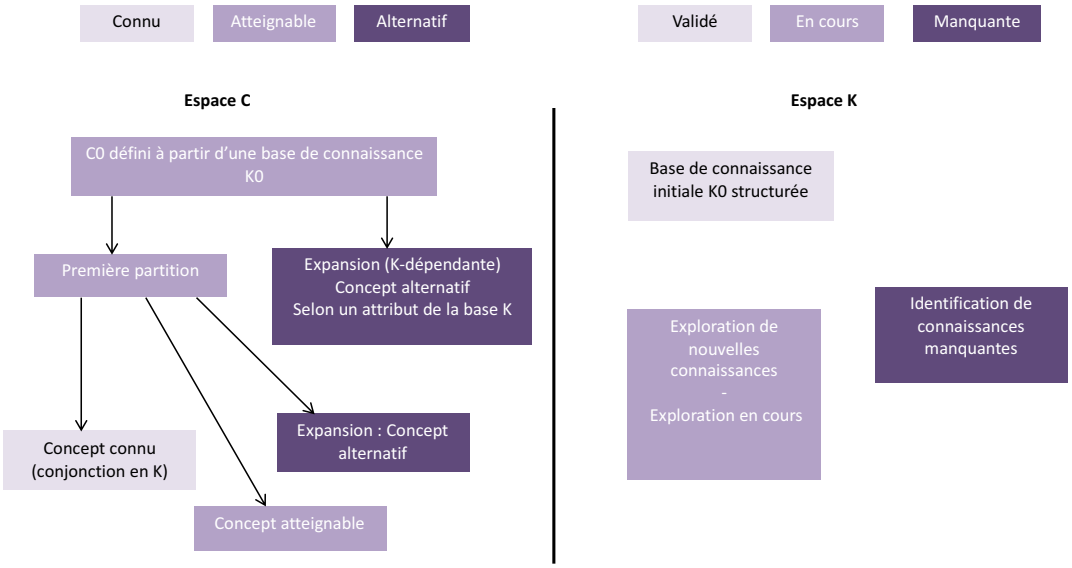


Figure 8 : Diagramme C-K & son code couleur (Agogué et al., 2013).

	Lecture industrielle	Théorie
Concept Connu	Le concept renvoie à un ensemble de solutions techniques connues, dont la performance est également connue	De nombreuses conjonctions existent
Concept Atteignable	Le concept est à approfondir ou atteignable	Partition restrictive
Concept Alternatif	Le concept est éloigné du *dominant design* et peut faire l'objet d'une démarche de conception dédiée	Expansion conceptuelle
Connaissances Validées	Connaissances acquises et validées en interne	Base K stabilisée (dont *dominant design*)
Connaissances En Cours	Connaissances en cours d'acquisition (il existe un programme de recherche ou une action métier sur la question)	K identifiée, conditions de validité et d'évaluation à définir
Connaissances Manquantes	Connaissances absentes ou non actionnables à l'interne	Identification d'un besoin de K (partition expansive)

Tableau 3 : Code couleur du diagramme C-K (Agogué et al., 2013).

A partir de ce formalisme et de ce cadre d'analyse, il est possible de différencier plusieurs formes de conception. Nous pouvons ainsi schématiser et identifier les traits caractéristiques des situations de conception réglée et de conception innovante [Figure 9].

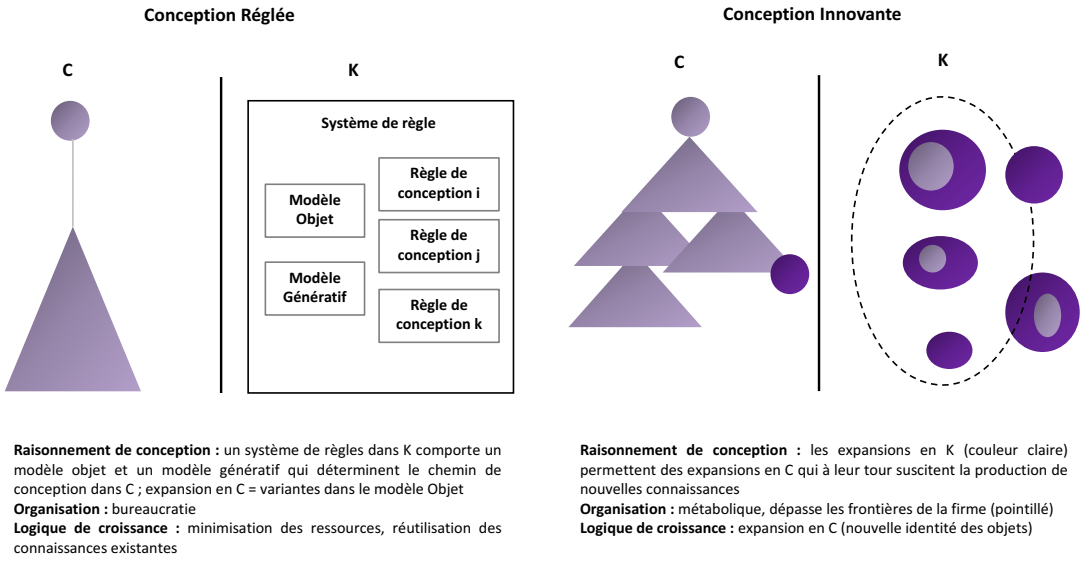


Figure 9: Modélisation de la conception réglée & de la conception innovante (Le Masson & Weil, 2010b).

En conception réglée, l'ensemble des connaissances est organisé dans un système de règles. Ces règles de conception permettent de structurer les connaissances. Elles doivent pouvoir être mobilisables par les concepteurs, elles sont associées à un cadre spécifique d'utilisation et ont pour objectif d'assurer la

mémorisation, l'accumulation et la transmission des compétences et des expertises. Parmi ces règles, deux sont particulièrement importantes : le modèle objet et le modèle génératif (Le Masson & Weil, 2010a, 2010b). Le modèle objet caractérise l'ensemble des dimensions de l'objet et le modèle génératif décrit les étapes de conception. La conception réglée suit une voie prédéterminée et se limite à explorer la diversité associée à un modèle objet en s'appuyant notamment sur ce modèle de règles. L'expansion des connaissances est aussi limitée que possible afin de limiter le coût de production de nouvelles connaissances. Le système de règle a pour vocation de n'évoluer que modérément. Le QCD (Qualité, Coût, Délai) est le principal outil d'évaluation de la performance du régime de conception réglée.

En conception innovante, l'exploration dans l'espace des concepts est davantage ouverte. Le processus de conception commence à partir d'un concept initial et progresse par une expansion de concepts révisant ainsi l'identité de l'objet. En conception innovante, il n'y a plus de modèle génératif pour cadrer la progression du raisonnement de conception et le modèle de l'objet est sans cesse remis en question (Le Masson & Weil, 2010b). L'objectif est de revisiter le modèle de l'objet et d'ajouter de nouveaux attributs afin de modifier l'identité de l'objet. D'autre part, les connaissances ne s'organisent pas selon des règles établies et le but est de contribuer à l'expansion des connaissances. Cette expansion de connaissances s'effectue notamment par la production de nouvelles connaissances en lien direct avec le processus du raisonnement de conception.

3. REGIME DE CONCEPTION & REGIME D'EMERGENCE D'EXPERTISE

3.1. CONCEPTION REGLEE & CONCEPTION INNOVANTE

Remplacer le terme d'innovation par celui de conception ne permet cependant pas de décrire les mécanismes de l'action collective susceptibles de conduire à l'innovation. Dans une perspective gestionnaires, plusieurs éléments sont à ajouter. C'est pourquoi, Le Masson & Weil (2008) introduisent le concept de **régime de conception** pour souligner l'importance du couplage de trois dimensions : un raisonnement de conception particulier, une forme d'organisation collective et des logiques de performance. Pour les auteurs, la notion de régime de conception illustre une forme de conception industrielle caractérisée par une certaine stabilité au cours du temps. Le concept de régime de conception insiste sur la pérennité des mécanismes de l'action collective et postule qu'il existe plusieurs formes variées de régimes se succédant au cours du temps (Le Masson et al., 2014). Une des originalités du concept de régimes de conception réside principalement dans la nature du **modèle général de la performance d'un régime de conception**. Ce modèle canonique de performance se base sur les inputs et les outputs du processus de conception. Les inputs correspondent aux **ressources** de conception associées un régime particulier (effectif de R&D, types de connaissances, capacités de production du processus de conception). Les outputs correspondent aux **capacités d'expansion** (la nature et la variété de ce qui a été conçu : innovation incrémentale, radicale, de rupture, etc.). Alors qu'un régime de production considère des quantités de bien connu en matière d'output et des facteurs de production connu en matière d'input ; un régime de conception se caractérise par la nature particulière des ressources et des expansions qu'il prend en compte. Pour un régime particulier, l'enjeu est de définir la nature des inputs et des outputs. Le rapport expansion/ressource, que Le Masson et al. (2014) nomment *puissance expansive*, dépendra

précisément de ces choix. Aussi, la performance d'un régime de conception s'analyse comme les expansions possibles à partir d'un ensemble de ressources données. Le Masson et Weil (2008) distinguent quatre régimes de conception : *la conception sauvage, la conception réglée paramétrique ou la conception « en recette »*, la *conception réglée systématique* et *la conception innovante* [Tableau 4]. Ces régimes de conception se distinguent selon trois éléments : les ressources consommées par l'activité de conception, la capacité d'expansion qui peut être atteinte et la performance qui exprime le rapport entre les deux [Figure 10].

Le *régime de conception sauvage* est caractéristique de la première révolution industrielle en Angleterre. Les principaux acteurs de ce régime de conception sont des inventeurs-entrepreneurs très inventif. Ces ingénieurs indépendants vont être à l'origine de l'émergence de nouveaux secteurs industrielles (filatures mécanisées, machine à vapeur, chemin de fer, machine-outils, etc.). Ces inventeurs-entrepreneurs conçoivent de manière innovante sans cadre spécifique. Les ressources se limitent à quelques ingénieurs, les connaissances initiales sont faibles et l'apprentissage est réalisé par essai-erreur. La conception des produits est réalisée en même temps que son procédé associé et la répétition de la conception des produits n'est pas organisée. Chaque produit est unique et singulier. Les concepteurs découvrent progressivement les dimensions de la performance et cherchent à stabiliser l'identité des objets. D'autre part, dans ce régime de conception le client ne possède que très peu de compétences sur les produits conçus. Ainsi, il est faiblement prescripteur. Enfin, la performance consiste à *« construire un potentiel de valeur/compétence singulier qui permette de s'imposer pour emporter les appels d'offre et conserver une avance dans un domaine effervescent »* (Le Masson & Weil, 2008).

Le *régime de conception réglée paramétrique* se distingue de la *conception sauvage* par le rôle fondamental de *« recettes de conception »*. Dans ce régime les concepteurs non pas pour vocation de mobiliser tous les savoirs acquis et de concevoir entièrement de nouvelles machines. Le modèle de la conception réglée paramétrique est un modèle à deux niveaux. Dans le premier, sont définis des ensembles de *« recettes de conception »*, dans le second, ces *« recettes »* permettent aux techniciens de concevoir toutes sortes de machines adaptées aux situation variées qu'ils peuvent rencontrer. Afin d'être certain d'obtenir un résultat satisfaisant, il suffit donc de suivre les étapes et les calculs définis par ces *« recettes »*. Les *« recettes »* correspondent ainsi à des règles de conception qu'il faut respecter. Dans ce régime, l'effort de conception n'est plus focalisé sur un produit singulier qu'il faut concevoir, mais sur la conception de *« recettes »* capable de générer toute une famille de produits. On peut donc distinguer deux types de concepteurs : ceux qui conçoivent les recettes et ceux qui les utilisent pour concevoir des familles de produits. D'autre part, la logique de règle repose sur deux notions importantes : les modèles conceptuels et les modèles génératifs. Les modèles conceptuels permettent de relier les dimensions de la performance aux paramètres de conception du dispositif (par exemple le principe de Carnot). Un modèle conceptuel est une modélisation des relations entre des objets connus. Cependant, la connaissance et la maîtrise d'un modèle conceptuel ne sont pas suffisantes pour la conception d'un objet. Il faut aussi organiser la conception. Le modèle génératif *« ordonne en une séquence linéaire les étapes de la conception »* (Le Masson & Weil, 2008) : c'est une base de règles de conception qui permet de structurer un processus de conception répété et conjonctif. Enfin, l'introduction de *« recettes »* dans les processus de conception distingue deux types de relation au savoir. La conception de règles nécessite un effort important d'exploration, de

production d'expertise et de modélisation, alors que l'utilisation de règles de conception ne nécessite que des compétences limitées et largement répandues.

Le *régime de la conception réglée systématique* se singularise par plusieurs éléments. Premièrement, la conception réglée systématique se caractérise par la structuration en famille de produits basés sur des architectures de références permettant de couvrir un large ensemble de besoins et d'améliorer de façon continue la performance des produits. Deuxièmement, sur la base d'un cahier des charges, les concepteurs ont pour consigne d'utiliser des pièces et des systèmes standards déjà utilisés. Enfin, la conception réglée systématique repose sur l'existence de quatre langages principaux permettant la description des objets à concevoir : le langage fonctionnel (liste des fonctions de l'objet à concevoir), le langage conceptuel (les langages de l'ingénieur : mécanique, cinématique, électricité, etc.), le langage physico-morphologique (les éléments et principes physiques des objets à concevoir) et le langage de la conception détaillée (procédés de fabrication). Si ce modèle repose aussi sur la distinction entre modèles conceptuels et modèles génératifs, contrairement à la conception réglée paramétrique, il permet une plus large liberté dans le choix des modèles conceptuels. En effet, les concepteurs ont le choix entre plusieurs alternatives et ne sont pas obligés de se limiter à un modèle conceptuel prédéterminé. Cette liberté permet d'augmenter le pouvoir expansif sur les variétés de produits. Cependant, cette variété reste encadrée par un *dominant design*. Ainsi, la conception réglée systématique permet la conception d'une grande variété de produits, bien que celle-ci soit limitée à un *dominant design*, tout en préservant au maximum les ressources engagées (Le Masson & Weil, 2008).

	Ressources	**Expansion**	**Performance**
Conception sauvage	Inventeurs-entrepreneurs ; connaissances initiales faibles ; apprentissage par essai-erreur	Faible organisation de la répétition ; découverte progressive des dimensions de la performance, stabilisation progressive de l'identité des objets	Construire un potentiel compétence/ valeur singulier
Conception réglée paramétrique	Recette (modèle génératif fondé sur un modèle conceptuel) ; distinction entre la conception de la recette et celle du produit	Famille de produit prédéterminé par le modèle génératif	Maximiser les conjonctions sans production de connaissances supplémentaires
Conception réglée systématique	Bureau d'étude ; division du travail ; métiers spécialisés	Famille de produit (dominant design) = variété + cône innovation sur des performances connues ; déclinaison en gammes et familles	Expansion étendue en contrôlant les apprentissages

Tableau 4 : Comparaison des régimes de conception réglée (Le Masson et al., 2014)

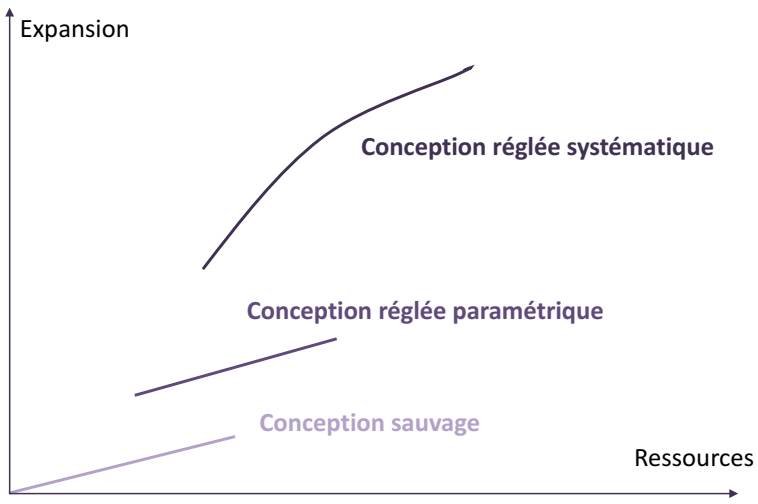


Figure 10 : Performance des différents régimes de conception réglée (Le Masson et al., 2014)

Le régime de conception innovante ne se définit pas en opposition aux régimes de conception réglée (en recette ou systématique). L'enjeu de ce régime de conception n'est pas de remplacer la conception réglée, mais de permettre de régénérer l'ensemble des règles de conception en permettant le développement de nouveaux modèles génératifs et conceptuels. Pour régénérer les règles de conception, ce modèle de conception suppose que le défi est de provoquer une révision de l'identité des objets. Ce modèle permet alors de sortir des *dominant designs* existants, de faire émerger de nouveaux champs de concepts et de nouvelles connaissances, et suppose ensuite un retour à un régime de conception réglée (Le Masson & Weil, 2008).

3.2. Identite de l'objet en tant que produit & identite de l'objet en tant qu'expertise

La notion de régime de conception met particulièrement l'accent sur l'évolution de la nature des activités de conception pour la création de produits ou de familles de produits. Le concept d'identité de l'objet se réfère principalement aux produits conçus par les firmes en tant que biens de consommation. Néanmoins, l'approche par les activités de conception met aussi en évidence deux types de conceptions distinctes : la conception des produits et la conception des règles de conception, c'est-à-dire des champs d'expertise. Si en conception réglée, l'émergence d'expertise est fortement contrainte par la nature des produits existants et par la nature des champs d'expertise existants, en régime de conception innovante, l'émergence de nouveaux produits de rupture n'est pas possible sans l'émergence de nouveaux champs d'expertise. **Ainsi, peut-on penser l'émergence de nouveaux produits de ruptures sans l'émergence préalable de nouvelles expertises ?**

Cette question nous impose de définir plus précisément ce qu'est un produit. Pour cela, prenons l'exemple de l'architecture du transistor[10]. Le transistor est le composant de base de la microélectronique

[10] L'histoire du transistor est détaillée dans l'annexe suivant : *Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor.*

et permet la conception de circuits intégrés (interconnexion de plusieurs transistors sur une même puce). Posons-nous la question suivante : qui conçoit l'architecture des transistors, qui vend des architectures de transistors et qui achète des architectures de transistors ? La première réponse est relativement simple, les architectures de transistors sont conçues par les entreprises de l'industrie du semi-conducteur. Cependant, aucune de ces entreprises ne vendent des architectures de transistors sur le marché et personne n'achète des architectures transistors. Les entreprises vendent et achètes des microcontrôleurs, des microprocesseurs et des circuits intégrés conçus à partir de transistors. Ces biens sont dédiés à différents secteurs et différentes applications (automobile, aéronautique, biens de consommation grand public, défense, etc.). Ainsi, un microcontrôleur pour l'aéronautique est un bien tangible (son usage est reconnu), spécifique à un marché (c'est à dire qu'il répond à des fonctionnalités et des usages particuliers) et consistant (il constitue un tout cohérant et indépendant). A l'inverse, l'architecture de transistor est un bien intangible (c'est un modèle conceptuel associé à des processus de conception et de fabrication), générique (c'est-à-dire qu'il est indépendant des marchés : les transistors sont utilisés dans une multitude de produits) et interdépendant (c'est-à-dire qu'il n'existe pas à l'état isolé, il est nécessairement en relation avec d'autres éléments pour exister).

Ainsi, nous faisons une distinction entre la notion d'identité de l'objet en tant que produit et la notion d'identité de l'objet en tant que champ d'expertise [Tableau 5]. La première se réfère principalement à un produit, c'est-à-dire à un bien de consommation, et la seconde définit l'objet en tant que champ d'expertise, c'est-à-dire un ensemble cohérent et structuré de connaissances, de savoirs et de savoir-faire spécialisés, spécifiques à la firme, de nature scientifique et technique. L'introduction de la notion d'identité de l'objet en tant qu'expertise permet de souligner que les activités de conception et les enjeux d'innovation ne se limite pas seulement à la conception de produits. Cette notion permet de légitimer le rôle de la conception de champs d'expertise dans les processus de déstabilisation des objets et de souligner que les activités de conception peuvent s'effectuer indépendamment des logiques de marchés. En effet, étant donné que les champs d'expertise sont intangibles, génériques et interdépendants, les concepteurs en charge de concevoir de nouvelles architectures de transistors ne sont pas soumis à l'identification précise d'opportunités de marché.

Objet en tant que produit	Objet en tant qu'expertise
- Tangible - Spécifique à un marché - Consistant	- Intangible - Générique - Interdépendant

Tableau 5 : Différences entre l'objet en tant que produit et l'objet en tant qu'expertise

Dans la littérature en management et en génie industriel, on retrouve de manière relativement similaire cette distinction (Marples, 1961 ; Alexander, 1964 ; Henderson & Clark, 1990). Henderson & Clark (1990) remarquent que l'innovation implique rarement une technologie isolée ou un marché unique, mais plutôt un ensemble de connaissances rassemblées autour d'une configuration. Ils font la distinction entre un produit en tant que système et un produit en tant qu'ensemble de composants, notamment afin de défendre l'idée selon laquelle le développement de produit nécessite deux types de connaissances

distinctes. Une connaissance sur chacun des concepts de base *("component knowledge")* et une connaissance sur l'intégration et les relations de ces différents concepts de base *("architectural knowledge")*.

En régime de conception réglée, il s'agira de concevoir un nouveau microprocesseur en minimisant la révision de l'identité du champ d'expertise transistor. En conception innovante, l'objectif est de réviser l'identité du champ d'expertise *« transistor »* afin d'augmenter les possibilités d'expansion pour la conception de *« microprocesseur de rupture »*. **Dans les deux cas, il y aura bien émergence de nouvelles expertises**. Cependant, dans le premier cas l'émergence de nouvelles expertises minimisera la réorganisation des savoirs et des expertises existantes. Dans le second cas l'émergence de nouvelles expertises provoquera une restructuration des expertises et déstabilisera les *dominant designs* existants. **Ainsi, nous faisons l'hypothèse qu'il existe différentes formes d'émergence d'expertise et que ces différentes formes d'émergence auront un impact différent en matière de potentiel d'innovation.**

3.3. Le concept de regimes d'emergence d'expertise

Les processus d'apprentissage, tout comme les activités de recherche industrielle dans les organisations peuvent être perçus comme des *« processus contrôlés de production de connaissance »* (Le Masson et al., 2006). Néanmoins, cette caractéristique ne permet pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence d'expertise et des formes de gouvernance associées. Comme le remarque Le Masson & Weil (2016), *« la production de connaissances peut être en lien plus ou moins étroit avec les autres acteurs de l'entreprise, contribuer plus ou moins à l'innovation, être plus ou moins « asservie » à des demandes externes (business unit, usine, dirigeants de l'entreprise, clients, etc.), ses résultats, surprenants ou non, peuvent être plus ou moins mobilisés par les collectifs où elle est intégrée, etc. »*.

Ainsi, dans une perspective gestionnaire, nous proposons d'introduire le concept de **régime d'émergence d'expertise** afin de souligner **la variété des formes d'émergence d'expertise, des modes de gouvernance de l'expertise et des potentiels d'innovation atteignables**. Ce concept se distingue de la notion de régime de conception car il se focalise principalement sur la nature des transformations des expertises dans les organisations. Pour simplifier, la notion de régime de conception se focalise sur les activités de conception des produits et se caractérise par la nature particulière des ressources, des expansions et du rapport expansion/ressource. Quant à la notion de régime d'émergence d'expertise, elle se concentre sur les formes d'évolution et d'émergence des champs d'expertise, en relation avec des formes de gouvernances et des potentiels d'innovation [Figure 11]. D'autre part, le concept de régime d'émergence d'expertise se distingue aussi du concept de gestion de connaissance, car il ne s'apparente pas et ne se réduit pas à une démarche managériale regroupant un ensemble d'initiatives, de méthodes et de techniques permettant d'identifier, d'organiser et de partager des connaissances dans les organisations. Enfin, le concept de régime d'émergence d'expertise ne se fonde pas sur des distinctions classiques parmi lesquelles science fondamentale et science appliquée, science industrielle dans les organisations et science pure dans les universités.

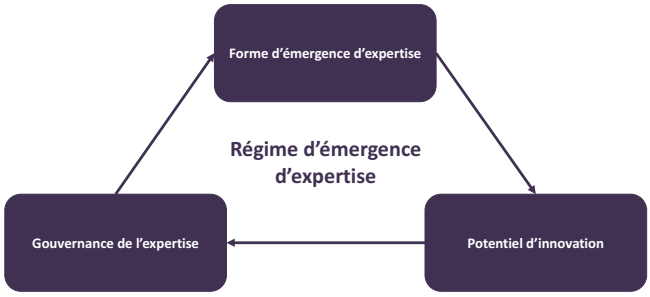


Figure 11: Les trois dimensions d'un régime d'émergence d'expertise

L'idée de régime d'émergence d'expertise repose sur plusieurs constats. D'abord sur le fait que ce que nous mettons sous le vocable *« d'émergence d'expertise »* n'est en rien un *« objet »* circonscrit et stable dans le temps, qu'il s'agirait de simplement décrire. L'émergence d'expertise dans les organisations s'appréhende nécessairement à travers un ensemble vaste de relations qui impliquent plusieurs enjeux. En effet, l'émergence d'expertise est toujours prise dans des formes sociales et politiques, elle dépend et contribue à modeler l'existence individuelle des acteurs (en particulier les experts), l'existence de formes d'organisation, le potentiel d'innovation (incrémental ou de rupture) et la création de valeurs organisationnelles et économiques. L'idée qu'il existe des régimes d'émergence d'expertise renvoie aussi à une structure légitime des expertises, par exemple à une hiérarchie et une interdépendance disciplinaire. D'autre part, cette idée de régime d'émergence d'expertise repose aussi sur le fait que les organisations ont pu adopter différentes formes de gouvernance d'expertise ou qu'elles les ont fait advenir. Enfin, l'idée de régime d'expertise postule que l'émergence et la gouvernance de l'expertise sont forcément liées aux capacités génératives de nouveaux concepts : minimisation de la générativité de nouveaux concepts innovants et de la réorganisation des expertises ou favorisation d'expansions conceptuelles fortes et restructurations profondes des expertises [Tableau 6].

	Deux archétypes de régimes d'émergence d'expertise	
Formes d'émergence d'expertise	Emergence de nouvelle expertise sans modification et sans réorganisation des expertises existantes	Emergence de nouvelle expertise avec modification et restructuration profondes des champs d'expertise
Identité des champs d'expertises	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs*	Révision de l'identité des champs d'expertise ➔ rupture des *dominant designs*
Rapport à la générativité de nouveaux concepts (produits ou services en rupture, nouveaux usages, nouvelles technologies, etc.)	Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises	Expansions conceptuelles fortes et restructurations profondes des expertises
Gouvernance de l'expertise	Modèles institutionnels, mécanismes organisationnels et dispositifs de gestion visant à contenir la réorganisation des expertises	Modèles institutionnels, mécanismes organisationnels et dispositifs de gestion visant à favoriser la réorganisation des expertises
Potentiel d'innovation	Innovation incrémentale	Innovation de rupture

Tableau 6: Deux archétypes de régimes d'émergence d'expertise

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 1

Dans ce chapitre, nous avons souligné que dans les organisations industrielles, les enjeux d'expertise et d'innovation semblent en opposition ou du moins en tension. En effet, d'un côté l'expertise renvoie nécessairement à un modèle dans lequel la connaissance, les savoirs et les savoir-faire sont stabilisés, ordonnés et validés (Larson, 1997). A l'opposé, l'innovation est généralement associée à la prise de risque, à l'incertitude et au changement (Le Masson et al., 2006). Cependant, il y a aussi une incontestable interdépendance entre innovation et expertise. En effet, dans les industries de haute technologie, toutes les explorations désireuses de faire émerger des solutions innovantes se basent nécessairement sur des expertises de haut niveau. Ainsi, nous sommes face à un paradoxe : **l'expertise renforce et inhibe l'innovation.**

Nous avons ensuite présenté les caractéristiques contemporaines de l'innovation : hyper-compétivité des marchés (D'Aveni, 1994 ; Ilinitch et al., 1996), et innovation intensive (renouvellement permanent des produits et déstabilisation de l'identité des objets et des *dominant designs)*. Puis, nous avons souligné que l'innovation est avant tout le résultat de processus organisationnels, volontairement planifiés et organisés et que les capacités d'innovation sont directement reliées aux activités de conception et plus particulièrement aux activités de conception innovante (Le Masson et al., 2006). Enfin, nous avons présenté les caractéristiques des raisonnements de conception ainsi que la notion de régime de conception.

A partir de la notion de régime de conception et dans une logique gestionnaire, nous avons introduit le concept de **régime d'émergence d'expertise** afin de souligner **la variété des formes d'émergence d'expertise et leurs interdépendances aux modes de gouvernance de l'expertise**. Ce concept se distingue de la notion de régime de conception car il se focalise principalement sur la nature des transformations des expertises dans les organisations. Pour simplifier, la notion de régime de conception se focalise sur les activités de conception des produits. Quant à la notion de régime d'émergence d'expertise, elle se concentre sur les formes d'évolution des champs d'expertise, en relation avec des formes de gouvernances. D'autre part, le concept de régime d'émergence d'expertise se distingue aussi du concept de gestion de connaissance, car il ne s'apparente pas et ne se réduit pas à une démarche managériale regroupant un ensemble d'initiatives, de méthodes et de techniques permettant d'identifier, d'organiser et de partager des connaissances dans les organisations. Enfin, l'idée de régime d'expertise postule que l'émergence et la gouvernance de l'expertise sont forcément liées aux capacités génératives de nouveaux concepts : **minimisation de la générativité de nouveaux concepts innovants et de la réorganisation des expertises ou favorisation d'expansions conceptuelles fortes et restructurations profondes des expertises.** Ainsi, nous avons fait **l'hypothèse qu'il devait exister différentes formes d'émergence d'expertise et que ces différentes formes d'émergence auront un impact différent en matière de potentiel d'innovation.**

Après avoir conceptualisé la notion de régime d'émergence d'expertise, le chapitre suivant a pour objectif d'explorer les modèles de gouvernance de l'expertise dans les organisations industrielles.

CHAPITRE 2 – DE LA GESTION DES EXPERTS A LA GOUVERNANCE DE L'EXPERTISE

Chapitre 2 – De la gestion des experts à la gouvernance de l'expertise 57

1. L'expert dans les organisations : groupes professionnels & dynamique des métiers.....59

1.1. L'expert : entre logique professionnelle et logique organisationnelle 60

1.2. Le concept de métier dans les organisations 62

1.2.1. Les corporations de métiers 62

1.2.2. Le concept de métier 63

1.3. La dynamique des collectifs de métiers 64

2. Le modèle de référence de la gestion des experts : la double échelle 67

2.1. L'origine & le principe de la double échelle 67

2.2. Les limites de la double échelle 69

3. La gouvernance de l'expertise face à l'innovation intensive 72

3.1. Les enjeux de la gestion des experts & de l'expertise face l'innovation 72

3.2. Experts & innovation en rupture : mécanismes d'incitations et dispositifs organisationnels 74

3.3. Organiser le développement et le renouvellement de l'expertise : vers le concept de gouvernance de l'expertise 75

4. Synthèse du chapitre 2 78

Dans les industries de hautes technologies[11], caractérisées à la fois par une complexification des technologies, par un renouvellement accéléré des produits, par une déstabilisation de l'identité des objets (Le Masson et al., 2010) et par une hyper-compétivité des marchés (Ilinitch et al., 1996), on peut remarquer que l'avantage compétitif des entreprises industrielles (*science-based organization*) repose principalement sur la capacité de ces dernières à développer et exploiter une expertise technologique permettant la conception de technologies et de produits innovants. Ce défi est souvent associé aux savoir-faire et à l'excellence scientifique et technique du personnel des départements de recherche et développement (R&D). Les chercheurs, les scientifiques, les ingénieurs et les experts constituent des ressources indispensables, exerçant les missions de recherche et assurant le développement de l'innovation des firmes.

Généralement, dans les organisations industrielles les termes de « *chercheur* », « *scientifique* » et « *expert* » sont interchangeables et synonymes. **L'expert désigne un membre du personnel technique qui est reconnu par l'entreprise en tant que professionnel détenant un haut niveau d'expertise.** Selon Bootz & Schenk (2009), un expert est un *« individu qui dispose d'une compétence à analyser et résoudre des situations diverses et non triviales en s'appuyant sur une capacité à combiner et à mobiliser rapidement savoirs théoriques et empiriques »*. Dans certaines organisations, la notion d'expert désigne à la fois les experts scientifiques et techniques et les experts des grandes fonctions de l'entreprise (achats, finances, ressources humaines, logistiques, etc.) (Lauzol & Jonquière, 2015). Dans la suite de ce travail, nous retiendrons uniquement la première notion : l'expert scientifique. En effet, nous nous intéresserons au secteur industriel, c'est-à-dire aux entreprises dont le cœur d'activité s'appuie sur le développement de produits de haute technologie. Nous admettons bien volontiers qu'un responsable des achats ou qu'un responsable des ressources humaines puisse être désigné comme *« expert »*, car ils détiennent des savoir-faire ainsi qu'une connaissance approfondie de leur métier, cependant nous ne reconnaissons pas ces fonctions comme étant au cœur des processus d'innovation des entreprises industrielles. D'autre part, nous souhaitons échapper à l'aporie qui laisserait à penser que n'importe qui puisse s'identifier en tant qu'expert, ce qui signifierait finalement que personne ne l'est.

L'avantage concurrentiel et compétitif, ainsi que la capacité d'innovation, résident essentiellement dans la conception, le développement et la maîtrise des dernières avancées scientifiques et technologiques. L'enjeu est donc de déterminer les relations entre les experts scientifiques et techniques, l'expertise technologique et les capacités d'innovations dans les entreprises industrielles. Dans ce chapitre, nous évoquerons les enjeux de reconnaissance et de valorisation des rôles des experts dans l'organisation. Le principe de reconnaissance vise à identifier et à valoriser celui qui détient une connaissance et une expertise utiles pour l'organisation. Aussi, il semble pertinent de reconnaître les experts d'un point de vue de la gestion des ressources humaines : **Quels sont les mécanismes de valorisation et reconnaissance des experts scientifique ?** Toutefois, le rôle des experts dans les stratégies d'innovation technologique dépasse largement les problématiques de reconnaissance et de valorisation. En effet, les enjeux d'influence et d'incitation dans les mécanismes de production des idées et des concepts scientifiques nous semblent aussi particulièrement critiques : **Comment les mécanismes d'incitations et les dispositifs**

[11] Aéronautique, automobile, énergie, biotechnologie, nanotechnologie, robotique, technologies de l'information, semi-conducteur, etc.

organisationnels influencent-ils la production d'expertise scientifique ? Quelle est la nature de l'influence des experts séniors dans les activités d'exploration scientifique dans les organisations industrielles ?

Paradoxalement, comme nous le montrerons dans ce chapitre, la littérature en gestion n'aborde que très partiellement les questions d'influence et d'incitations dans les mécanismes de production scientifique dans les organisations. Pourtant, des recherches dans le secteur académique, notamment des sciences de la vie, ont mis en évidence le rôle primordial de certains scientifiques de très haut niveau *(« superstars »)* dans les processus de production de connaissances scientifiques et dans les mécanismes de collaboration (Azoulay et al., 2010, 2015). Le terme de *superstars* désigne des scientifiques éminents, unanimement reconnus par leurs paires. Dans les organisations industrielles, nous défendons l'idée que de tel individu existent. En effet, certains experts séniors sont reconnus internationalement dans leurs secteurs industriels. Par exemple, chez STMicroelectronics certains experts ont le titre de *Fellow* dans les sociétés savantes les plus reconnues (IEEE[12] par exemple), ont publié plus d'une quarantaine de brevets et plus d'une centaine d'articles scientifiques, atteignent un *h index* de plus de 30, encadrent des sujets de thèses et enseignent dans les universités et écoles les plus prestigieuses. Rappelons d'ailleurs que cinq chercheurs d'IBM ont reçu le prix Nobel de physique (1973, 1986, 1987) et que les Bell Labs ont obtenu pas moins de huit prix Nobel. Dans leurs travaux de recherche, Azoulay et al. (2010, 2011b, 2015) examinent le rôle de la collaboration pour stimuler la création de nouvelles connaissances scientifiques. En examinent les conséquences de décès prématurés et inattendus d'éminents scientifiques *(« superstars »)*, les auteurs mettent en évidence que la production scientifique (quantité et qualité), des collaborateurs du scientifique défunt, décline de façon importante et permanente (Azoulay et al., 2010). Pour les auteurs, ce constat ne peut pas s'expliquer uniquement par le fait que la collaboration avec une *superstar* permet d'obtenir de meilleurs financements, facilite la publication dans les revues académiques et favorise les collaborations académiques. Au contraire, il semblerait que la mort des *superstars* entrainerait la perte d'une source irremplaçable d'idées : *"When a superstar dies, part of the scientific field to which he or she contributed dies along with him or her, perhaps because the fount of scientific knowledge from which coauthors can draw is greatly diminished"* (Azoulay et al., 2010). Ces travaux nous invitent donc à questionner le rôle de l'influence d'un expert dans les processus d'exploration et d'innovation au sein des firmes, et des conséquences éventuelles d'un départ (changement d'employeur ou départ à la retraite).

1. L'EXPERT DANS LES ORGANISATIONS : GROUPES PROFESSIONNELS & DYNAMIQUE DES METIERS

Dans la littérature en sociologie des professions (Evetts et al., 2006 ; Abbott, 2014), les scientifiques, les chercheurs et les ingénieurs dans les organisations sont généralement désignés par le terme de *« professionals »* (Kerr et al., 1977 ; Kornhauser, 1982 ; Katz, 1988). Pour Kerr et al. (1977), l'expertise - se définissant comme étant la maîtrise d'un ensemble de connaissances abstraites résultant d'une formation spécialisée - est l'un des critères d'appartenance à la catégorie des *« professionals »*. D'autre part, comme le remarque Roger & Roger (2001), dans la littérature académique francophone le terme

[12] Institute of Electrical and Electronics Engineers.

« expert » a généralement été utilisé pour traduire le terme anglais *« professionals »*. Ces termes visent à définir cette catégorie de personnel se distinguant des « managers », et dont l'activité au sein de la firme est orientée sur l'utilisation et le développement de la connaissance plus que sur l'animation ou la gestion des hommes. Kerr et al. (1977) identifient principalement six caractéristiques qui définissent les *« professionals »* ou les experts : (1) l'expertise ; (2) l'autonomie ; (3) l'engagement envers le travail et la profession ; (4) l'indentification avec la profession et les autres professionnels ; (5) l'éthique : *« a felt obligation to render service without concern for self-interest and without becoming emotionally involved with the client »* ; (6) *collegial maintenance of standards*, ce qui signifie que les *professionnels* choisissent d'établir et d'appliquer leurs propres méthodes de conduite et de comportement.

1.1. L'EXPERT : ENTRE LOGIQUE PROFESSIONNELLE ET LOGIQUE ORGANISATIONNELLE

Dans la société, le statut d'expert est généralement associé à des professionnels tels que les juristes, les avocats, les médecins ou encore les experts comptables (Lelebina, 2014). Ce n'est qu'à partir des années 1970 que la sociologie des professions s'est intéressée aux activités des professionnels dans les organisations, notamment en s'interrogeant sur la dichotomie *expert/manager* au sein même de l'organisation (Pochic, 2004). Pour la sociologie des professions, l'expert dans l'organisation est associé à la figure de *professionnel* qui met au service de la firme ces compétences spécialisées de haut niveau (Barley & Tolbert, 1991). Ainsi, dans cette littérature, les professionnels sont caractérisés par trois principales spécificités (Carr-Saunder, 1928) (on peut remarquer que ces spécificités ont influencé les travaux de Kerr et al. (1977), cités précédemment) :

- Possession d'une expertise spécialisée dans un domaine de connaissance, nécessitant un apprentissage.
- Respect d'un code de conduite envers les autres membres de la profession et des clients (l'éthique du professionnel).
- Gestion de la régulation des activités de la profession (règles d'entrée dans la profession, importance du diplôme, etc.)

Pour la sociologie des professions, il existe une opposition entre les formes ou *les logiques professionnelles* et *les logiques organisationnelles* (Raelin, 1986, ; Barley & Tolbert, 1991 ; Whalley & Barley, 1997). Ce conflit se matérialise principalement par plusieurs oppositions : collégialité/bureaucratie ; professionnalisme occupationnel/professionnalisme organisationnel ; loyauté professionnelle/loyauté organisationnelle ; utilité sociale/valeur organisationnelle ; autonomie professionnelle/contrôle bureaucratique ; propriété et droit sur l'utilisation des connaissances (Lelebina, 2014).

Le concept de structure collégiale fait état d'un environnement dans lequel les interactions entre des individus indépendants sont basées sur l'autonomie, l'égalité, la parité, ainsi que sur le respect de l'éthique et des standards professionnels. L'autorité est basée sur une expertise particulière, partagée par les individus et dans un consensus vis-à-vis de la prise de décision (Water, 1989). A l'inverse, la bureaucratie désigne une structure hiérarchique où le succès individuel dépend du succès de l'organisation.

Les postes et les statuts sont déterminés par la hiérarchie, tout comme la légitimité des personnes (Tolbert, 1996). Evetts (2004) différencie le professionnalisme occupationnel du professionnalisme organisationnel. Le premier idéal-type, s'analyse comme étant une communauté morale, fondée sur l'appartenance à une profession, liant les individus aux besoins de la communauté. A contrario, le professionnalisme organisationnel se caractérise par un discours de contrôle qui inclus la standardisation des procédures et le respect de la hiérarchie. Pour les sociologues, la notion de *« commitment »*, désignant à la fois la loyauté et l'engagement d'un individu vis-à-vis d'une profession ou d'une organisation, est primordiale (Hall, Schneider & Nygren, 1970). Les acteurs de l'organisation subissent une tension entre une loyauté à une profession et à ses normes et une loyauté aux objectifs de l'organisation. D'autre part, la littérature s'est aussi intéressée aux notions d'autonomie professionnelle et de contrôle bureaucratique (Bailyn, 1985). Pour Bailyn (1985), l'autonomie est une valeur fondamentale des communautés processionnelles. Il définit notamment l'autonomie, dans les centres de R&D des entreprises industrielles, comme étant la liberté de choisir les sujets de recherche scientifique, indépendamment des exigences de l'organisation et du contrôle hiérarchique : *« the freedom to choose the problems on which to work, to pursue them independently of directives from anywhere except the precepts of a discipline, and to publish freely the results of research »* (Bailyn, 1985). Enfin, les enjeux de propriété et de droit sur la connaissance ont aussi été au centre des débats académiques. L'exemple le plus probant est celui proposé par Whalley & Barley (1997) au sujet des scientifiques des entreprises industrielles préférant publier leurs résultats de recherches dans des publications scientifiques, afin de les partager avec la communauté scientifique, alors que le modèle organisationnel impose la confidentialité des recherches et le secret industriel.

L'expert, en particulier l'expert technique et scientifique, est ainsi confronté à d'éventuelles tensions entre les deux logiques. Le défi de la gestion des experts dans les organisations, est de faire coexister les deux logiques parfois discordantes ou tout au moins opposables en matière d'objectifs. D'autre part, comme le remarque Lelebina (2014), il est important de ne pas considérer les professionnels dans l'organisation comme étant une catégorie homogène. Tout d'abord, on peut repérer en priorité les professions établies qui se sont « installées » au sein des firmes pour répondre à certains besoins d'expertises (expertise juridique, expertise médicale, contrôle de gestion, etc.), ensuite, les professions qui ont été « générées » par les activités mêmes de l'entreprise (Lelebina, 2014). Les professionnels techniques et scientifiques font généralement partie de cette catégorie.

Ainsi, les travaux en sociologie contribuent et permettent d'analyser la représentation de l'expert à travers l'incorporation de la logique professionnelle dans un contexte organisationnel. Néanmoins, ces travaux de recherche sont exclusivement explicatifs et descriptifs. La vision normative est totalement absente de ce courant de recherche. Ainsi, les modes d'action et les modalités gestionnaires sur les phénomènes décrits sont de fait exclus de l'analyse. D'autre part, cette perspective de recherche se limite uniquement à distinguer deux logiques différentes. Elle ne s'intéresse pas aux modalités, aux dispositifs et aux fonctionnements permettant de structurer les différentes logiques. Le travail collectif et la division du travail au sein des professions dans les organisations sont totalement absents des analyses sociologiques.

1.2. Le concept de metier dans les organisations

La gestion des experts et des expertises ne peut ainsi se limiter à la reconnaissance de professionnels dans les organisations. L'enjeu est de déterminer leurs rôles, leurs parcours d'apprentissage ainsi que leurs interactions au sein de la profession, avec les autres membres de l'organisation. Bien que la sociologie ait introduit le concept de *communauté professionnelle* (Van Maanen & Barley, 1984) caractérisant un groupe d'individu dans l'organisation, uni autour d'un travail similaire, animé par des valeurs, des normes et des perspectives communes, force est de constater que cette notion reste très vague et peine à proposer des concepts opératoires pour la gestion des experts et des expertises au sein des firmes. Pourtant, ces collectifs internes aux organisations sont fondamentaux car ils permettent la capitalisation des connaissances stratégiques, assurent les processus d'apprentissage et contribuent aux développements des expertises.

La mise en évidence des enjeux des processus d'apprentissage, de capitalisation, de développement et de transmission des connaissances dans les organisations n'est pas récente. Les notions de compagnonnage, de relation maître/apprenti, de formation professionnelle et surtout le **concept de métier** en font directement état. Le concept de métier n'a pas vraiment d'équivalent en langue anglaise. Cependant, il se traduit généralement par *craft*, *trade* et *profession*. Historiquement, la notion de métier est intimement liée aux corporations de métiers instituées en France jusqu'à la Révolution française (Saint-Léon, 1975, Osty, 2003).

1.2.1. Les corporations de métiers

La corporation se définit généralement comme étant un ensemble de personnes exerçant la même profession, le même métier[13]. Les corporations, dont le nom officiel est *communautés d'arts et métiers* (Bély, 1996), ont été instaurées en France à partir du Moyen-âge et étaient conçues autour de trois corps dont chacun possédait son propre statut et ses règles spécifiques : les apprentis, les compagnons et les maîtres.

L'apprenti était un jeune garçon qui se trouvait sous la responsabilité d'un maître afin d'apprendre le métier de celui-ci pour une durée d'un à trois ans (Hulin, 2010). L'apprentissage consistait à former l'apprenti afin qu'il puisse, à long terme, devenir membre de la corporation. L'apprentissage avait lieu chez le maître, c'est à dire que l'apprenti vivait sous la responsabilité de son maître pendant la période de sa formation (Crowston, 2005).

> *« Jeune garçon qu'on met et qu'on oblige chez un marchand ou chez un maître artisan dans quelque art ou métier, pour un certain temps, pour apprendre le commerce, la marchandise et ce qui en dépend, ou tel ou tel art, tel ou tel métier, afin de le mettre en état de devenir un jour marchand lui-même, ou maître dans tel ou tel art »*[14].

Le compagnon était le terme donné à l'apprenti qui avait fini sa formation et qui avait été capable de réaliser un *chef-d'œuvre*, c'est-à-dire une réalisation devant illustrer l'ensemble de ses connaissances

[13] Définition du dictionnaire Le Robert.
[14] Encyclopédie de 1751, cité par Crowston (2005).

acquises lors de son apprentissage. Après quelques années d'expérience, le compagnon pouvait devenir maître. Les conditions d'accès à la maîtrise étaient déterminées par chaque corporation de métiers (Cabourdin & Viard, 1978). Pour Osty (2003), **les corporations avaient trois fonctions principales :**

- Réglementer et organiser l'exercice de chaque métier.
- Garantir la qualité du travail effectué.
- Préciser les conditions de l'apprentissage et d'accès à la maîtrise.

Afin de favoriser le développement du commerce et de l'industrie, les corporations de métiers furent abolies en 1791. Cependant, elles ont perduré sous différentes formes.

1.2.2. Le concept de métier

Comme le remarque Hulin (2010), le concept de métier fait office d'un regain d'intérêt dans la littérature francophone en sciences humaines et sociales (Osty, 2003 ; Boyer & Scouarnec, 2005 ; Dalmasso & Sardas, 2008 ; Dalmasso, 2009 ; Boyer & Scouarnec, 2009 ; Scouarnec, 2010 ; Lelebina, 2014). Pour Osty (2003), ce regain d'intérêt pour le concept de métier peut s'expliquer par trois raisons principales :

- La possession d'un métier, c'est-à-dire d'un certain niveau de compétences adaptées, permet une assurance en matière d'emploi (Piotet, 2002). D'autre part, la détention d'un métier, c'est aussi un gage en matière d'employabilité, de reconnaissance sociale et d'identité au travail (Castel, 1995).
- La possession d'un métier est considérée comme une source de sécurité pour les individus vis-à-vis des organisations (Sewell, 1983).
- Le concept de métier fait écho au développement des compétences ainsi qu'aux mécanismes permettant ce développement et son évolution (Zarifian, 2001 ; Osty, 2003).

Cependant, les acceptations du concept de métier sont nombreuses et diverses. Ainsi, Boyer & Scouarnec (2005) distinguent principalement trois approches complémentaires *: (1) le métier individuel ; (2) le métier d'entreprise ; (3) le métier sectoriel.* **Le métier individuel** fait référence à une compétence individuelle, souvent à dominante technique. L'homme de métier est celui qui exerce une profession, un art, ce qui suppose qu'il détient des connaissances, des savoirs et des savoir-faire reconnus dans l'organisation et par la société. L'approche du métier individuel se focalise sur les compétences individuelles et collectives requises. Dans cette perspective, *« les compétences représentent les capacités à effectuer un ensemble de tâches précises, observables et mesurables ; c'est une disposition à mobiliser, combiner, mettre en œuvre des ressources (savoirs, savoir-faire, savoir-être) ; la compétence n'apparaît que dans la mise en œuvre en situation de travail, à partir de laquelle elle est validée »* (Boyer & Scouarnec, 2005). Le **métier d'entreprise** ou d'une organisation se définit comme l'ensemble des compétences mobilisées et coordonnées permettant la réalisation de produits ou de services. Le métier d'entreprise est généralement stable et évolue lentement afin de garantir une continuité technique, un lien social et une dimension identitaire forte (Boyer & Scouarnec, 2005). Le concept de métier d'entreprise est proche de la notion de compétence collective, car il incorpore aussi les compétences organisationnelles, structurelles, relationnelles et détermine l'identité et la culture de l'organisation (Boyer & Scouarnec, 2005). Enfin, le **métier sectoriel** correspond à une vision

macro-économique, c'est-à-dire qu'il détermine un vaste ensemble de tâches, de fonctions, de savoirs et de savoir-faire contenus dans un secteur industriel, tel que l'industrie automobile, aéronautique, pharmaceutique ou encore l'industrie du semi-conducteur. Le tableau ci-dessous [Tableau 7] regroupe une synthèse des différentes définitions du concept de métier.

Auteurs	Définitions
Sire (1999, p. 815)	L'ensemble des emplois qui, dans l'organisation, est caractérisé par **une même finalité** et **une même technicité**.
Piotet (2002, p. 3)	Un mot de tous les jours que l'on utilise indifféremment avec celui de profession ou d'emploi pour décliner une **identité sociale** articulée avec une **identité professionnelle**.
Boyer (2002, p. 152)	Au sens large, le métier est constitué par un ensemble d'acquis, de connaissances et d'habileté, appliqué à la transformation d'un produit ou à la fourniture d'une prestation, et utilisé dans le cadre d'une **technique dominante susceptible d'évoluer**.
Osty (2003, p. 17)	Le métier échappe à toute forme de codification établie et n'est saisi qu'au travers de **ses attributs** (savoir spécialisé, forme d'organisation sociale, place dans la division sociale du travail, type de sociabilité, code de déontologie) ou de **ses fonctions** (fermeture du marché du travail par l'obtention d'un monopole d'exercice d'une activité donnée, transmission des règles de l'art et normes de comportement, défense des intérêts collectifs et contrôle de la qualité du travail effectué).
Louart (2005, p. 106)	Le métier relève d'un **type d'expertise** (ou d'activité requise) **dans une configuration collective** orientée vers des résultats. En quelque sorte, quand on étudie un métier, on le situe dans un paradigme définitionnel (**ce dont il est fait**) et l'affecte à un syntagme opérationnel (**ce à quoi et dans quoi il sert**).
Acquier & Eyherabide (2005, p. 192)	Le métier est défini comme un attribut de l'individu autour de la possession d'un **savoir utile** et dont la base est partagée au sein d'une **communauté de métier**.

Tableau 7 : Synthèse des définitions du concept de métier (d'après Hulin (2010))

Si les définitions sont en apparence quelque peu différentes, elles regroupent pourtant quelques traits et caractéristiques communs parmi lesquels : **une identité professionnelle et sociale spécifique, un degré de compétences et de connaissances techniques de haut niveau, une stabilité des compétences dans l'organisation, une communauté regroupant les individus possédant les mêmes compétences et permettant d'assurer les processus d'apprentissage.**

1.3. La dynamique des collectifs de metiers

Les travaux du Centre de Gestion Scientifique de MINES ParisTech ont permis d'élaborer un cadre d'analyse de la dynamique des métiers, basé sur le concept de *« métier interne »* (Lefebvre et al., 2004, 2008 ; Roos, 2006 ; Dalmasso & Sardas, 2008 ; Dalmasso, 2009 ; Lelebina, 2014). Les auteurs défendent

l'idée selon laquelle il existe différents groupes de professionnels au sein d'une même organisation et que chaque type de groupes requiert un mode particulier de gestion des compétences et des carrières. Dans ce courant de recherche, le ***métier interne*** est défini comme un collectif, associé à un domaine technique, regroupant les savoirs spécifiques et stratégiques de l'organisation. Au cours du temps, ces compétences, connaissances, savoirs et savoir-faire se développent par capitalisation au sein d'un groupe d'individu qui sont capables de s'investir durablement dans le but de faire évoluer l'ensemble des expertises stratégiques de l'organisation (Lefebvre et al., 2003, 2004 ; Dalmasso, 2009 ; Lelebina, 2014). Les auteurs distinguent le *métier interne* de trois autres groupes caractéristiques de l'organisation : *fonction interne*, *« profession » intégrée* et *fonction standard*. Le *métier interne* se distingue du groupe *fonction interne* par la nature des activités qui repose principalement sur une expertise technique et non sur un savoir-faire managérial (*fonction interne* : managers, chefs de projets, etc.). D'autre part, le *métier interne* se distingue aussi des groupes dont l'expertise professionnelle est reconnue par l'organisation, mais dont l'activité n'est pas considérée comme stratégique et dont l'expertise n'est pas liée au *« cœur de métier »* de la firme (*professionnels intégrés* : médecins du travail, juristes, etc.). La figure 12 ci-dessous présente schématiquement les quatre groupes de professionnels internes à une organisation.

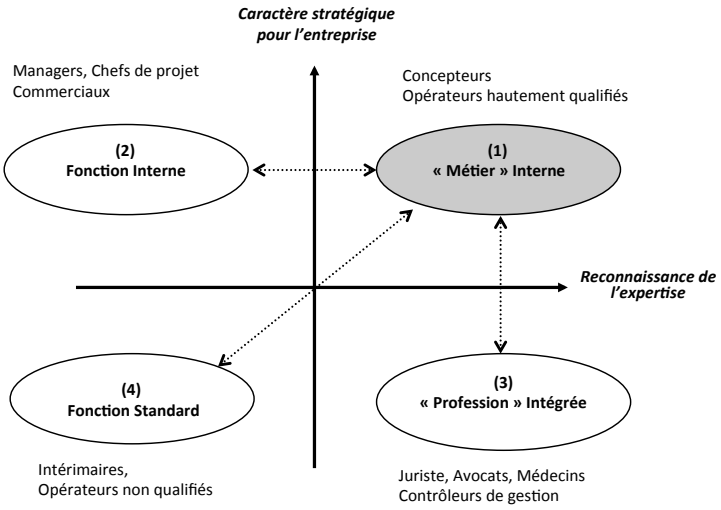


Figure 12 : Typologie des groupes internes d'une organisation (Sardas et al., 2004)

La définition du caractère stratégique n'est pas stricte et immuable, elle repose sur la stratégie explicite de l'organisation qui détermine ainsi son *« cœur de métier »*. Par exemple, si l'expertise juridique (gestion des brevets par exemple) devient stratégique pour l'organisation, le métier de juriste peut passer de *profession intégrée* à *métier interne*. Dans ce cas, l'organisation se devra d'entretenir et de développer cette expertise sur le long terme. Si les enjeux de métier existent aussi pour les managers et les chefs de projets, dont l'importance stratégique est évidente, ils ne requièrent néanmoins pas la même logique de structuration et de gestion que les métiers internes. En effet, les processus d'apprentissage et les enjeux de renouvellement des savoirs ne sont pas les mêmes. L'intérêt d'une telle approche, où l'on distingue les *métiers internes*, des autres groupes internes, est de mettre en place une organisation dédiée permettant à la fois de gérer les collectifs d'acteurs qui composent ces métiers et de contrôler le développement des connaissances à l'intérieur de ces métiers. Pour Sardas & Dalmasso (2006), il existent principalement deux besoins de

gestion spécifique pour les *métiers internes* : (1) organisation de la dynamique des connaissances (outil de gestion des connaissances, fonctions dédiées à la gestion et au partage de connaissances) ; (2) gestion des ressources humaines adaptée pour proposer des parcours de carrières spécifiques, raisonnablement attractifs pour les acteurs et essentiellement centrés sur l'acquisition des savoirs, permettant ainsi à l'expertise de se développer et d'être toujours disponible pour l'organisation.

Ainsi la *« dynamique globale du métier interne »* (DGMI), illustrée par le schéma ci-dessous [Figure 13], vise à définir à la fois les différents rôles en lien avec l'activité et permettant le développement des savoirs, ainsi que les modes de gestion des parcours assurant les apprentissages et la fidélisation des acteurs-clés (Sardas & Dalmasso, 2006 ; Lelebina, 2014).

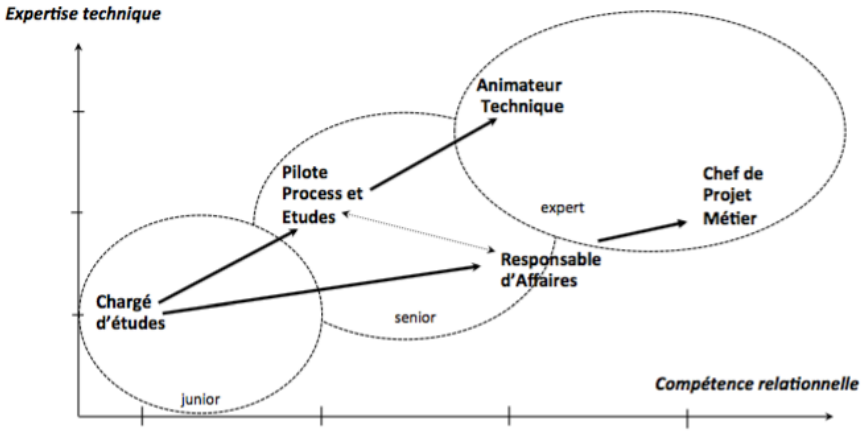


Figure 13 : Exemple de dynamique globale du métier interne dans l'ingénierie automobile (Sardas & Dalmasso, 2006)

Dans cette vision, chaque rôle est positionné en fonction de la nature et du niveau des compétences selon deux dimensions (compétence relationnelle et expertise technique). Un tel dispositif permet d'offrir aux acteurs des parcours de progression au sein **d'un métier existant et reconnu,** ainsi qu'un développement des savoirs au sein d'une **expertise existante et reconnue**.

Bien que ce cadre théorique permette d'analyser le fonctionnement d'un métier interne en matière de rôles et de parcours, **il reste strictement limité à un métier qui est déjà existant, reconnu par l'organisation et dont l'expertise associée est elle-même déjà existante et reconnue. Par conséquent, le caractère dynamique est uniquement associé à l'évolution du rôle et du savoir de l'individu, membre de ce métier.**

2. LE MODELE DE REFERENCE DE LA GESTION DES EXPERTS : LA DOUBLE ECHELLE

2.1. L'ORIGINE & LE PRINCIPE DE LA DOUBLE ECHELLE

A la fin des années 1950, Shepard (1958) soulignait déjà que les organisations industrielles, à vocation scientifique (*science-based organization*), telles que les industries automobiles, aéronautiques, pharmaceutiques et du semi-conducteur, étaient de plus en plus dépendantes de l'innovation technologique. Shepard (1958) mit en évidence que le pouvoir, dans les organisations industrielles, avait tendance à se déplacer vers les acteurs qui possédaient les compétences techniques nécessaires afin d'assurer la croissance et la survie de la firme, c'est-à-dire les membres des départements de recherche et développement (R&D). Cependant, l'influence de la R&D est restée limitée, en raison de la difficulté à évaluer les réelles et potentielles contributions des laboratoires de recherche de l'entreprise (Shepard, 1956). En outre, embaucher les meilleurs scientifiques et les laisser agir de façon isolée n'a jamais été une garantie de succès en matière d'innovation. Les difficultés d'évaluation de la performance de la R&D, la responsabilité des laboratoires de recherche limitée aux seules questions de faisabilité technologique, associé aux différences d'attentes, de valeurs et de traditions entre le personnel technique et les autres membres de l'organisation, constituent les principaux défis du management de la R&D pour l'innovation. Shepard (1956) identifie neuf dilemmes concernant les activités de recherche dans les organisations industrielles. Parmi ces dilemmes, la gestion du personnel technique (scientifiques, ingénieurs, chercheurs) est le plus important, en particulier la question de la récompense du personnel technique[15]. En effet, récompenser des experts techniques pour une bonne performance engendre un problème administratif difficile. Dans les principales organisations industrielles, le succès et l'influence d'un individu se mesurent en grande partie par l'importance du nombre de personnes dont cet individu à la responsabilité, c'est-à-dire par sa position hiérarchique. Plus la position d'un individu est élevée dans l'échelle hiérarchique, plus son pouvoir et son influence sont grands dans l'organisation. Ainsi, proposer une promotion hiérarchique est le meilleur moyen de récompenser un individu. Cependant, les meilleurs chercheurs et scientifiques ne sont pas forcément tous en mesurent de superviser, de gérer et d'administrer le travail des membres de l'organisation. En outre, dans une telle fonction, toute l'expertise, le savoir, les compétences et le talent créatif du chercheur ou du scientifique ne seront plus mis à profit dans l'entreprise. Il en résulte un dilemme pour la promotion et le développement de carrière du personnel technique.

> *"Scientists and engineers are themselves somewhat ambivalent about organizational advancement. On the one hand, it may be regarded as the only generally accepted evidence of their value. On the other hand, they fear loss of professional status and competence" (Shepard, 1956)*

Pour résoudre ce problème, la littérature académique propose deux principaux dispositifs de gestion pour récompenser la performance des membres du personnel technique et scientifique, sans pour autant les éloigner de leurs activités de recherche et de développement technologique : ***the concept of***

[15] Dans la littérature anglophone, c'est le terme *members of technical staff* qui est généralement utilisé pour désigner les experts techniques. Dans la suite de ce manuscrit, les termes *experts* et *membres du personnel technique (members of technical staff)* sont synonymes.

technical direction et ***the dual hierarchy*** ou ***technical ladder*** (double échelle, filière technique ou filière expertise) (Shepard, 1958). Il est clair que les praticiens et les universitaires se sont principalement intéressés à la seconde. Le système de la *double échelle* est basé sur l'idée suivante : un bon scientifique est « perdu » par l'organisation, quand celle-ci oriente sa carrière vers des fonctions managériales. De ce fait, elle le déconnecte des problématiques technologiques pour l'orienter vers des fonctions administratives.

> *"When a good scientist is made a manager, a good scientist is lost. Yet, promotion to management is the reward for competence in scientific work. Hence, the laboratory becomes a school for making non-scientists of its scientists [...] the best scientists are lost when they are rewarded by being made managers" (Shepard, 1958 p.179 & p.181)*

Pour contrecarrer cet effet *« pervers »*, le système de la double échelle offre un parcours de carrière spécialement dédié aux experts techniques (*échelle technique* ou *filière expertise* ou *filière technique*) comme une alternative à l'encadrement hiérarchique (*échelle management* ou *filière management*) [Figure 14]. D'une part, la filière management (*managerial ladder*) assure la promotion, le statut, la reconnaissance, le salaire, le pouvoir et l'influence des individus à travers des responsabilités de supervision et de management. D'autre part, la filière technique ou filière expertise (*technical ladder*) permet la promotion par des avantages spéciaux pouvant être obtenus sans responsabilités de supervision : par exemple, l'autonomie et la liberté dans les travaux de recherche, des salaires élevés et des titres spécifiques (*expert*, *senior member of technical staff*, *senior scientist*, *fellow*, etc.).

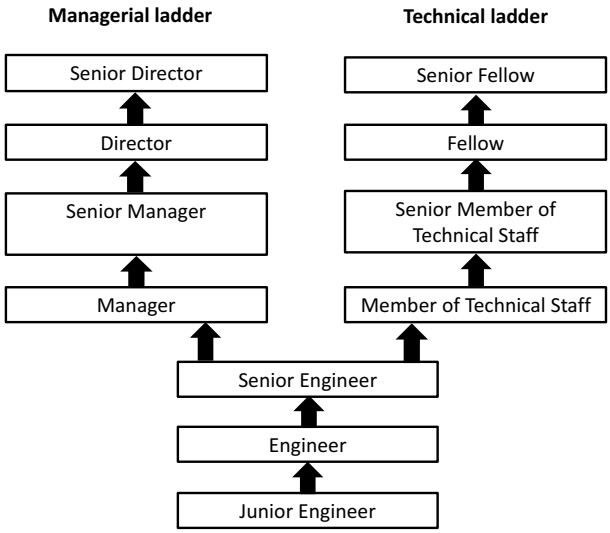


Figure 14 : Modèle de la double échelle (Cabanes et al., 2016)

La double échelle est un système de récompense et un dispositif organisationnel de gestion des carrières, qui a pour vocation à la fois de stimuler les experts techniques et d'organiser la gestion des ressources humaines dans l'organisation. En effet, pour innover, les entreprises industrielles ont besoin de

chercheurs talentueux et expérimentés, de scientifiques et d'ingénieurs capables d'être créatifs et productifs dans leur champ d'expertise respectif. Le transfert des meilleurs experts vers des fonctions managériales implique nécessairement une réduction du vivier de talents techniques dans l'organisation (Katz et al., 1990 ; Katz, 1997). Ainsi, la double échelle vise à assurer un vivier de talents scientifiques et techniques pour les organisations industrielles. D'autre part, comme l'ont mentionné Gastaldi & Gilbert (2007), la double échelle permet également de **reconnaître les experts techniques dans les organisations**, de leur offrir des perspectives d'évolution, de réduire la rotation du personnel technique et de préserver et de développer l'expertise, les compétences et le savoir-faire dans l'organisation. Ce dispositif de gestion permet aussi d'établir l'équité entre le personnel technique (les experts) et les managers, tout en soulignant l'importance des enjeux de R&D dans l'organisation. Enfin, il permet d'attirer les jeunes ingénieurs et scientifiques en leur offrant une perspective de carrière intéressante.

2.2. Les limites de la double echelle

Bien que de nombreuses entreprises aient adopté ce système, il est communément admis de la part des chercheurs en gestion et des praticiens, que la double échelle ne parvient pas à répondre aux difficultés liées à la gestion du personnel technique (Shepard, 1958 ; Gunz, 1980 ; Allen & Katz, 1986 ; Roth, 1988 ; Katz et al., 1990 ; Gupta, 1993 ; Katz et al., 1995 ; Dhifallah et al., 2008 ; Gand et al., 2010 ; Bobadilla & Gilbert, 2015 ; Defelix et al., 2015). Basées sur une revue de littérature, les principales limites de la double échelle sont les suivantes :

1) **Le système de la double échelle ne spécifie pas le rôle de l'expert dans l'organisation.** La liberté et l'autonomie, dans les activités de recherche, sont les principes fondamentaux de la filière expertise. Or, dans les organisations industrielles, la recherche n'est jamais dissociée des stratégies commerciales de l'entreprise. Le système de la double échelle ne définit pas le rôle stratégique des experts en lien avec les stratégies économiques et d'innovation des firmes ; à l'exception d'un rôle de conseiller technique et scientifique. Aussi, dans ce dispositif organisationnel, le travail et les activités des experts semblent être dissociés des ambitions stratégiques de l'entreprise. Finalement, la double échelle renvoie l'image d'un expert qui produit et partage de la connaissance indépendamment de la stratégie de l'organisation (Shepard, 1958 ; Aryee, 1992 ; Van Wees et al., 1994 ; Turpin et al., 1995 ; Gand et al., 2010 ; Lelebina, 2014 ; Bobadilla & Gilbert, 2015).
2) **Le titre d'expert et les différents niveaux de la filière expertise[16] correspondent plutôt à une récompense organisationnelle, plutôt qu'à une position stratégique dans l'organisation.** Sans une définition claire du rôle stratégique des experts techniques dans l'organisation, le statut d'expert se limite à une simple récompense pour services passés et non une opportunité pour prendre part à la stratégie de l'entreprise. Assurer un statut et des avantages ne suffisent pas. L'attractivité des rôles proposés par la filière expertise doit être aussi considérée, notamment leur contenu et leur légitimité vis-à-vis des enjeux stratégiques de l'organisation (Shepard, 1958 ; Van Wees et al., 1994 ; Turpin et al., 1995 ; Gastaldi & Gilbert, 2007 ; Gand et al., 2010 ; Lelebina, 2014).

[16] *Member of technical staff, Senior Member, Fellow,* par exemple

3) **La double échelle est une structure organisationnelle statique.** La vision de la double échelle est principalement axée sur la *« reconnaissance »* et la *« récompense »*. De plus, sa façon d'isoler les membres du reste de l'organisation en fait une étagère pratique pour les managers qui sont à la recherche de conseils et de compétences. Il est évident que pour les experts, une telle place n'offre pas de positionnement influent au sein de la firme. En outre, la double échelle ignore l'évolution de l'expertise au sein de l'organisation. Si un champ d'expertise devient obsolète dans l'organisation, comment doit-on gérer les experts techniques qui ne sont plus utiles ? La double échelle est orientée vers les chercheurs et ingénieurs qui sont déjà prêts à être reconnus et récompensés. Le champ d'expertise doit donc déjà être reconnu et validé. Par ailleurs, les enjeux de la gestion de l'expertise doivent également inclure des dispositions capables de gérer dynamiquement les domaines d'expertise et les experts. Comment penser les domaines d'expertise émergeants ? Comment organiser l'émergence de nouvelles expertises ? Force est de constater que la double échelle ne permet pas de répondre à ces questions.
4) **La filière expertise possède un statut ambigu dans l'organisation.** En effet, même dans le meilleur des cas, la promotion et la récompense par la filière expertise sont à la fois des symboles de réussite et d'incompétence managériale. Un brillant scientifique avec de bonnes compétences en leadership appartient logiquement à la filière management. Ainsi, la filière expertise est destinée aux scientifiques de talent mais à qui ils manquent un potentiel en matière de management. De plus, ce sont seulement les postes de haut niveau de la filière (*Fellow*, *Senior Fellow*) qui sont intéressants en matière de prestige. En général, l'échelle technique est peu attrayante, car l'avancement est trop lent pour les chercheurs ambitieux (Shepard, 1958 ; Katz et al., 1990 ; Aryee, 1992 ; Van Wees et al., 1994 ; Debackere et al., 1997 ; Tremblay et al., 2002).
5) **La double échelle est un dispositif organisationnel axé sur les besoins individuels des salariés et non sur l'action collective entre les individus.** En tant qu'instrument de gestion des ressources humaines, la double échelle est uniquement focalisée sur les questions d'évolution de carrière des individus. Le système de la double échelle ne traite pas des enjeux fondamentaux tels que la coordination entre les acteurs, les interactions sociales, les processus d'apprentissage, et les stratégies collectives pour la recherche et l'innovation. Pourtant, de nombreuses organisations essaient de créer et d'organiser une communauté ou un réseau d'experts sur la base de la double échelle. Cependant, la filière expertise ne produit pas nécessairement une communauté organisée dont les membres sont capables de travailler ensemble. De notre point de vue, **la filière expertise tend à créer le mythe de la communauté d'experts.** Ainsi, il ne suffit pas de créer une filière expertise pour obtenir une communauté d'experts proactive et performante. En effet, généralement les membres de la filière technique ne se connaissent pas et n'interagissent pas entre eux : un ensemble d'individus labélisés sous le même terme ne constitue pas forcément un collectif cohérent.
6) **Le système de la double échelle ne répond pas aux enjeux d'influence et de pouvoir au sein de l'organisation.** La double échelle tend à isoler le personnel technique du reste de l'organisation et contribue ainsi à abaisser le prestige de l'échelle technique. De plus, la promesse de liberté ne suffit pas, les experts doivent avoir du pouvoir pour rester libres (Shepard, 1958 ; Katz et al., 1990 ; Van Wees et al., 1994 ; Debackere et al., 1997).

7) **Les promotions au sein de la filière expertise se base sur les contributions passées des experts sans réflexion sur les attentes futures**. Les ingénieurs, les scientifiques et les chercheurs doivent justifier le niveau élevé de leurs contributions techniques pour atteindre le statut d'expert et être admis dans la filière expertise. Dans la plupart des cas, les critères sont le nombre de brevets, de publications scientifiques, de supervisions de thèses de doctorat, la réputation externe, le réseau international, les succès dans le développement de technologies complexes, etc. Or, ces critères sont uniquement basés sur le résultat des activités passées et non sur des enjeux à venir (Gunz, 1980 ; Bailyn, 1991).
8) **La reconnaissance des experts dans la double échelle est basée sur les compétences, les connaissances et les expertise existantes et déjà connues dans l'organisation.** Le management de la R&D pour l'innovation suppose de veiller à ce que les experts soient capables d'anticiper le renouvellement des connaissances, des compétences et de l'expertise, dans un contexte de forte incertitude sur les *dominant designs*[17], tout en contrôlant les ressources. Cependant, la double échelle ne permet pas d'anticiper les futures compétences clés de l'entreprise et ne parvient pas à motiver les experts pour le développement de nouvelles compétences. Enfin, la double échelle est bien plus un dispositif de récompense pour les succès techniques passés, qu'un moyen de motivation pour les développements futurs.
9) **La double échelle tend à faire du statut d'expert une récompense pour la loyauté organisationnelle plutôt que pour les contributions techniques.** Au fil du temps, le système de double échelle, utilisé par les organisations, tend à diverger de la vision et des attentes initiales. Au début de la mise en œuvre d'un tel dispositif, tous les critères de promotion sont bien suivis, mais ils ont tendances à être abandonnés progressivement. Si le concept initial est dégradé, alors les impacts sur l'organisation sont également dégradés (Katz et al., 1990 ; Bailyn, 1991 ; Debackere et al., 1997 ; Gastaldi & Gilbert, 2007, 2008 ; Gand et al., 2010).
10) **La double échelle ne traite pas les enjeux contemporains du management de l'innovation.** La double échelle est uniquement basée sur le fait que la motivation des scientifiques et ingénieurs permet à l'entreprise d'innover. Ceci est une condition nécessaire, mais non suffisante. Les enjeux de collaboration, d'alliance stratégique, de coalition, de partenariat technologique, de processus de conception, de stratégie d'entreprise, de travail d'équipe, de créativité, d'évaluation du marché et de génération de modèle d'affaires ne sont pas traités par la double échelle.

Néanmoins, force est de reconnaître qu'aujourd'hui, et en dépit des nombreux défis auxquels la double échelle fait face, ce dispositif de gestion est encore l'instrument le plus recommandé par les praticiens et les universitaires, en matière de gestion des experts et de l'expertise (Igbaria et al., 1999 ; Bobadilla & Gilbert, 2015).

[17] Le *dominant design* est un concept introduit par Utterback & Abernathy (1978), qui caractérise les technologies clés qui deviennent des standards dans l'industrie.

3. LA GOUVERNANCE DE L'EXPERTISE FACE A L'INNOVATION INTENSIVE

3.1. LES ENJEUX DE LA GESTION DES EXPERTS & DE L'EXPERTISE FACE L'INNOVATION

En réponse aux difficultés que pose la gestion des experts, plusieurs cadres théoriques ont été proposés dans la littérature académique. Une distinction peut être faite entre deux types d'orientation de recherche. D'une part, certains travaux ont apporté de nouvelles perspectives concernant l'adaptation et la mise en œuvre des pratiques RH dans le management de la R&D (Dhifallah et al., 2008, Angel & Sanchez, 2009 ; Ensign & Hébert, 2009 ; Bobadilla & Gilbert, 2015, Defelix et al., 2015). D'autre part, certains travaux proposent de revisiter le rôle des experts face à de nouvelles pratiques de management tel que *l'open innovation* par exemple (Beugelsdijk, 2008 ; Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012).

A partir du cadre théorique de la justice organisationnelle (Greenberg, 1996 ; Folger & Cropanzano, 1998 ; Wiesenfeld et al., 2007), Angel & Sanchez (2009) réexaminent le fait que la gestion des ressources humaines doit être adaptée à la spécificité du personnel scientifique des départements de R&D. Les auteurs soulignent que l'adaptation des pratiques de GRH peut être considérée comme un traitement différencié et injuste, affectant négativement les performances du personnel technique. Cependant, ces résultats contredisent la littérature spécialisée (Shepard, 1958 ; Allen & Katz, 1986 ; Robinson & Stern, 1997 ; Huber, 1999 ; Kim & Cha, 2000). Pour Bobadilla & Gilbert (2015), l'absence de consensus, entre ceux qui favorisent la non-adaptation et ceux qui sont pour l'adaptation des pratiques de GRH, montre qu'il manque un cadre théorique permettant de dévoiler les tensions et les conflits d'intérêts vécus par les différents acteurs. Bobadilla & Gilbert (2015) proposent de faire appel à la théorie de la convention (Boltanski & Thévenot, 2006) pour expliquer le décalage entre les pratiques de gestion et les processus de rationalisation, observés dans les organisations industrielles. Selon ces auteurs, ce décalage provient de tensions provoquées par différentes logiques sociales, qui cohabitent au sein de l'organisation et qui peuvent même être en compétition les unes avec les autres. Ils identifient trois logiques qui expliquent les difficultés de la mise en œuvre des pratiques et des dispositifs de gestion pour la R&D : (1) *the world of inspiration*, (2) *the world of market*, et (3) *the world of industrial*. D'une part, ce travail a le mérite de tenter d'expliquer les problèmes auxquels l'organisation fait face, d'autre part, il permet d'aller au-delà des cadres théoriques existants qui se contentent généralement de l'opposition entre adaptation ou non-adaptation. Cependant, tous ces travaux se limitent à une approche explicative, et ne parviennent pas à proposer de nouvelles solutions d'amélioration de gestion du personnel technique, en particulier pour aller au-delà du système de la double échelle.

A partir de la littérature en management de l'innovation, d'autres travaux ont cherché à relier la gestion des ressources humaines à la gestion de l'innovation. Beugelsdijk (2008) explore la relation entre douze pratiques de RH et l'innovation de produit. Dans son analyse, il distingue l'innovation radicale (nouveau pour l'industrie) et l'innovation incrémentale (nouveau pour l'entreprise). Ses résultats suggèrent que la formation, l'enseignement et la rémunération, basés sur la performance et l'autonomie sont bénéfiques pour l'innovation incrémentale. Par ailleurs, les systèmes d'incitation (notamment la rémunération) et les programmes de formation sont sans effets sur l'innovation radicale.

D'autres chercheurs soulignent comment l'adoption du paradigme de *l'open innovation* (Chesbrough, 2003) a changé les structures organisationnelles de R&D et a modifié les pratiques utilisées dans la gestion du personnel technique (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012). Les résultats suggèrent que l'open innovation tend à réduire le rôle des scientifiques de haut niveau (les experts) dans les processus d'innovation. Selon ces résultats, deux aspects de l'open innovation ont influencé le modèle de la gestion des chercheurs, des scientifiques et des ingénieurs dans les organisations industrielles. Tout d'abord, dans le paradigme de l'open innovation, la fonction R&D n'est plus le seul *« interceptor and promoter »* de l'innovation technologique dans l'entreprise (Petroni et al., 2012). Deuxièmement, le processus d'innovation, basé sur l'adoption de connaissances et de technologies externes, tend à réduire l'influence des scientifiques et des chercheurs (Petroni et al., 2012). Les départements de R&D, ayant adopté des pratiques d'open innovation, réduisent le rôle du personnel technique en tant que producteurs de connaissances, tout en l'élargissant aux missions d'intégration de connaissances provenant de l'extérieur de l'entreprise. Dans ce contexte, de nouvelles figures professionnelles émergent dans l'organisation : « *integration expert* » (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012). Leur rôle est de sélectionner et d'intégrer les connaissances externes afin de les utiliser avec succès dans de nouveaux produits et procédés.

> *"As a first result, in industrial research, the role of engineers and the business innovation team become more important, whereas the role of senior scientists is weakened." (Bigliardi et al., 2011)*

D'autre part, ces travaux défendent l'idée selon laquelle l'adoption de l'open innovation conduit à la création de nouveaux dispositifs de carrière, surmontant ainsi les insuffisances de la traditionnelle double échelle. Dans leurs travaux, Petroni et al. (2012) proposent un nouveau système : « *open dual ladder* ». Selon les auteurs, la principale différence vient du fait que, dans le système *open dual ladder*, le personnel technique a la possibilité de passer à d'autres positions telles que des positions de manager. Ainsi, ces travaux ont le mérite de mettre en évidence que, plutôt que de se concentrer sur la reconnaissance, la légitimation et les enjeux de promotion, le défi important est de prendre en compte le rôle des membres du personnel technique et des experts dans l'organisation.

Toutefois, ces conclusions restent problématiques. Tout d'abord, la prétendue nouveauté du rôle d'« *integration expert* » ne convainc pas. En effet, Allen & Cohen (1969) avaient déjà identifié et popularisé le rôle de *Gatekeeper* (bien avant le concept d'open innovation). Les *Gatekeepers* sont des experts techniques qui sont en mesure d'entretenir des relations entre des experts et des scientifiques internes et externes à l'organisation, afin d'échanger des connaissances et de l'information pour améliorer les performances des activités de R&D de la firme. Et c'est précisément ce que l'on peut attendre d'un expert. Deuxièmement, construire une stratégie d'innovation, uniquement à partir de l'intégration de connaissances externes à la firme, est une vision réductrice. Cela signifie que l'organisation est incapable de générer de nouvelles connaissances par elle-même, c'est-à-dire d'innover par elle-même. Enfin, le concept de « *open dual ladder* » ne semble pas une alternative crédible à la double échelle. En effet, la double échelle n'a jamais cherché à restreindre le personnel technique à la filière expertise et n'a jamais empêché un expert de prendre des responsabilités managériales, c'est-à-dire de changer de filière.

3.2. Experts & innovation en rupture : mecanismes d'incitations et dispositifs organisationnels

Dans nos économies contemporaines, la concurrence par l'innovation intensive se caractérise par l'accélération des ruptures des *dominant designs* (Le Masson et al., 2010) et par une hyper-compétitivité des marchés (Ilinitcht et al., 1996). Pour réussir dans cet environnement, l'amélioration continue des produits et des technologies existantes (innovation incrémentale) ne suffit plus. Les entreprises doivent adopter de nouvelles stratégies d'innovation et être organisées pour l'innovation radicale (McDermott & O'Connor, 2002). L'innovation radicale, caractérisée par de profonds changements tant sur le plan technologique que des marchés et des modèles d'affaires, exige la production de nouvelles connaissances, de nouvelles compétences et de nouvelles expertises dans l'organisation.

Dans le domaine académique des sciences de la vie, Azoulay et al. (2010, 2011a, 2012) font la distinction entre les activités de diffusion de connaissances préexistantes et de création de nouvelles connaissances. Par exemple, au sein des organisations, Azoulay (2004) distingue les activités de *data production* (*"the routine manipulation, storage, and transfer of symbolic information within established categories"*) et de *knowledge production* (*"the establishment of novel conceptual categories, hypotheses, and causal associations"*). D'autre part, Azoulay et al. (2011a, 2012) s'intéressent aux systèmes d'incitation afin d'étudier leurs influences sur le développement des projets de recherche de rupture. Pour cela, les auteurs étudient les carrières des chercheurs en fonction de deux dispositifs de financement. Le premier programme de financement possède les caractéristiques suivantes : financement de longue durée (environ cinq ans), possibilité de renouveler le financement, le mode de sélection est plutôt laxiste, les feedbacks sur les projets de recherche sont effectués par des scientifiques renommés, enfin le programme sélectionne d'abord personnes et non des projets *("people, not project ")*. Le second programme de financement possède les caractéristiques suivantes : financement de moyenne durée (entre trois et cinq ans), pas de renouvellement possible, sélection très exigeante, enfin le programme sélectionne un projet de recherche particulier. Les résultats montrent que les projets de recherche financés par le premier programme de financement conduit à des niveaux plus élevés d'innovation de rupture. Ces résultats sont importants pour plusieurs raisons. Premièrement, ils légitiment l'idée selon laquelle des mécanismes d'incitations appropriés permettent de stimuler l'innovation de rupture. Deuxièmement, ils apportent des informations pertinentes pour la conception de nouveaux mécanismes d'incitations pour favoriser l'innovation de rupture dans les domaines scientifiques.

A partir de ces travaux de recherche, de nouvelles questions à propos de la gestion des experts et des expertises apparaissent : **quels sont les rôles des experts pour l'innovation radicale ? Comment mobiliser le savoir des experts pour l'innovation radicale ? Comment organiser l'action collective des experts pour le renouvellement des expertises face à l'innovation intensive ? Quels sont les dispositifs de gestion capables d'organiser le renouvellement des connaissances, des compétences et de l'expertise dans un contexte d'incertitude sur les *dominant designs* ? Quel modèle de gouvernance permet le renouvellement et l'émergence de nouvelles expertises ?**

3.3. ORGANISER LE DEVELOPPEMENT ET LE RENOUVELLEMENT DE L'EXPERTISE : VERS LE CONCEPT DE GOUVERNANCE DE L'EXPERTISE

Précédemment, nous avons introduit le concept de régime d'émergence d'expertise afin de souligner la pluralité potentielle des formes d'émergence d'expertise et leurs interdépendances aux modes de gouvernance de l'expertise. Nous avons fait l'hypothèse qu'il devait exister différentes formes d'émergence d'expertise et que ces différentes formes d'émergence avaient un impact différent en matière de potentiel d'innovation. Nous avions évoqué deux principaux archétypes :

- Dans le premier cas, l'émergence de nouvelle expertise s'effectue sans modification et sans réorganisation des expertises existantes. Le modèle de gouvernance de l'expertise cherche à minimiser la réorganisation des savoirs et des expertises existantes et à minimiser la générativité de nouveaux concepts (produits ou services en rupture, nouveaux usages, nouvelles technologies, etc.). La révision de l'identité des champs d'expertise est limitée et les *dominant designs* sont préservés.
- Dans le second cas, l'émergence de nouvelle expertise s'effectue avec modification et restructuration profondes des champs d'expertise. Le modèle de gouvernance de l'expertise cherche à favoriser la création d'expansions conceptuelles fortes et à organiser la restructuration profonde des expertises. La révision de l'identité des champs d'expertise est importante, provocant la rupture des *dominant designs*.

D'autre part, par ce que l'expertise est *intuitu personæ*, il est important de distinguer les experts des non-experts. Cette distinction nous impose alors de considérer les principes d'organisation et les processus qui impliquent directement les experts et qui ont pour objectif principal d'assurer le développement de l'expertise. Ces processus concernent les experts, leurs rôles, leurs relations, leurs modalités d'actions et d'intervention ainsi que leurs relations avec l'ensemble des différents acteurs de l'organisation. Notre revue de littérature nous permet de distinguer principalement deux processus : la gestion des ressources humaines et les systèmes de coordination et d'action collective. Ces processus sont toujours associés un modèle gestionnaire.

La gestion des ressources humaines fait écho aux pratiques de gestion des carrières diffusées dans les organisations. Dans la plupart des organisations industrielles, le modèle gestionnaire adopté est celui de la double échelle qui vise à rendre les carrières scientifiques et techniques aussi attractives que les carrières managériales, notamment afin de récompenser, de valoriser, de motiver et de stimuler les membres du personnel technique.

Les systèmes de coordination et d'action collective sont les dispositifs permettant de contrôler, de piloter et d'organiser la coordination des différents acteurs. Sur ce sujet, la littérature académique et les pratiques gestionnaires sont moins uniformes. Il n'y a pas vraiment de consensus concernant un modèle gestionnaire. On retrouve aussi bien le concept de *métier* caractérisant un collectif, associé à un domaine technique, regroupant les savoirs spécifiques et stratégiques de l'organisation (Lefebvre et al., 2003, 2004 ; Dalmasso, 2009 ; Lelebina, 2014) ; le concept de *communauté de pratique*

caractérisant le rassemblement d'individus autour d'un métier ou de pratiques communes afin de parfaire leur maîtrise de compétences et pour partager un ensemble de connaissances (Lave & Wenger, 1991 ; Brown & Duguid, 1991 ; Wenger, 1998 ; Wenger & Snyder, 2000) ; ou encore le concept de *communauté épistémique* qui caractérise des groupes d'individus travaillant ensemble, de manière régulière, afin d'explorer de nouveaux champs de savoir (Knorr-Cetina 1991, 1999 ; Cohendet et al., 2003 ; Nooteboom, 2006). On peut noter que ces modèles gestionnaires ont principalement deux points communs. Bien qu'ils apportent des descriptions du processus d'apprentissage collectif, ces modèles gestionnaires sont essentiellement interprétatifs et expriment implicitement une logique de *« laissez-faire »* : le management risque plutôt de nuire aux communautés en s'y intéressant de trop près (Hatchuel et al., 2002).

En outre, ces approches se basent sur une *vision classique*[18] de l'expertise selon laquelle l'expertise se définit comme *« l'expression d'une connaissance formulée en réponse à la demande de ceux qui ont une décision à prendre et en sachant que cette réponse est destinée à être intégrée au processus de décision »* (Roqueplo, 1996 p. 14). L'action collective des experts relève ainsi d'une problématique du jugement et de décision : le jugement se situe du côté du savoir et des experts, la décision du côté du pouvoir et donc des managers. Ainsi le statut d'expert dans les organisations s'exprime par la reconnaissance de la détention d'un domaine d'expertise mais aussi par **la reconnaissance d'un rôle spécifique,** se limitant généralement au développement de l'expertises, au partage de l'expertise (capitalisation, diffusion, formation, mentoring) et à la capacité d'apporter des réponses concrètes, suite à la demande de ceux qui ont une décision à prendre.

Ainsi, penser l'organisation du développement et du renouvellement de l'expertise dans les organisations impliquent de tenir compte de trois dimensions : les dispositifs de gestion des ressources humaines, les systèmes de coordination et d'action collective et la définition du rôle des experts dans les organisations. Nous défendons l'idée selon laquelle, la gestion des experts ou le management de l'expertise ne sont que des composantes de ce que nous appelons la **gouvernance de l'expertise.** Cette distinction se base sur le fait, que les enjeux de l'expertise pour l'innovation ne peuvent se circonscrire à des techniques de gestion de carrières, à de simples dispositifs d'incitation ou encore à des méthodes et outils de gestion de l'information. Si les termes de gestion ou de management désignent généralement les pratiques liées à la planification, la mise en œuvre des processus et des méthodes pour l'organisation de l'action collective, **le terme de gouvernance permet de mettre l'accent sur l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de fixer le cadre général des dispositifs managériaux ainsi que les conditions de l'action collective des différentes parties prenantes de l'organisation**.

> Nous définissons la **gouvernance de l'expertise** comme l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation, afin d'assurer le développement et le renouvellement des champs d'expertise permettant la conception et la production des futurs produits et technologies de l'organisation.

[18] Telle que nous l'avons définie dans l'annexe suivant : *L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise.*

Par conséquent, penser la gouvernance de l'expertise, c'est analyser les différents modèles des trois dimensions présentées précédemment (modèle de coordination et d'action collective, modèle de GRH et modèle du rôle de l'expert dans l'organisation), leurs interactions ainsi que leurs relations d'interdépendance. C'est ce que nous appelons **l'approche trilogique de la gouvernance de l'expertise** [Figure 15].

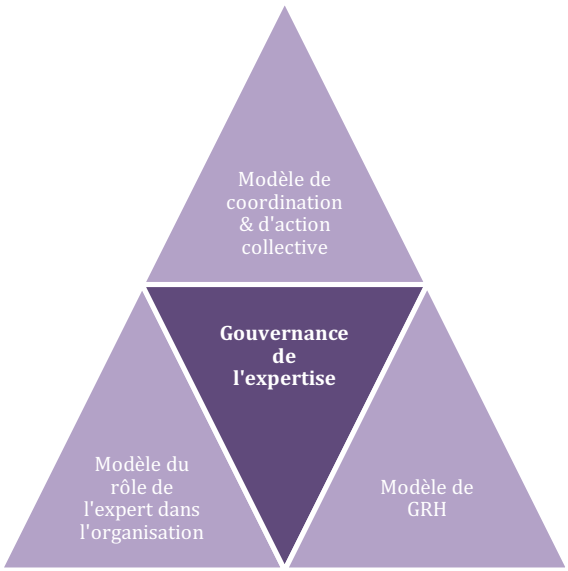


Figure 15 : Approche trilogique de la gouvernance de l'expertise

Enfin, l'intérêt de la notion de gouvernance de l'expertise dépend essentiellement de son rôle, de son influence et de sa responsabilité dans les processus d'émergence d'expertise. Ainsi, nous considérons que pour chaque régime d'émergence d'expertise correspond un modèle de gouvernance de l'expertise. Le potentiel d'innovation des firmes dépend donc du modèle de gouvernance de l'expertise, utilisé par les organisations industrielles. Nous pouvons, dès à présent, envisager deux principaux idéaux-types de gouvernance de l'expertise :

- Une gouvernance de l'expertise dont les systèmes de coordination et d'action collectif, les dispositifs de gestion des ressources humaines et la définition du rôle de l'experts auraient pour objectif de minimiser la réorganisation des savoirs et des expertises existantes et de minimiser la générativité de nouveaux concepts (produits ou services en rupture, nouveaux usages, nouvelles technologies, etc.). Ce modèle de gouvernance organise l'émergence de nouvelles expertises mais sans modification et sans réorganisation des expertises existantes. Enfin, les *dominant designs* sont préservés favorisant ainsi des innovations de type incrémentales.
- Une gouvernance de l'expertise dont les systèmes de coordination et d'action collectif, les dispositifs de gestion des ressources humaines et la définition du rôle de l'experts auraient pour objectif de favoriser la création d'expansions conceptuelles fortes et d'organiser la restructuration profonde des expertises. Ce modèle de gouvernance organise l'émergence de nouvelles expertises avec modification et restructuration profondes des champs d'expertise. Enfin, la révision de l'identité des champs d'expertise est importante, provocant la rupture des *dominant designs* et favorisant ainsi des innovations de type radicales.

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 2

Dans la littérature en gestion, la figure de l'expert désigne **un membre du personnel technique qui est reconnu par l'entreprise en tant que professionnel détenant un haut niveau d'expertise.** Dans les entreprises industrielles, les chercheurs, les scientifiques, les ingénieurs et les experts constituent des ressources indispensables, déterminant la capacité d'innovation des firmes. Ce sont sur ces acteurs que reposent les missions de recherche et de développement pour l'innovation.

Dans les organisations, les concepts d'expert et d'expertise sont nécessairement liés à celui de métier. Le métier peut se définir *« comme un attribut de l'individu autour de la possession d'un* ***savoir utile*** *et dont la base est partagée au sein d'une* ***communauté de métier*** *»* (Acquier & Eyherabide, 2005). D'autre part, le concept de métier permet de mettre en évidence l'importance du collectif d'experts, associé à un domaine technique, regroupant les savoirs spécifiques et stratégiques de l'organisation. Nous avons ensuite introduit un cadre théorique développé au Centre de Gestion Scientifique de MINES ParisTech : la *« dynamique globale du métier interne »*. Cependant, bien que ce cadre théorique permette d'analyser le fonctionnement d'un métier interne en matière de rôles et de parcours, il reste strictement limité à un métier qui est déjà existant, reconnu par l'organisation et dont l'expertise associée est elle-même déjà existante et reconnue. Par conséquent, le caractère dynamique est uniquement associé à l'évolution du rôle et du savoir de l'individu, membre de ce métier.

Nous avons ensuite proposé d'étudier et de mettre en évidence le modèle de référence en matière de gestion des experts et de l'expertise dans l'organisation : la **double échelle**. La double échelle est un système de récompense et un dispositif organisationnel de gestion des carrières, qui a pour vocation de stimuler les experts techniques et d'organiser la gestion des ressources humaines dans l'organisation. Cependant, ce **système a de nombreuses limites**. En particulier, nous avons montré qu'il **n'était pas adapté aux enjeux de l'innovation intensive** et qu'il ne permettait pas de gérer et d'organiser l'action collective des experts pour le renouvellement des expertises face à l'innovation intensive.

Enfin, nous avons défendu l'idée selon laquelle, la gestion des experts ou la gestion des connaissances ne sont que des composantes de ce que nous avons appelé la **gouvernance de l'expertise.** Nous avons défini la **gouvernance de l'expertise** comme l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation, afin d'assurer le développement et le renouvellement des champs d'expertise permettant la conception et la production des technologies et produits futurs et nouveaux de l'organisation.

Par ailleurs, nous avons proposé de penser la gouvernance de l'expertise selon trois dimensions : un modèle de coordination et d'action collective, un modèle de GRH et un modèle du rôle de l'expert dans l'organisation. C'est ce que nous avons appelé **l'approche trilogique de la gouvernance de l'expertise.**

Après avoir identifié et conceptualisé les notions de régime d'émergence d'expertise (chapitre 1) et de gouvernance de l'expertise (chapitre 2), le prochain chapitre a pour objectif d'établir les relations d'interdépendances entre ces deux concepts.

CHAPITRE 3 – GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE : DYNAMIQUE DES STRUCTURES D'EXPERTISE & DISPOSITIFS DE GESTION

Chapitre 3 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise : dynamique des structures d'expertise & dispositifs de gestion 79

1. Gouvernance & émergence d'expertise dans les laboratoires industriels 81

1.1. Histoire des premiers laboratoires de recherche dans les organisations industrielles 82

1.2. Formes sociales de la recherche industrielle dans les organisations 85

1.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 88

2. Gouvernance & émergence d'expertise dans le management de projet 90

2.1. Du modèle séquentiel de management de projet à l'ingénierie concourante 92

2.2. Structure matricielle métiers/projets & apprentissage 93

2.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 95

3. Gouvernance & émergence d'expertise dans les stratégies de plateforme technologique 97

3.1. Concept de modularité & principes de coordination 98

3.2. Plateforme technologique & écosystème 99

3.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise 101

4. Premières hypothèses & questions de recherche 104

5. Synthèse du chapitre 3 107

Les processus d'apprentissage, de capitalisation, de développement et de transmission des connaissances dans les organisations peuvent s'interpréter comme étant des processus contrôlés de production et de création de connaissance. Cependant, une telle vision ne permet pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence d'expertise et des formes de gouvernance associées. En effet, la production et la création de connaissances ne contribuent pas nécessairement à l'innovation et ne participent pas forcément à l'émergence de nouveaux champs d'expertise. D'ailleurs, la théorie de la connaissance organisationnelle de Nonaka & Takeuchi (1997)[19], reposant sur la distinction entre connaissance explicite et connaissance tacite et sur des niveaux d'entités créatrices de connaissance[20], n'a pas pour vocation de modéliser l'émergence de nouveaux champs d'expertise.

Le concept d'émergence d'expertise désigne les processus de formation de nouveaux champs d'expertise et les transformations des relations d'interdépendances entre les différents champs d'expertise. Chaque champ d'expertise émergent peut être parfaitement nouveau et totalement irréductible aux champs d'expertise préexistants. Etant donné qu'un champ d'expertise est un ensemble structuré d'éléments interconnectés (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique), on dira que chaque champ d'expertise est doté d'une structure propre et spécifique : on parlera donc de **structure de champ d'expertise**. D'autre part, dans les organisations industrielles les champs d'expertise ne sont pas isolés les uns des autres. Chaque champ d'expertise est nécessairement en relation avec les autres champs. Ils sont des éléments constitutifs d'un ensemble construit et organisé, faisant de cet ensemble un tout homogène et interdépendant que l'on nommera **structure d'interdépendances des champs d'expertise.** La structure d'interdépendances des champs d'expertise décrit de manière générale, la façon dont l'organisation de différents champs d'expertise constitue un système cohérent, représentant un stade plus ou moins stable de l'évolution des champs d'expertise et de leurs interdépendances. D'une certaine manière, la notion de structure d'interdépendances de l'expertise rejoint les définitions d'Abetti (1989) et de Rosenbloom & Burgelman (1989) à propos de la technologie :

> *"a body of knowledge, tools and techniques, derived from both science and practical experience, that is used in the development, design, production and application of products, processes, systems, and services." (Abetti, 1989).*

> *"Technology, itself, is defined as the ensemble of theoretical and practical knowledge, knowhow, skills and artifacts that are used by the firm to develop, produce and deliver its products and services. Technology can be embodied in people, materials, facilities, procedures, and physical processes. Key elements of technology may be implicit, existing only in embedded form." (Rosenbloom & Burgelman, 1989)*

En effet, nous défendons l'idée selon laquelle une structure d'interdépendances de l'expertise peut s'incarner et se matérialiser à la fois dans une technologie, mais aussi dans un produit, un système, un sous-système, un composant, un procédé, un service, etc. Ainsi, une structure d'expertise (structures des champs d'expertise et leurs relations d'interdépendances) se matérialise par ce que nous appelons un

[19] Cf. annexe : *Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question.*
[20] Individuel, groupe, organisationnel, inter-organisationnel.

artéfact technologique. Un produit, une technologie ou un procédé sont nécessairement des systèmes complexes composés de plusieurs champs d'expertise, mais non réductible à la somme des champs d'expertise. A partir d'un artéfact technologique (technologie, produit, procédé, système, etc.), il est possible de retrouver la structure de l'expertise, c'est-à-dire l'ensemble des différents champs d'expertise ainsi que leurs relations d'interdépendance. Notre modèle conceptuel distingue donc deux niveaux de structure d'expertise : **une structure pour les champs d'expertise et une structure représentant les relations d'interdépendances entre les champs d'expertise [Figure 16].**

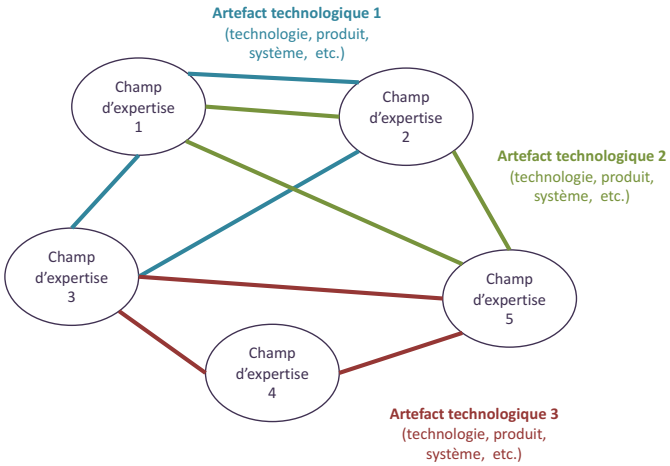


Figure 16: Schéma conceptuel de la structure de l'expertise dans une entreprise industrielle

A partir d'une revue de littérature en sciences de gestion et d'une analyse de la dynamique des structures d'expertise, nous proposons de mettre en évidence plusieurs gouvernances et régimes d'émergence d'expertise. Ces modèles de gouvernance et ces régimes d'émergence d'expertise se distinguent par la nature des formes d'émergence de l'expertise, par le potentiel d'innovation, par les modèles de coordination et d'action collective, par les modèles de gestion des ressources humaines et enfin par le rôle des experts dans l'organisation.

1. Gouvernance & emergence d'expertise dans les laboratoires industriels

Dans notre société contemporaine, l'entreprise (ou plus particulièrement la « grande entreprise ») est au cœur des transformations technologiques et scientifiques. L'activité scientifique, autrefois l'apanage des laboratoires universitaires ou publics et généralement perçue comme étant un travail gratuit et désintéressé, a définitivement changé de caractère. Depuis le XIXe siècle, force est de constater que le rapport entre la science, la recherche scientifique et la société a profondément changé. En effet, aujourd'hui, l'activité scientifique ne peut que difficilement s'envisager comme étant libre ou indépendante de toutes contraintes économiques et politiques (Moscovici, 1966). Désormais, la recherche scientifique joue un rôle de plus en plus important dans la production industrielle. Elle constitue un enjeu essentiel dans la compétition industrielle et tend à *« être rationalisée comme le sont tout travail, toute production, tout*

processus social » (Moscovici, 1966). La recherche scientifique, dans les organisations industrielles, a tendance à s'analyser comme étant un effort collectif délibéré, réfléchi, planifié et géré dont le but est la production d'inventions. Si le terme d'invention a été particulièrement utilisé dans les années 1960, celui d'innovation l'a aujourd'hui remplacé. En effet, les entreprises ne se résolvent plus à créer des inventions, elles doivent s'assurer que celles-ci puissent rencontrer un marché. Cependant, la littérature en management a relevé un paradoxe concernant les relations entre recherche et innovation (Hatchuel et al., 2001). Il est communément admis que le principal enjeu pour les entreprises est d'accroître le potentiel innovant de leurs produits. Ce challenge conduit les dirigeants et les équipes de développement de produits à attendre des départements internes de recherche qu'ils leurs fournissent toujours plus de nouvelles connaissances et de nouveaux concepts. Cependant, la contribution de la recherche industrielle à l'innovation est fortement critiquée. Certains auteurs (Rosenbloom & Spencer, 1996 ; Buderi, 2000) soulignent un paradoxe entre l'importance des réductions d'effectif dans les équipes de recherche durant les années 90 et l'importance croissante de l'innovation pour la compétition. Dans ce contexte, les équipes de recherche sont fortement incitées à travailler en étroite collaboration avec les services de développement de produits et de prendre en compte les intentions stratégiques de la compagnie. Cependant, d'après Rosenbloom et Spencer (1996), cette évolution semble plus complexe et difficile à mener à bien. En effet, les équipes de recherche industrielle seraient encore confrontées au vieux dilemme d'avoir *« deux objectifs distincts et parfois contradictoires : la création de nouvelles sciences et technologies et la facilitation du processus d'innovation »* (Rosenbloom & Spencer, 1996).

1.1. HISTOIRE DES PREMIERS LABORATOIRES DE RECHERCHE DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

C'est à partir du XIXe qu'apparaissent les premiers laboratoires de recherche dans les organisations industrielles. Ce phénomène s'inscrit en parallèle de la montée de secteurs industriels de type « science-based » tels que la chimie, la métallurgie et le chemin de fer (1877 chez BASF, 1878 chez Hoechst et 1876 à la Pennsylvania Railroad). Si au départ, ces laboratoires sont généralement limités à un chercheur et à quelques assistants, ils vont petit à petit prendre une taille significative. A la fin des années 1980, les laboratoires de la Pennsylvania Railroad occupent deux étages du Master Mechanic's Building et vont participer à la mise au point de nouvelles normes de qualité sur le marché des rails d'acier. Les laboratoires de General Electric (GE) et d'AT&T apparaissent au début du XXe siècle (1900 chez GE et 1907 chez AT&T) et vont participer à la renommée de la recherche industrielle, notamment à travers de véritables succès scientifiques : tungstène ductile (1900-1910), rayon X, radio, plasma (1907-1914) chez GE et répéteurs pour les lignes téléphoniques transcontinentales (1907-1914) et système radio (1910-1917) chez AT&T (Reich, 2002).

A partir d'études historiques, Le Masson et al. (2014) proposent d'analyser les raisons principales de l'origine de la création de ces laboratoires dans les organisations industrielles. Ils identifient quatre raisons principales : (1) *valider l'invention, (2) certifier les produits* (à l'achat et à la vente), (3) *rationaliser la production* et *(4) verrouiller la concurrence.* La validation des inventions est déjà l'une des grandes responsabilités des savants depuis le XVIIe. En effet, en France, l'Académie des Sciences avait pour objectif de désigner les savants comme examinateurs au service du roi pour accorder des privilèges aux

inventeurs. Les savants sont donc mobilisés pour leurs expertises et compétences en matière d'administration de la preuve : analyse chimique, études de plans, descriptions et publications techniques et validation *in situ* (Le Masson et al., 2014). En 1855, un ingénieur de la Compagnie Parisienne du Gaz propose la création d'un laboratoire de recherche afin d'analyser les procédés proposés par divers inventeurs pour vérifier la fiabilité des soumissions et débusquer les mauvaises affaires expérimentales. En effet, il explique que *« chaque année de nouveaux procédés pour la fabrication économique du gaz d'éclairage sont présentés au public ; les inventeurs ont tout intérêt à exagérer les avantages que la Compagnie Parisienne retirerait de leur emploi »* (Williot, 1988). Aussi, **les laboratoires de recherche ne sont pas mis en place pour la conception d'invention mais pour valider une conception réalisée par d'autres** (Le Masson et al., 2014). En 1875, Charles Dudley est embauché pour créer un laboratoire de chimie au sein de la Pennsylvania Railroad. Il développe alors un programme selon trois objectifs : (1) Déterminer les matériaux les plus appropriés pour chaque tâche particulière donnée ; (2) Préparer les spécifications détaillées pour les achats ; (3) Concevoir des méthodes pour tester que les matériaux acquis respectent bien les spécifications. Les recherches du laboratoire mettent alors en évidence la présence d'impuretés organiques et poussent le département Achats à trouver un autre fournisseur de talc qui est utilisé pour la fabrication des cylindres de locomotives. Suite à ces travaux, l'entreprise exige de la part de ses fournisseurs d'obtenir systématiquement des échantillons de produits afin qu'ils puissent être testés par le laboratoire de Dudley et ainsi vérifier qu'ils correspondent aux standards ferroviaires. Le laboratoire développe alors lui-même de nombreuses machines pour ses programmes de tests. A nouveau dans ce cas, **le laboratoire de recherche n'est pas utilisé pour la conception de produits mais pour la conception de dispositifs de certifications et pour valider des conceptions déjà réalisées.** Dans les années 1860, les grandes entreprises de la chimie allemande apparaissent, notamment Hoechst, Bayer et BASF. Chez BASF, les laboratoires de recherche industrielle sont généralement dédiés aux analyses de production, et ce n'est qu'en 1877 que commence à se structurer un laboratoire de recherche interne distinct. Chez Hoechst, c'est en 1878 qu'un programme de recherche est lancé sur ces produits. Dans les années 1900, la sidérurgie et les industries verrières créent leurs premiers laboratoires en interne. L'objectif est de rationaliser la production dans une logique taylorienne (Le Masson et al., 2014). Les laboratoires ont pour objectif d'analyser les productions, les causes éventuelles de défaut, les problèmes de qualité, les problèmes de productivité et les mesures correctives à apporter. La création de laboratoires industriels s'explique aussi par la volonté de protéger les investissements en place de la menace d'inventions de rupture. Par exemple, dans les année 1870, Western Union, entreprise leader dans la télégraphie, explore des voies d'innovation de rupture dans la télégraphie. Cependant, l'objectif n'est pas d'explorer ces voies afin de les exploiter mais de déposer des brevets pour empêcher que d'autres entrepreneurs ne puissent se positionner (Israel, 1998).

Aussi, on peut constater que les motivations à l'origine de la création des premiers laboratoires de recherche industrielle ne sont pas nécessairement l'innovation. L'enjeu du laboratoire est de maîtriser une capacité de production de connaissance rigoureuse et efficace. Par exemple, le célèbre laboratoire de Liebig à Giessen [Figure 17], a pour objectif principal la précision et la rapidité des analyses concernant des problématiques scientifiques du monde industriel : *« l'université refuse au nom du fait que la tâche de l'Etat et donc de l'université est de former des fonctionnaires et pas des médecins, des fabricants de savon, des brasseurs de bière, des teinturiers ou des distillateurs de vinaigre »*.

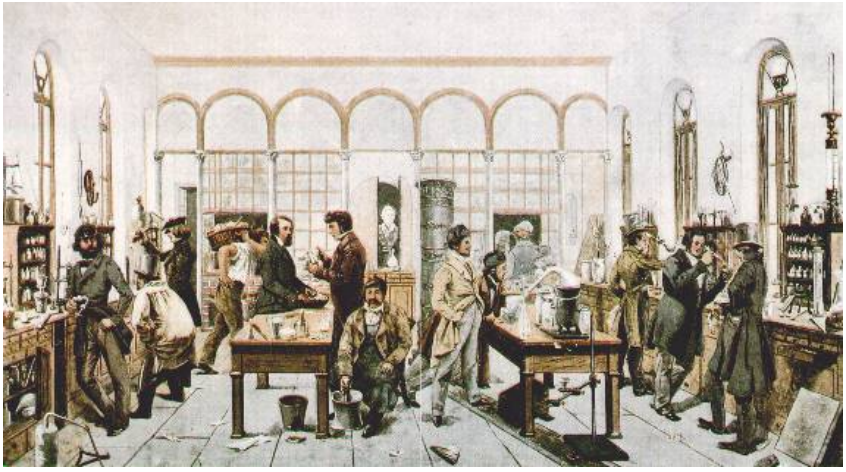


Figure 17 : Le laboratoire de Liebig à Giessen en 1831

D'autre part, il important de souligner que le développement des laboratoires industriels dans les organisations s'accompagne de réflexions sur les principes d'organisations et sur leurs utilités économiques. Par exemple, Pierce (1879) explique dans sa note « *Note on the theory of the economy of research* » que la valeur de la recherche réside essentiellement dans la réduction d'incertitude : *« the relations between the utility and cost diminishing the probable error of our knowledge »*. Au début du XXe siècle, des études américaines concernant les laboratoires de recherche industrielle permettent de mieux comprendre leur fonctionnement et leur organisation (Little, 1913, 1918 ; Mees, 1920). Mees (1920) justifie l'importance des laboratoires de recherche au sein des entreprises comme étant une assurance pour l'entreprise contre la perte de contrôle de son industrie *« a final insurance against eventual loss of the control of its industry by any concern »*. L'objectif d'un laboratoire de recherche industrielle ne se limite pas à l'amélioration des procédés ou à la diminution des coûts de production mais ils doivent faire les *« fundamental developments in the whole subject in which the manufacturing firm is interested »*. Un autre enjeu est la formation et l'organisation du travail. Pour cela, il faut recourir aux mêmes experts utilisant des appareils spéciaux avec des méthodes spécifiques. D'autre part, tous les résultats doivent être publiés, notamment pour maintenir l'intérêt scientifique du laboratoire pour la science pure et pour ne pas laisser inachevés les programmes de recherche. Ainsi, le laboratoire de recherche industrielle est en charge de produire les connaissances fondamentales en lien avec le domaine industriel de l'entreprise. Le laboratoire de recherche est alors organisé pour optimiser la production rigoureuse et contrôlée des connaissances. L'analyse de ces laboratoires permet de souligner trois conditions nécessaires pour la rationalisation de la production de connaissances (Le Masson et al., 2014) : *(1) Les objets sur lesquels portent la recherche doivent être déjà bien identifiés et stabilisés* ; *(2) Les disciplines scientifiques associées doivent avoir permis de poser certains principes fondamentaux* ; (3) *Les questions posées à la recherche sont en relation directe avec ces objets et il est possible d'y répondre en mobilisant les connaissances scientifiques disponibles.*

Conformément aux résultats de Le Masson et al. (2014), l'historienne Muriel Le Roux rapporte que dans les entreprises industrielles françaises du début du XXe siècle, les laboratoires industriels dans les entreprises sont principalement utilisés pour le contrôle, l'analyse et les essais (Le Roux, 1998). Dans

l'entreprise S.E.M.F[21] (Société électrométallurgique de Froges), l'historienne explique que *« les missions des laboratoires furent définies pour servir l'exigence de qualité formulée par la direction afin de répondre aux critiques des clients »* (Le Roux, 1998, p.88). D'autre part, les laboratoires n'ont jamais eu pour objectif de participer aux enjeux d'innovation. La gestion de l'innovation revenait exclusivement à la direction générale : *« Seule la direction devait contrôler l'innovation. De cette époque date la pratique de gestion qui voulait que la direction générale contrôla toutes activités de l'entreprise et l'ensemble du processus de production du savoir »* (Le Roux, 1998, p.88). La mission des laboratoires se limitait à l'amélioration continue des procédés et des produits et leurs activités étaient subordonnées à la direction générale.

Les laboratoires de recherches sont donc les *« pourvoyeurs de règles de conception »* et sont souvent limités à cinq modes d'intervention (Le Masson et al., 2014) :

- La recherche industrielle est sollicitée pour le contrôle qualité, en production ou en fin de conception.
- La recherche industrielle est sollicitée pour la résolution de problèmes récurrents en production, ce qui correspond aux phases de mise au point dans la conception.
- La recherche industrielle est sollicitée pour fournir des modèles conceptuels qui seront utilisés par les concepteurs.
- La recherche industrielle est sollicitée pour mener des plans d'expérience à grande échelle.

Aussi, nous pouvons conclure qu'historiquement la recherche n'avait pas pour mission d'innover et qu'elle n'avait pas été mise en place pour cela.

1.2. Formes sociales de la recherche industrielle dans les organisations

A partir de 1950 et tout au long de la deuxième moitié du XXe siècle, des études sociologiques et psychologiques se sont intéressées aux formes sociales et organisationnelles de la recherche scientifique dans les organisations industrielles (Orth, 1959 ; Orth, Bailey & Wolek, 1964 ; Benusiglio, 1966 ; Pelz & Andrews, 1966 ; Moscovici, 1967 ; Cotgrove & Box, 1970 ; Callon, 1972 ; Shinn, 1980 ; Kornhauser, 1982 ; Callon, 1988 ; Edgerton, 1996 ; Le Roux, 1998 ; Mondada, 2005). Dans ce domaine, on peut distinguer trois principales orientations de recherche :

- L'analyse des attributs, innés ou acquis, des individus inventifs. La source de l'invention est alors envisagée comme étant une propriété individuelle (généralement appelée créativité).
- L'analyse de l'environnement favorable ou défavorable au développement de l'inventivité.
- L'analyse des organisations. L'invention est alors abordée dans ses formes sociales.

Dans la première perspective, les individus créateurs sont étudiés soit dans leur aspect proprement intellectuel, soit sous l'angle de leurs qualités affectives et émotionnelles. A partir d'une

[21] Société française ayant créée la première usine de production d'aluminium électrolytique en France (1887) et dont la croissance très rapide est à l'origine de la naissance de l'entreprise Péchiney en 1921.

batterie de tests, des études en psychologie se sont intéressés à décomposer la créativité des individus aux différents stades de la création (découverte initiale, production, etc.) en plusieurs traits. Ces résultats soulignent que les individus créateurs sont particulièrement tolérants à l'égard des situations ambiguës, intéressés par l'expression esthétique et peu attaché au conformisme social. D'autre part, ces recherches mettent en évidence que ces individus sont doués d'une grande capacité de discernement, d'une pensée flexible, d'un esprit original et de possibilités de redéfinir et d'élaborer les problèmes d'une façon inédite. Enfin, ces études soulignent que les savants en entreprise sont particulièrement énergiques, désireux de surpasser les autres, ambitieux et persévérants. D'autres études s'intéressent aux caractéristiques de la créativité elle-même et aux processus associés, parmi lesquels la santé psychologique, l'hérédité ou le rôle formateur de l'environnement social et culturel. Comme le remarque Moscovici (1966), on peut distinguer principalement, à partir de la littérature dans ce domaine, quatre attributs essentiels de l'individu créateur :

- Il est orienté par la recherche de son propre développement et dépourvu d'inhibitions nées de conflits internes ou externes.
- Il a connu précocement des relations interpersonnelles complexes.
- Il possède une personnalité différenciée, une hiérarchie de valeurs qui lui est propres.
- Il a une image positive de lui-même et est capable de tolérer les ambiguïtés impliquées par la pratique de la recherche à long terme.

Dans ces travaux, c'est bien la psychologie individuelle qui domine. L'objectif est de définir les attributs de la créativité individuelle et de prédire la performance individuelle. Aussi, le rôle du contexte social et de l'environnement est complètement exclu de ces analyses.

Dans la seconde perspective, la créativité est traitée comme le résultat de l'interaction entre l'individu et son environnement professionnel. La conception de l'invention est alors vue comme un processus social ou psychosocial. Le chercheur n'est plus une sorte de « génie » isolé mais est identifié comme membre d'un groupe de travail fonctionnant suivant des règles et des conventions partagées. Dans cette perspective, la créativité devient le résultat d'une bonne intégration sociale et d'une bonne ambiance dans le groupe de travail. Aussi, les chercheurs doivent être entourés de collègues expérimentés afin de permettre des stimulations intellectuelles réciproques et leurs supérieurs hiérarchiques doivent leur offrir une grande liberté d'action tout en évitant l'isolement de ces derniers. Ces études ont pour objectif de définir des modalités de supervision et de leadership favorables au développement de la créativité des chercheurs dans les laboratoires industriels. On apprend ainsi que la production d'un chercheur est directement reliée à la qualité et à la quantité des communications qu'il entretient avec son supérieur direct, à son autonomie et à l'influence qu'il pense détenir au sein de son entreprise, et à la nature des relations qu'il maintient avec ces collaborateurs : *« plus l'atmosphère est autoritaire, plus la créativité est faible »* (Moscovici, 1966). D'autre part, ces études insistent aussi sur le fait que la production d'inventions dans une équipe de recherche repose aussi sur l'existence d'une certaine incertitude, créatrice de non-conformisme et capable de stimuler le groupe. Dans ce courant de recherche, les facteurs sociaux sont pris en considération et la créativité est pensée comme le résultat de la nature des échanges entre des individus et des groupes. Cependant, dans ces recherches, c'est toujours la question de la créativité qui est au centre

des débats, c'est-à-dire que le cœur de l'analyse se focalise sur la qualité de l'activité des individus dans les groupes ou de ces individus eux-mêmes.

Enfin, la troisième perspective d'analyse, principalement issue du courant de la sociologie des entreprises, s'intéresse à la nature de l'invention selon ses formes sociales, c'est-à-dire comme un processus dont le produit est lui-même social. L'enjeu n'est plus de caractériser la créativité mais le système organisationnel mis en place pour créer l'invention : Comment fonctionne un tel système ? Selon quelles modalités de fonctionnement ? Ces enjeux émergent de l'idée selon laquelle la production d'inventions dans les entreprises, notamment technologiques, était conditionnée par l'existence et la performance des laboratoires industriels dans les organisations. Des sommes importantes y étaient investies et il devenait ainsi indispensable d'obtenir les meilleurs résultats. Aussi, il fallait identifier les formes de fonctionnement les plus appropriées. Les premières études enquêtèrent sur les relations entre les politiques scientifiques des laboratoires de recherche et la stratégie commerciale des entreprises. Ces études mirent en évidences quelques contradictions entre les enjeux et le rôle de la recherche par rapport aux enjeux du reste de l'organisation. En effet, de toute évidence le rôle de la recherche est de créer de l'invention, i.e. de mener des activités qui ont pour objectifs de remettre en question les stratégies commerciales déjà établies et de se libérer des contraintes existantes. Certaines études proposent de définir quatre grands rôles du chercheur dans l'industrie : (1) le rôle de savant, (2) le rôle professionnel, (3) le rôle d'employé et (4) le rôle social. Cependant, ces quatre rôles distincts et parfois incompatibles engendrent systématiquement des conflits pour le chercheur et des conflits entre le chercheur et l'ensemble de l'organisation. Ces conflits sont alors autant de freins pour la créativité des chercheurs et des groupes de chercheurs. Ces conflits s'analysent à travers le paradoxe ou le dilemme selon lequel il coexiste au sein de l'entreprise des enjeux de libre création intellectuelle et des enjeux relatifs aux nécessités inhérentes à toute entreprise (production, rentabilité, statuts professionnels, politique du personnel, etc.) : l'invention doit donc être administrée. Un tel challenge n'est pas sans poser certains problèmes parmi lesquels l'autonomie du département de recherche, le modèle d'organisation des équipes de recherche, le type de supervision, les relations entre chercheurs et les salariés des autres entités de l'organisation. Aussi, ces études tentent de mettre en place des dispositifs gestionnaires susceptibles de faire converger les buts des chercheurs avec les buts de l'entreprise. Il s'agit alors de garantir la liberté du chercheur tout en assurant une certaine forme de productivité. Dans ce contexte, la recherche ne relève plus exclusivement de l'inspiration du chercheur mais peut et doit être planifiée, c'est-à-dire que de nombreuses étapes préparatoires et consécutives à l'invention peuvent être objectées : *« l'esprit créateur n'est plus seul auteur de l'invention »* (Moscovici, 1966). Finalement, l'invention repose autant sur la qualité du chercheur que sur les rôles des techniciens, des machines et des ressources financières. Dans cette perspective, l'invention n'est plus un phénomène rare, unique, aléatoire, libre et spontané, mais devient une pratique quotidienne rationalisée et administrée : *« l'invention est en quelque sorte abordée comme un processus social organisé et son résultat comme un produit social, voire comme une marchandise »* (Moscovici, 1966). La gestion devient alors une nouvelle dimension à l'invention elle-même et le modèle d'organisation capable d'assurer une meilleure production de l'invention devient l'objet central des études concernant les laboratoires de recherche industrielle. Les enjeux auxquels sont confronté ceux qui dirigent et organisent d'une part, et ceux qui pratiquent la recherche d'autre part, apparaissent alors moins comme

des conflits et des dilemmes entre individus mais comme la mise en place progressive des formes sociales de l'invention.

1.3. Un regime d'emergence d'expertise base sur la cumulativite des champs d'expertise

Pour qu'il y ait émergence d'expertise dans les laboratoires industriels, les artéfacts technologiques sur lesquels porte la recherche doivent être bien identifiés et stabilisés. Les programmes de recherche sont en relation directe avec ces artéfacts et il est possible d'y répondre en mobilisant les champs d'expertise disponibles. Il y a bien création de nouvelles expertises, mais cette émergence ne modifie pas l'ensemble des structures d'expertise. Il s'agit d'une amélioration continue apportée à un ensemble cohérent et structuré de connaissances, savoirs et savoir-faire spécialisés. L'émergence d'expertise résulte d'un processus d'apprentissage et **repose sur la cumulativité des savoirs** (*« mouvement linéaire d'empilement des savoirs »*) : les nouvelles expertises se construisent sur la base d'expertises existantes. Il n'y a pas de changement dans les fondamentaux des métiers, des compétences, des architectures de produits, des modèles économiques et les relations entre champs d'expertise sont inchangées. L'émergence d'expertise s'effectue en préservant les structures des champs d'expertise existants et vise à confirmer des règles et des principes généraux dans les phénomènes particuliers. Ainsi, la dynamique des structures des champs d'expertise et la dynamique des structures d'interdépendance d'expertises sont déterministes. Le vocable déterminisme désigne l'idée selon laquelle toutes structures d'expertise suivent des lois d'évolutions stables (telles que les mêmes causes produisent les mêmes effets). L'état présent de chaque structure s'envisage comme l'effet des états antérieurs et comme la cause de ceux qui vont suivre. Il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie par l'ensemble des structures d'expertise. Il s'agit d'une amélioration continue apportée à un ensemble cohérent et structuré de connaissances, savoirs et savoir-faire spécialisés. **On définit donc le modèle de la recherche industrielle comme étant un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise.**

D'autre part, les laboratoires de recherche sont souvent limités à cinq modes d'intervention : le contrôle qualité, en production ou en fin de conception, la résolution de problèmes récurrents, la création de modèles conceptuels utilisés par les concepteurs et la réalisation de plans d'expérience. Dans ce modèle organisationnel, on constate une totale distinction entre ceux qui sont en charge de la conception des artefacts technologiques (produits, technologie, etc.), et donc de la stratégie d'innovation, et ceux qui ont pour mission de faire évoluer les champs d'expertise conformément à une logique déterministe et cumulative. D'un côté, il y a les décisionnaires (les managers) qui s'occupent d'établir le cahier des charges fonctionnels des produits, de piloter le développement des produits, de coordonner les relations avec les clients et de contrôler les activités de production. De l'autre côté, les chercheurs dans les laboratoires industriels (les experts) n'interviennent pas dans les activités de conception de produits mais dans la création de dispositifs de certifications et de validations des conceptions déjà réalisées. Les laboratoires de recherche sont organisés en départements indépendants en fonction des différents champs d'expertise présents dans l'organisation (département de physique, département de chimie organique, département de

chimie non-organique, par exemple). Chaque chercheur est lié à un département selon son expertise et réalise ses recherches à l'intérieur de son département, indépendamment des autres.

> *"In some cases each investigator is allowed to go his own way, discussing his work as he may wish with those around him, but not formally being required to take the matter up with any one. In university laboratories, and in many industrial research laboratories, all the scientific work is supposed to be directed by the professor in charge or by the director, but in an industrial laboratory of any size this is out of the question, since it is impossible for the director to understand sufficiently the wide field of science covered by his laboratory. If it is attempted, the system simply resolves itself into each senior man directing the work of his own division and possibly competing for men and apparatus with other workers in the laboratory in so far as he can influence the authorities to grant them to him." (Mees, 1920, p.122)*

En tant que dispositif de gestion des ressources humaines, la double échelle est symptomatique de ce modèle d'organisation. En effet, dans le chapitre précédent nous avons souligné que la double échelle (théorisation dans les années 1950) vise à offrir un parcours de carrière spécialement dédié aux experts techniques (*échelle technique* ou *filière expertise* ou *filière technique*) comme une alternative à l'encadrement hiérarchique (*échelle management* ou *filière management*). D'une part, la filière management (*managerial ladder*) assure la promotion, le statut, la reconnaissance, le salaire, le pouvoir et l'influence des individus à travers des responsabilités de supervision et de management. D'autre part, la filière technique ou filière expertise (*technical ladder*) permet la promotion par des avantages spéciaux pouvant être obtenus sans responsabilités de supervision : par exemple, l'autonomie et la liberté dans les travaux de recherche, des salaires élevés et des titres spécifiques (*expert*, *senior member of technical staff*, *senior scientist*, *fellow*, etc.). Ce dispositif de gestion propose clairement deux politiques de gestion des ressources humaines différentes, en fonction de la position de l'individu dans l'organisation (membre du laboratoire industriel ou pas). Dans ce modèle, le rôle du scientifique ou de l'expert dans l'organisation est facilement interprétable à travers la vision classique de l'expertise[22]. L'expert (ou le scientifique) doit produire de la connaissance dans son champ d'expertise et n'intervient pas dans les stratégies d'innovation. Dans les processus d'innovation, l'expert (ou le scientifique) est une ressource pour le décisionnaire, c'est-à-dire que l'intervention de l'expert se limite à apporter une information aux décisionnaires qui ont en fait la demande.

Dans le modèle organisationnel des laboratoires industriels, on retrouve ainsi l'ensemble des dimensions caractérisant un régime d'émergence d'expertise et un modèle de gouvernance de l'expertise : une forme d'émergence de l'expertise, un potentiel d'innovation, un modèle de coordination et d'action collective, un modèle de gestion des ressources humaines et la définition d'un rôle de l'expert dans l'organisation [Tableau 8].

[22] Telle que nous l'avons définie dans le chapitre précédent.

Régime d'émergence d'expertise	Forme d'émergence de l'expertise	Potentiel d'innovation	Gouvernance de l'expertise		
			Modèle de coordination et d'action collective	Modèle de GRH	Rôle de l'expert dans l'organisation
Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise	**Emergence par cumulativité des champs d'expertise** ➔ Amélioration continue apportée à un ensemble cohérent et structuré de connaissances, savoirs et savoir-faire spécialisés Emergence de nouvelle expertise avec préservation des structures d'expertise existantes	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs* Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises Innovation incrémentale	Modèle des laboratoires industriels : séparation entre les activités de recherche (labo) et les activités de conceptions Laboratoire constitué de départements indépendants selon les champs d'expertise	Double échelle : filière technique et filière management	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Partage de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Expert ressource, vision classique de l'expertise. L'expert intervient en fonction de la demande des décisionnaires

Tableau 8 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise

2. GOUVERNANCE & EMERGENCE D'EXPERTISE DANS LE MANAGEMENT DE PROJET

A partir des années 1980, la gestion ou le management de projet constitue un nouveau modèle de gestion pour les activités de conception (Garel, 2003). Pour Weil (1999), le succès et la diffusion de la logique projet s'explique par un double phénomène : (1) l'évolution du contexte économique qui tend à rendre cette forme d'organisation particulièrement efficace face aux nouveaux enjeux de la compétition, (2) les doctrines en matière de gestion de projet se sont adaptées au nouveau contexte concurrentiel. En effet, depuis le milieu des années 1970, *« une économie de la variété »* a succédé à une *« économie de masse »*, caractéristique des « trente glorieuses » (Weil, 1999). Dans ce contexte, la mise sur le marché de nouveaux produits devient le moyen privilégié pour continuer de prospérer. Ainsi, ce modèle gestionnaire se base principalement sur l'idée selon laquelle la plupart des nouveaux produits, conçus par les organisations industrielles, ont pour objectif d'assurer le renouvellement des gammes de produits existants (Garel, 2003). L'enjeu est de développer dans un temps limité des projets de développement de plus en plus complexes et innovants (Garel, 2011).

Pour Midler (1996), le projet se définit comme étant une activité qui vise à atteindre un *but global*, qui est *spécifique*, qui répond à un *besoin exprimé* même si celui-ci n'est pas toujours clair *ex* ante, qui est soumise à l'*incertitude*, qui est *combinatoire* et *pluridisciplinaire*, qui est *temporaire* et qui est soumise à des

variables exogènes. La mobilisation de l'ensemble des ressources et des acteurs est définie en fonction de l'objectif fixé. Ce n'est pas une simple projection résultant des expériences passées. Le but du projet, le modèle d'organisation et le planning ne sont pas reproductible à l'identique, ce qui rend chaque projet singulier. La réalisation du *but global* ne dépend pas d'un seul paramètre. C'est nécessairement la combinaison d'un large ensemble de contributions qui permet d'atteindre le but fixé. Enfin un projet, n'est jamais isolée. Il est ouvert aux influences de son environnement (Garel, 2011).

A partir des années 1960, le management de projet se structure à travers d'institutions et d'outils, notamment par l'intermédiaire du *Project Management Institute* (PMI). A partir d'outils et méthodes standardisés (décomposition du projet en tâches, méthodes de planification, analyse fonctionnelle, outils de contrôle des coûts et des risques), le PMI va mettre en place un *modèle standard* de la gestion de projet. Celui-ci se base essentiellement sur une structuration de projet en sous-projets emboîtés (Garel, 2011). La performance d'un projet s'analyse à travers le respect des prescriptions initiales ou modifiées. Gérer un projet revient ainsi à contrôler et limiter les écarts entre les résultats obtenus au cours de l'activité et l'objectif initial.

Dans les années 1980, la perte de compétitivité des entreprises industrielles américaines face à la concurrence japonaise, va donner naissance à de nouvelles recherches afin de diagnostiquer les causes des difficultés américaines (Hayes & Abernathy, 2007). A partir de l'étude de succès industriels dans les entreprises japonaises (Fuji-Xerox, Canon, Honda, etc.), Nonaka & Takeuchi (1986) vont mettre en évidence de nouvelles pratiques dans le management de projet. Ils soulignent l'importance de trouver un équilibre entre autonomie d'une part et discipline d'autre part. Ils mettent aussi en exergue le rôle primordial des équipes projets multidisciplinaires afin d'optimiser le compromis entre les différents métiers concernés. Ils vont aussi faire ressortir l'efficacité du modèle séquentiel de la gestion de projet (Imaï, Nonaka & Takeuchi, 1985, Nonaka & Takeuchi, 1986 ; Nonaka 1988). De leurs côtés, Clark & Fujimoto (1987) identifient quatre modes différents de gestions de projet :

- La structure fonctionnelle : il n'y a pas de responsabilité d'ensemble. Le développement est organisé par métier et les ingénieurs sont spécialisés.
- La coordination de projet : un chef de projet est en charge de coordonner les activités par l'intermédiaire des différents métiers.
- La direction de projet : le chef de projet a un rôle important dans l'organisation. Il a une responsabilité sur le projet, le produit et les résultats économiques. Il joue un rôle primordial dans la définition des futurs nouveaux produits.
- L'équipe projet dédiée : les concepteurs sont détachés de leurs équipes *« métier »* et sont sous la responsabilité du chef de projet pendant toute la durée du projet.

A partir de ces travaux, Wheelwright & Clark (1992) vont souligner l'importance du processus de création de connaissances et l'importance du travail de conception en amont, permettant de définir correctement les objectifs des projets. Enfin, c'est surtout la mise en évidence de la logique concourante et la reconnaissance du caractère combinatoire de la conception de produit qui permettent d'expliquer la performance des firmes nipponnes (Clark, Chew, & Fujimoto, 1987 ; Clark & Fujimoto, 1991).

2.1. DU MODELE SEQUENTIEL DE MANAGEMENT DE PROJET A L'INGENIERIE CONCOURANTE

Selon Midler (1996), le modèle séquentiel de la gestion de projet repose sur trois caractéristiques :

- Une **intégration dans l'entreprise de la plupart des expertises** nécessaires au développement du projet (les experts sont salariés de l'entreprise).
- Une **séparation des expertises entre différents métiers.**
- Une **coordination hiérarchique des expertises métiers** en vue de réaliser le projet.

La réalisation du projet passe de métier en métier. C'est la coordination de l'activité par les métiers qui est séquentielle, c'est-à-dire que chaque métier intervient successivement dans la réalisation du projet. Cependant, comme le remarque Garel (2012), la *« séparation fonctionnelle des différentes expertises nécessaires au projet et la coordination séquentielle de l'activité (c'est-à-dire aux interfaces seulement) soulèvent simultanément plusieurs problèmes »* :

- Les métiers ont tendance à *« tirer le projet »* à leurs avantages. Sans la présence d'une régulation de projet puissante, il est difficile d'atteindre une performance globale.
- La prise en compte des modifications est longue et coûteuse, car cela implique des allers-retours permanents entre les différents métiers.
- Sans une coordination centrale du projet, la multiplication des outils de pilotage ou des systèmes de planification différente est inévitable.
- La coupure entre les acteurs de l'amont (designers, marketing, etc.) et les acteurs de l'aval (production, manufacturing, etc.) empêche chacun des acteurs de tenir compte des contraintes des autres.

De plus, face aux exigences de vitesse de développement et de renouvellement des produits, le modèle séquentiel s'avère inefficace. A l'opposé de ce modèle, le modèle concourant ou l'ingénierie concourante *« rompt la linéarité et la séquentialité de la conception taylorienne en introduisant un dialogue et une négociation entre les différentes expertises tout au long du processus de conception »* (Midler, 1998). C'est notamment grâce aux travaux sur les firmes japonaises (Imaï, Nonaka & Takeuchi, 1985 ; Nonaka & Takeuchi, 1986 ; Clark & Fujimoto, 1987), que ce modèle va être révélé et s'imposer, d'abord dans l'industrie automobile, puis dans l'ensemble des secteurs industriels (Lenfle, 2008).

L'ingénierie concourante constitue une nouvelle logique de développement des projets qui cherche à favoriser la coordination des différents métiers et à permettre la convergence des points de vue le plus tôt possible. Midler (1993) identifie trois phases principales : (1) une phase d'exploration des possibilités et des contraintes, (2) une phase de fixation et de verrouillage des cahiers des charges, des solutions techniques, des plannings et des procédés, (3) une phase de passage à l'acte rapide. Pour Midler (1998), le modèle de l'ingénierie concourante *« met l'accent sur les coordinations « procédurales » nécessaires à une telle coopération inter-métiers continue et directe »*. Ces coordinations sont incarnées par des dispositifs et

des instruments ayant pour objectif de favoriser les échanges et le dialogue inter-métiers. Parmi ces dispositifs, on peut citer les « plateaux projet » (Garel, 1994) ayant pour objectif de rapprocher physiquement les différents experts impliqués dans le projet, ou encore les « groupes fonctions » (Moisdon & Weil, 1992), ayant pour objectif de réunir périodiquement les différents métiers afin de coordonner les décisions techniques. Pour Charue-Duboc (1997), l'ingénierie concourante vise principalement quatre objectifs : (1) la réactivité, c'est-à-dire la vitesse de réaction face aux aléas rencontrés sur le projet, (2) l'anticipation des problèmes de développement, (3) l'orientation client, et (4) l'optimisation globale du projet. A partir des travaux d'Imaï, Nonaka & Takeuchi (1985), de Nonaka & Takeuchi (1986) et de Clark & Fujimoto (1991), Garel (2003) résume les principes managériaux de l'ingénierie concourante en cinq principes :

- Un recouvrement des phases : la performance de l'ingénierie concourante résulte principalement d'une capacité de coordination permettant la réduction du délai de développement des projets [Figure 18].
- Une direction de projet lourde : les projets concourants sont dirigés par des chefs de projet dédiés dont l'influence est importante dans l'organisation.
- Une coordination de l'activité en plateau : l'agencement de l'espace est généralement repensé. Les plateaux permettent la rencontre physique entre l'ensemble des acteurs participant au projet.
- Un co-développement avec les partenaires : L'ensemble des partenaires (fournisseurs par exemple) sont associés en amont des projets.

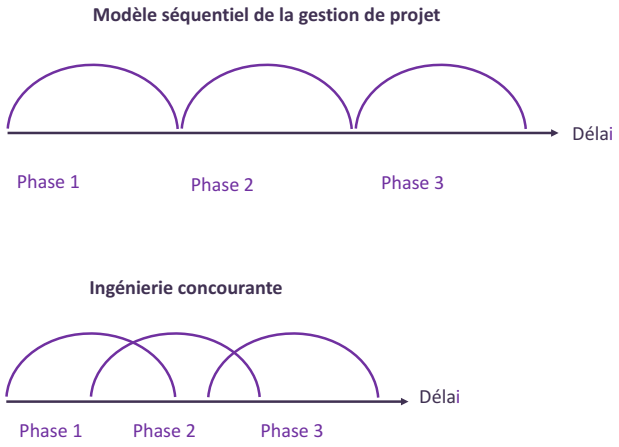


Figure 18 : Modèle séquentiel de la gestion de projet et ingénierie concourante

2.2. Structure matricielle metiers/projets & apprentissage

Le modèle de l'ingénierie concourante s'appuie sur une **structure organisationnelle matricielle métiers/projets**. Contrairement à une structure fonctionnelle qui divise le travail selon un seul critère (la hiérarchie par exemple), la structure matricielle se base sur deux critères de division de l'activité : **les projets et les métiers** [Figure 19].

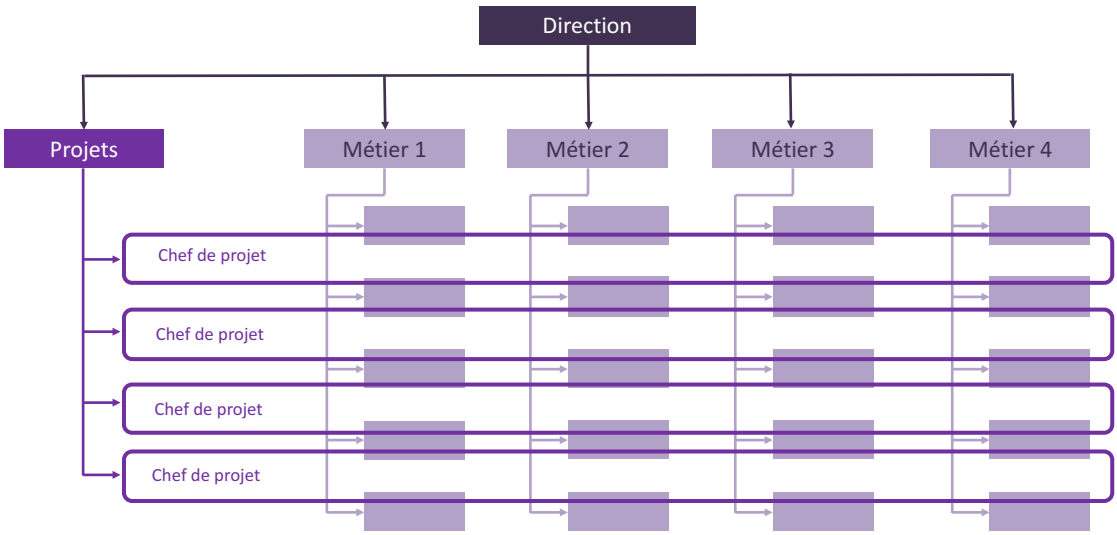


Figure 19 : Structure matricielle métiers/projets

Cette structure organisationnelle s'appuie principalement sur la figure du chef de projet ou du directeur de projet. Chaque projet est piloté par un *« heavy weight project manager »*[23] (Clark & Wheelwright, 1992) qui est en charge d'animer et de coordonner une équipe pluridisciplinaire, d'assurer la combinabilité des différentes expertises, de proposer et d'imposer des compromis et de contrebalancer les logiques métiers. La structure matricielle semble alors la forme organisationnelle la plus adaptée aux *« développements des processus de socialisation et d'internalisation des savoirs »* (Carrincazeaux & Lung, 1998). Si l'organisation matricielle vise à intégrer projet et métiers, en réalité c'est bien le projet qui prédomine. En effet, le pouvoir important des chefs de projets tend à limiter l'émergence de nouvelles expertises au sein des métiers. Comme le remarque Carrincazeaux & Lung (1998), *« le gain réalisé au sein de structures matricielles tend progressivement à se faire au détriment de l'accumulation et de la socialisation des connaissances au sein des structures métiers »*. De plus, les expertises sont généralement dupliquées sur plusieurs projets et tendent à devenir spécifiques aux enjeux du projet, limitant ainsi leur transférabilité au sein de l'organisation.

Dans ce modèle organisationnel, **c'est donc la recherche de la combinabilité entre les métiers qui prime sur l'évolution de la connaissance et de l'expertise au sein des métiers.** Ce modèle organisationnel pose plusieurs problèmes. Premièrement, les experts techniques d'un même métier sont séparés entre différentes équipes projets, ce qui limite le développement d'avancées scientifiques au sein des métiers. Deuxièmement, la logique projet ne tient pas compte de l'importance des activités d'exploration pour l'innovation : dans quelle structure conduire ces explorations ? Qui en aura la charge ? Comment trouver les expertises ? (Charue-Duboc, 2007a).

De son côté, Weil (1999) identifie trois limites principales de l'organisation par projets dans la dynamique des expertises. La première correspond à l'impératif de convergence rapide des projets. En effet, l'un des objectif d'un projet est d'éviter les dérives, de respecter les délais sans dégrader les

[23] *« Directeur de projets lourds »* en français.

performances visées. Ainsi, les projets privilégient toujours l'exploitation des solutions existantes au détriment de l'exploration de solutions nouvelles.

> *« Dès que leur contenu a été défini, dès que les concepteurs estiment le pari jouable, c'est-à-dire dès la signature du contrat de projet, la notion de convergence devient essentielle. Idéalement, à partir de ce moment, le travail des concepteurs ne doit plus consister qu'en application des principes éprouvés, c'est-à-dire la spécification et l'industrialisation des solutions. Il leur faut les multiples objectifs, en évitant les dérives, et chercher à optimiser le compromis, en adaptant les solutions à l'environnement et à l'esprit de la voiture. Bien sûr, le développement ne se fera pas sans surprises, mais ces découvertes doivent être les moins nombreuses possibles, sinon par un effet de propagation, elles risquent de mettre en péril l'équilibre toujours fragile du projet. » (Weil, 1999 p.17 (tome 2))*

La deuxième limite réside dans les impératifs d'optimisation locale et d'optimisation globale. L'équipe projet cherche à optimiser l'utilisation de ses ressources en fonction des fins qui lui sont propres, mais il n'est pas certain que cette optimisation locale soit pertinente au niveau global, c'est-à-dire au niveau de l'entreprise. La troisième limite correspond à la capitalisation technique inter-projets. Une telle structure organisationnelle limite considérablement les capacités d'apprentissage entre les acteurs de différents projets.

2.3. UN REGIME D'EMERGENCE D'EXPERTISE BASE SUR LA COMBINABILITE DES CHAMPS D'EXPERTISE

Parce que les projets sont toujours singuliers et uniques, chaque combinaison de champs d'expertise peut potentiellement faire émerger un nouvel artéfact technologique. Un projet se caractérise donc par la création de nouvelles combinaisons : de nouvelles relations d'interdépendances entre les différents métiers, c'est-à-dire entre les différents champs d'expertise. D'autre part, il n'y a pas de logique déterministe entre les différents projets de l'entreprise. Chaque projet peut correspondre à des buts totalement différents et permet la conception de nouveaux artéfacts technologiques. Ces nouveaux artefacts ne sont pas seulement de simples améliorations des précédents mais bien de nouvelles structures d'interdépendance d'expertise inconnues auparavant. Chacune de ces structures peut correspondre à des nouvelles technologies ou à de nouveaux produits qui satisfont des applications différenciées. Cependant, pour qu'il y ait création de nouvelles combinaisons, les champs d'expertise doivent être identifiés et stabilisés dans l'organisation. Dans le management de projet, il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie pas la nature des champs d'expertise. **Il s'agit principalement d'évolution incrémentale, parfois non déterministe et radicale, mais limité à un champ d'expertise existant, permettant ainsi d'assurer la combinabilité des champs d'expertise**. En vertu de l'impératif de convergence rapide des projets, l'émergence d'expertise s'effectue en préservant les structures des champs d'expertise existants et vise à exploiter les expertises disponibles. Dans la gestion de projet, la valorisation des champs d'expertise s'effectue par l'intermédiaire d'un mécanisme combinatoire. L'exploration de nouvelles *« combinabilités »* des champs d'expertise permet la conception de nouveaux artefacts technologiques et constitue le potentiel d'innovation. **On définit donc le modèle de**

gestion de projet comme étant un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.

Dans le modèle de gestion de projet, on retrouve la distinction entre ceux qui détiennent l'expertise technique au sein des métiers et ceux qui sont en charge de piloter et d'organiser la conception des artefacts technologiques. Cependant, le champ d'action de ces derniers est principalement limité à la supervision et au management des projets. Ils ont en charge d'établir le cahier des charges fonctionnels des produits, de piloter le développement des produits et de coordonner les relations entre les différents métiers au sein de leur projet. Leurs responsabilités sont généralement limitées au projet dont ils ont la charge et ils n'ont pas nécessairement une responsabilité de supervision et de management au niveau de l'entreprise. C'est donc tout naturellement que l'on retrouve dans la littérature en ressource humaine la création d'une nouvelle filière visant à offrir un parcours de carrière spécialement dédié aux chefs de projet : la filière *project management* (Katz & Tushman, 1981 ; Hall, 1985 ; Allen & Katz, 1986 ; Katz, Tushman, & Allen, 1990). On parlera ainsi de triple échelle.

> *"There are* ***three*** *major occupational areas or career paths in the corporate engineering organization: administration, project management, and technical specialization. These occupational specialties represent a* ***"triple ladder"*** *for advancement. This is in contrast to the more typical dual ladder (with technical and administration promotion paths).*
>
> ***Administration.*** *The administration career path is a fairly standard line of advancement from supervisor, through superintendent, to manager and then director.*
>
> ***Technical specialization.*** *This is the "technical ladder" found in most dual ladder organizations. The technical specialization ladder was added in recent years in an attempt to provide the corporation with more specialized expertise in critical areas, as well as to provide more technical challenge, recognition, and advancement options for engineers choosing to specialize.*
>
> ***Project management.*** *The third ladder, project management, is the unique one in this organization. This is a general practice ladder which included primarily project and process engineers, whose work entails a large technical component but also a great deal of coordination and matrix-type interfacing. Thus, this work involves considerable project management and is, in a sense, a hybrid, a technical administrative role. This type of work has traditionally been a key part of the organization's construction activity." (Hall, 1985 p.275).*

Dans le modèle du management de projet, le rôle du scientifique ou de l'expert est relativement restreint. L'expert (ou le scientifique) est une ressource pour le chef de projet, c'est-à-dire que l'intervention de l'expert se limite à apporter une solution au chef de projet qui en a fait la demande. L'expert se doit de produire des connaissances dans son champ d'expertise conformément aux exigences de combinabilité qu'impose le chef de projet. On retrouve ainsi la vision classique de l'expertise[24].

[24] Telle que nous l'avons définie dans le chapitre précédent.

Dans le modèle organisationnel de la gestion de projet, on retrouve ainsi l'ensemble des dimensions caractérisant un régime d'émergence d'expertise et un modèle de gouvernance de l'expertise : une forme d'émergence de l'expertise, un potentiel d'innovation, un modèle de coordination et d'action collective, un modèle de gestion des ressources humaines et la définition d'un rôle de l'expert dans l'organisation [Tableau 9].

Régime d'émergence d'expertise	**Forme d'émergence de l'expertise**	**Potentiel d'innovation**	**Gouvernance de l'expertise**		
			Modèle de coordination et d'action collective	**Modèle de GRH**	**Rôle de l'expert dans l'organisation**
Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.	**Emergence par combinabilité des champs d'expertise ➔** Evolution principalement incrémentale, parfois non déterministe et radicale, mais limité à un champ d'expertise existant, permettant d'assurer la combinabilité des champs d'expertise Emergence de nouvelle expertise avec préservation des structures d'expertise existantes	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs* Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises Innovation incrémentale	Modèle de la gestion de projet : ingénierie concourante, modèle matriciel métiers/projets, rôle important du chef de projet	Triple échelle : filière technique, filière management et filière gestion de projet	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Partage de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Expert ressource, vision classique de l'expertise. L'expert intervient en fonction de la demande des chefs de projet

Tableau 9 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise

3. GOUVERNANCE & EMERGENCE D'EXPERTISE DANS LES STRATEGIES DE PLATEFORME TECHNOLOGIQUE

La gestion de projet a pour objectif de rationaliser les activités de conception et de production de produits, de services et de technologies complexes. Elle vise à mettre en relation et en tension des concepteurs de différents métiers, mais n'a jamais été conçu comme un dispositif d'apprentissage, d'innovation, de création et de capitalisation d'expertise (Garel, 2003). D'autre part, en l'absence de continuité inter-projets, qui s'explique par une vision exclusivement centrée sur le projet indépendamment des autres, on constate une faible capitalisation des expertises et un gaspillage des ressources. Ainsi, la

problématique du multi-projets a émergé dans l'industrie afin de contrebalancer l'absence de relations inter-projets. La vision multi-projets a pour objectif de rationaliser les synergies possibles en R&D et d'améliorer la performance globale des stratégies de l'entreprise et des portefeuilles de projets (Aggeri, 2000). Pour Garel (2003), le multi-projets relève principalement de deux perspectives : la modularité et l'apprentissage inter-projets.

> *« Le multi-projets relève principalement de deux perspectives. D'une part, la conception modulaire se développe à partir de la seconde moitié des années 1990 dans l'industrie informatique, automobile, spatiale, aéronautique ou électronique. Il s'agit notamment de tirer parti des effets d'échelle liés à la standardisation des composants entre différents projets. D'autre part, le multi-projets relève de la capitalisation et de l'apprentissage entre différents projets. L'apprentissage peut être diachronique (de projets à projets ultérieurs) ou synchronique (de projets à projets en cours). Des réseaux inter-métiers se structurent autour de fonctions transversales ou d'enjeux stratégiques, des dispositifs entre acteurs projets se construisent et entretiennent des réseaux ritualisés de compétences, etc. » (Garel, 2003 p.87-88)*

Dans les années 1990, l'enjeu est de mieux cerner les apports et les limites de la gestion de projet. Comme le remarque Charue-Duboc & Midler (2001), on peut principalement distinguer deux limites. La première correspond à la pérennisation des expertises. La dispersion des acteurs d'un même métier entre diverses équipes projets n'est pas favorable au partage et à la création de nouvelles expertises. La deuxième limite relève de l'exploration de nouvelles expertises permettant l'émergence de futurs projets innovants. En effet, pour pouvoir renouveler les produits et les technologies, encore faut-il disposer de nouveaux champs d'expertises qui seront la base des futures innovations. Or, la focalisation sur les échéances du projet limite considérablement l'intérêt pour l'exploration.

Avec l'accélération des rythmes de renouvellement des produits et suite aux critiques de plus en plus forte sur l'organisation en projet, une nouvelle vague de rationalisation porte sur la gestion du multi-projet (Segrestin, Lefebvre & Weil, 2001). L'enjeu est donc de contrebalancer cette polarisation par projet afin d'utiliser les synergies entre projets pour augmenter le potentiel d'innovation des produits en un temps réduit (Cusumano & Nobeoka, 1998). Pour cela, les industriels vont mettre en place une stratégie de développement basée sur une logique de plateforme. Pour Meyer & Lehnerd (2002) une plateforme est *« ensemble de sous-systèmes et d'interfaces qui constituent une structure commune à partir de laquelle un flux de produits dérivés peut être développé et fabriqué de manière efficace »*.

3.1. Concept de modularite & principes de coordination

Suite à la mise en place des logiques de plateforme, on assiste à un regain d'intérêt pour le concept de modularité (Segrestin, Lefebvre & Weil, 2001). En effet, l'approche plateforme repose sur une architecture modulaire des artéfacts technologiques. La logique modulaire vise à fixer très tôt dans le processus de conception l'architecture des artéfacts technologiques et leurs interfaces entre les différents sous-systèmes et composants. Ainsi, les différents composants peuvent être développés et renouvelés en parallèle et indépendamment les uns des autres. Pour cela, il est important que l'organisation soit en

mesure de posséder une bonne connaissance architecturale des artéfacts technologiques (Henderson & Clark, 1990) afin de décentraliser le développement de modules entiers (Baldwin & Clark, 1997, 2000). Pour Sanchez & Mahoney (1996), ce mode de coordination est qualifié d'*« embedded coordination »*, c'est-à-dire que les interactions entre les différents modules doivent être connues et stabilisées. Ainsi, la stratégie de plateforme impose que les mécanismes de coordination reposent *« sur la division entre les experts de l'architecture d'une part, et les experts du développement et de la mise au point des modules d'autre part »* (Segrestin, Lefebvre & Weil, 2001). D'une certaine manière, ce mode de coordination impose de respecter un *dominant design* (Abernathy & Utterback, 1978) afin d'assurer la coordination des acteurs par l'intermédiaire d'interfaces spécifiques et stabilisées disposant d'un nombre restreint de paramètres. Pour Segrestin, Lefebvre & Weil (2001), ce modèle de coordination repose essentiellement sur trois hypothèses implicites : (1) *« des connaissances partagées sur les procédés de conception, fabrication, validation »*, (2) *« des spécifications connues et déployées (négociées) par sous-ensemble »*, (3) *« des interfaces figées entre sous-ensemble »*.

Bien que le concept de modularité soit particulièrement générique, cette notion souligne toujours l'idée d'une *« simplification de la réalité par une décomposition claire des systèmes considérés »* (Catel & Monateri, 2004). A partir d'une revue de littérature sur le concept de modularité dans l'architecture des produits, Catel & Monateri (2004) soulignent deux éléments qui apparaissent fondamentaux dans la description d'une architecture produit : (1) *l'allocation composants/fonctions* et (2) *les caractéristiques des interfaces.* L'allocation entre fonctions et composants est dite modulaire lorsqu'une fonction est uniquement associée à un seul composant physique. Ainsi un système complexe peut être décomposé en plusieurs sous-ensembles. Il est alors possible d'isoler les sous-ensembles du système complexe. Le système complexe est donc décomposable. Les interfaces déterminent les caractéristiques relationnelles entre les sous-ensembles du système. Elles déterminent la façon dont les sous-ensembles interagissent entre eux. Les interfaces se définissent par leurs niveaux de standardisation et par le degré d'interdépendance qu'elles imposent entre les modules qu'elles relient.

> *« L'architecture est dite modulaire lorsque les interfaces sont parfaitement découplées (c'est-à-dire qu'une modification sur l'un des modules connectés par l'interface n'entraîne pas de changement sur les autres éléments mis en relation par cette interface), et parfaitement standardisées (c'est-à-dire qu'elles acceptent la connexion d'une grande variété de composants). » (Catel & Monateri, 2004).*

Pour Baldwin & Clark (1997, 2000) dans une logique modulaire, les interfaces permettent de limiter les interactions entre les différents sous-ensembles. Chacun des modules est caractérisé par des informations spécifiques et indépendantes les unes des autres. De plus, chaque module est défini selon sa place, son rôle et ses modalités d'interactions au sein du système.

3.2. Plateforme technologique & ecosysteme

Pour Gawer & Cusumano (2012), les plateformes technologiques peuvent être *interne* ou *externe* et *fermée* ou *ouvertes.* Les plateformes internes à l'organisation sont *« un ensemble de composantes organisées dans une structure commune à partir de laquelle des produits dérivés peuvent être développés et produits efficacement »* (Meyer & Lehnerd, 1997). Pour Gawer et Cusumano (2012), les plateformes internes s'assimilent à des

plateformes de type *supply-chain*. La plateforme permet alors d'accroître la productivité et la compétitivité de l'entreprise par la réutilisation régulière de sous-ensembles modulaires.

> *"A set of subsystems and interfaces that form a common structure from which a stream of derivative products can be efficiently developed and produced by partners along a supply chain. [...] the different elements of the final system are designed and manufactured by different suppliers along a supply chain, or among suppliers and a final assembler. [...] Supply-chain platform can be shared among firms that are part of a formal alliance, often exhibiting some amount of which cross-ownership between the firms." (Gawer, 2010).*

A la différence des plateformes internes et des plateformes de type *supply-chain*, les plateformes industrielles sont des plateformes externes et ouvertes. Elles se différencient par la nature des relations entre les différentes organisations de l'écosystème. Les plateformes industrielles permettent à des firmes de coopérer pour développer des innovations complémentaires sans pour autant entretenir des relations de clients-fournisseurs. Ces firmes appartiennent généralement à un même secteur industriel et peuvent partager une même stratégie de marché, alors qu'elles sont potentiellement concurrentes. Tandis que chacun ambitionne de stimuler l'innovation dans son champ d'action, la valeur des nouveaux produits dépend des prestations de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur. La littérature sur les plateformes technologiques (Gawer & Cusumano, 2002) permet d'apporter de nouvelles réponses sur la dynamique d'innovation. Ces travaux illustrent en particulier comment, malgré une fragmentation apparente, l'industrie se structure autour de quelques acteurs leaders capables de fédérer des agents autour d'une architecture commune et d'orchestrer les interdépendances. Il s'agit alors d'augmenter le potentiel économique dans le but de créer de nouvelles opportunités dont chacun pourra bénéficier. Enfin, dans certaines industries de haute technologie (semi-conducteur, électronique, télécommunications, nanotechnologies, etc.) il faut organiser les développements technologiques en contrôlant les coûts et les risques, alors même que les dimensions techniques et commerciales sont encore inconnues.

Dans leur livre *Platform leadership*, Gawer & Cusumano (2002) s'appuient sur une multitude de cas (Intel, Microsoft, Cisco, Palm, etc.) pour démontrer que l'industrie des NTIC se structure autour de quelques acteurs, capables de fédérer un ensemble de parties prenantes autour d'une architecture commune et d'organiser les interdépendances. La structuration des innovations, autour de ce type d'architecture, implique d'être en mesure de concevoir une plateforme en respectant trois principaux principes : piloter l'innovation architecturale pour contrôler et gérer les interdépendances entre différents modules, encourager l'innovation externe pour la conception de modules complémentaires et enfin coordonner les dynamiques d'innovation à l'intérieur et à l'extérieur des frontières de l'entreprise (Gawer & Cusumano, 2002 ; Gawer, 2007, 2010). Gawer (2010) observe que les plateformes peuvent émerger à différents niveaux : interne à l'entreprise, au travers des chaînes d'approvisionnement et au niveau de l'ensemble de l'industrie. Si les deux premiers niveaux influent principalement la maîtrise des coûts de fabrication tout en maintenant une large variété de produits et de services, les plateformes industrielles (*industry platforms*) impactent l'ensemble de l'écosystème de l'industrie et regroupent plusieurs entreprises (*complementors*) dont les produits, services et technologies dépendent d'une plateforme industrielle commune. Dans la littérature, les plateformes industrielles sont généralement caractérisées par leur

longue durée de vie, les effets de réseau, les économies d'échelle et les barrières à l'entrée (Bresnahan, 1999). D'autre part, Baldwin & Woodard (2009) mettent en évidence que chaque plateforme technologique dépend aussi d'une structure et d'une architecture unique (*platform architecture*). L'architecture d'une plateforme se décompose entre d'un côté, un cœur technologique stable et invariant, et d'un autre côté, un ensemble de modules périphériques et complémentaires du cœur technologique. C'est l'ensemble de ces modules périphériques qui permettent d'assurer une grande variété d'applications. Ainsi, pour Baldwin & Clark (2000) la modularité de l'architecture de la plateforme est une condition indispensable pour piloter la dynamique d'innovation.

Aussi, les travaux sur les plateformes technologiques (Gawer & Cusumano, 2002 ; Gawer, 2007) permettent d'apporter une contribution majeure. Ce nouveau cadre théorique permet de distinguer les enjeux d'innovation relatifs aux produits et ceux relatifs aux plateformes technologiques :

> *« We need to clarify the difference between a product and an industry platform, and how this misunderstanding can lead to strategic mistakes. Put simply, a product is largely proprietary and under one firm's control, whereas an industry platform is a foundation technology or service that is essential for a broader interdependent ecosystem of firms. » (Gawer, 2007).*

Ces recherches aboutissent à un cadre théorique, basé sur plusieurs niveaux d'analyse (acteurs constituant la plateforme, architecture technologique, mécanisme de coordination, etc.) et sur un ensemble d'options stratégiques pour piloter la performance (technique et économique), l'appropriation (propriété intellectuelle, contrôle de l'accès à la plateforme) et la modularité de l'architecture technique afin de satisfaire le caractère multifonctionnel de la plateforme (Gawer & Cusumano, 2002 ; Gawer, 2007). Les stratégies de plateformes de *market coring* (création de nouvelles plateformes) et de *market tipping* (compétition entre plateformes technologiques) supposent d'être en mesure d'anticiper les enjeux de nouveaux marchés et d'absorber les fonctions techniques pour satisfaire de nouvelles applications.

3.3. Un regime d'emergence d'expertise base sur l'absorptivite des champs d'expertise

En tant qu'ensemble de modules et d'interfaces constituant une structure commune, à partir de laquelle il est possible de concevoir et de développer des artéfacts technologiques, les plateformes technologiques se basent nécessairement sur un large spectre de champs d'expertise indépendants. En effet, en tant que système cohérent, chaque module peut être associé à un champs d'expertise différent. Dans une plateforme technologique, cette compatibilité des modules est assurée par une **architecture modulaire**. Pour cela, les interfaces sont découplées afin d'assurer qu'une modification sur l'un des modules reliés par l'interface n'entraîne pas de modifications et de changements sur les autres modules mis en relation par cette interface. De plus, ces interfaces sont impérativement standardisées afin qu'elles puissent accepter la connexion d'une grande variété de modules, i.e. une grande variété de champs d'expertise. Ces interfaces caractérisent la structure d'interdépendance des expertises de la plateforme technologique. Ainsi, l'architecture d'une plateforme se compose d'un cœur technologique stable et invariant et d'un ensemble de modules périphériques et complémentaires du cœur technologique. Dans

une stratégie de plateforme technologique, c'est l'émergence par intégration ou absorption de nouveaux champs d'expertise, incarnée dans les modules, qui permet d'assurer une grande variété de fonctionnalités et d'applications. C'est donc l'intégration ou l'absorption de nouveaux champs d'expertise qui constitue le potentiel d'innovation. Cependant, les interfaces définissant les interactions entre champs d'expertise doivent être connues, fixées et stabilisées. Leurs évolutions sont incontestablement déterministes. Ces interfaces définissent les caractéristiques relationnelles entre chaque champ d'expertise et incarnent des règles spécifiant la manière dont les champs d'expertise peuvent interagir. A cet égard, la structure d'interdépendance d'expertises est modulaire car les interfaces sont parfaitement découplées (c'est-à-dire qu'une modification sur l'un des champs d'expertise n'entraîne pas de changement sur les autres champs d'expertise auquel il est relié), et parfaitement standardisées (c'est-à-dire qu'elles acceptent la connexion d'une grande variété de champs d'expertise). **On définit donc le modèle de plateforme technologique comme étant un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise.**

A partir du développement des stratégies de plateforme dans différentes industries et du concept de modularité, des pratiques nouvelles et des concepts de gestion inédits ont émergé dans les organisations. Premièrement, on peut noter la notion de communauté : *epistemic communities* (Hass, 1992), *hierarchical communities* (Cohendet et al., 2003), *technology communities* (Lynn et al., 1997), *open source communities* (West & O'Mahony, 2008), *user communities* (Morriso et al., 2000 ; Von Hippel, 2005), *supplier communities* (Doel, 1999), et *innovation communities* (Fichter & Beucker, 2012 ; Bansemir, 2013). La notion de communauté fait écho au concept de modularité : autour d'une même plateforme plusieurs communautés d'acteurs sont en charge de développer de nouveaux modules. Cet intérêt pour le concept de communauté peut également s'expliquer par le rôle important de ces communautés dans la stimulation de l'innovation à l'intérieur et à l'extérieur des organisations, et par l'importance croissante des questions d''innovation dans la compétitivité des entreprises. Deuxièmement, le concept d'*open innovation* (Chesbrough, 2003) est en lien avec le fait que les plateformes industrielles ont une influence sur l'ensemble de l'écosystème de l'industrie et tendent à rapprocher et à faire collaborer des organisations dont les produits, services et technologies dépendent d'une plateforme industrielle commune.

Certains chercheurs ont examiné comment l'adoption du paradigme de *l'open innovation* (Chesbrough, 2003) a changé les structures organisationnelles de R&D et a modifié les pratiques utilisées dans la gestion du personnel technique (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012). Ces recherches suggèrent que l'adoption du modèle de l'innovation ouverte a réduit le rôle des scientifiques et des experts dans les processus d'innovation. Selon les auteurs, deux aspects de l'innovation ouverte ont influencé le modèle de management des chercheurs, des scientifiques et des experts dans les organisations scientifiques. Tout d'abord, dans le paradigme de l'innovation ouverte, la fonction R&D n'est plus le seul *« interceptor and promoter »* de l'innovation technologique dans l'entreprise (Petroni et al., 2012). Deuxièmement, les processus d'innovation basés sur l'adoption de connaissances et de technologies externes tendent à réduire l'influence des scientifiques et des chercheurs (Petroni et al., 2012). Les départements R&D, qui ont adopté des pratiques d'innovation ouverte, réduisent le rôle du personnel technique en tant que producteur de connaissances, tout en augmentant leurs missions d'intégration dans l'organisation des connaissances produites à l'extérieur de l'entreprise. Dans ce contexte, de nouvelles figures professionnelles émergent dans l'organisation : *« integration expert »* (Bigliardi et al, 2011 ; Petroni

et al, 2012.). Leur rôle est de sélectionner et d'intégrer les connaissances externes afin de les utiliser avec succès dans de nouveaux produits et procédés.

> *"As a first result, in industrial research, the role of engineers and the business innovation team become more important, whereas the role of senior scientists is weakened." (Bigliardi et al., 2011)*

Une autre proposition est que l'adoption de l'innovation ouverte conduit à la création de nouveaux parcours professionnels, surmontant ainsi l'insuffisance du système traditionnel de la double échelle. Petroni et al. (2012) proposent un nouveau cheminement de carrière : *« open dual ladder »*. Selon les auteurs, la principale différence est que dans le modèle *« open dual ladder »* le personnel technique peut changer de parcours professionnel.

Dans le modèle organisationnel basé sur les plateformes technologiques, on retrouve ainsi l'ensemble des dimensions caractérisant un régime d'émergence d'expertise et un modèle de gouvernance de l'expertise : une forme d'émergence de l'expertise, un potentiel d'innovation, un modèle de coordination et d'action collective, un modèle de gestion des ressources humaines et la définition d'un rôle de l'expert dans l'organisation [Tableau 10].

Régime d'émergence d'expertise	**Forme d'émergence de l'expertise**	**Potentiel d'innovation**	**Gouvernance de l'expertise**		
			Modèle de coordination et d'action collective	**Modèle de GRH**	**Rôle de l'expert dans l'organisation**
Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise	**Emergence par absorptivité des champs d'expertise ➔** Intégration ou absorption de nouveaux champs d'expertise, permettant d'assurer une grande variété de fonctionnalités et d'applications Emergence de nouvelle expertise avec préservation des structures d'expertise existantes	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs* Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises Innovation incrémentale	Modèle des plateformes technologiques, architecture modulaire, communautés épistémiques, communauté d'innovation, open innovation	Double échelle, triple échelle, *open dual ladder*	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Partage de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise Expert ressource, vision classique de l'expertise. L'expert a pour rôle d'intégrer des connaissances extérieures : *« integration expert »*

Tableau 10 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise

4. PREMIERES HYPOTHESES & QUESTIONS DE RECHERCHE

Le projet de recherche initial, conçu en collaboration avec STMicroelectronics, se basait sur le questionnement suivant : **Comment organiser la gestion de l'expertise pour l'innovation de rupture et comment mobiliser les experts techniques pour favoriser l'innovation de rupture ?** Face à cette question ouverte, le premier enjeu fut de reformuler la problématique de recherche afin de révéler des objets d'études peu étudiés ou non-identifiés. Ainsi nous avons émis plusieurs hypothèses et introduit plusieurs concepts afin de structurer notre revue de littérature.

Premièrement, nous avons introduit la notion de **régime d'émergence d'expertise** afin de souligner que le **potentiel d'innovation des firmes est directement relié aux formes d'émergence de l'expertise et aux modèles de gouvernance de l'expertise.** Nous avons fait l'hypothèse qu'il devait exister deux grands archétypes de régimes d'émergence d'expertise :

- Un régime d'émergence d'expertises **qui minimise la réorganisation des expertises existantes et qui est susceptible de préserver les *dominant designs* et d'engendrer des innovations incrémentales.**
- Un régime d'émergence d'expertises **qui provoque une restructuration profonde des expertises et qui est susceptible de provoquer des ruptures de *dominant designs* et d'engendrer des innovations de rupture.**

Deuxièmement, nous avons introduit le concept de **gouvernance de l'expertise** afin de souligner que les formes de l'émergence d'expertises dépendent essentiellement de l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation. Ainsi, nous avons proposé une approche trilogique de la gouvernance de l'expertise. En effet, selon nous, penser la gouvernance de l'expertise implique de tenir compte de trois dimensions : les systèmes de coordination et d'action collective, les dispositifs de gestion des ressources humaines et le rôle des experts dans l'organisation.

Troisièmement, à partir d'une revue de littérature en sciences de gestion et de la notion de structure d'expertise, nous avons mis en évidence trois modèles de gouvernance de l'expertise en fonction de trois formes de régime d'émergence d'expertise :

- Gouvernance et émergence d'expertise dans les laboratoires industriels : un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise.
- Gouvernance et émergence d'expertise dans le management de projet : un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.
- Gouvernance et émergence d'expertise dans les stratégies de plateforme technologique : un régime d'émergence basé sur l'absorptivité des champs d'expertise.

Bien que ces modèles de gouvernance de l'expertise et ces formes de régime d'émergence d'expertise diffèrent en de nombreux points, nous constatons cependant que ces trois archétypes visent à préserver une partie des structures d'expertise et à limiter la réorganisation des structures d'expertises existantes. **On parlera ainsi de *régime d'émergence d'expertise isostructurel*.** En outre, ces trois archétypes partagent plusieurs caractéristiques communes [Tableau 11].

Caractéristiques générales d'un régime d'émergence d'expertise isostructurel et de son modèle de gouvernance associé	
Modèle de GRH : orientation professionnelle, satisfaction & reconnaissance de l'expertise dans l'organisation	(1) Les experts sont reconnus par l'organisation par l'intermédiaire de la filière technique (double échelle et communautés de métier). (2) Le statut d'expert est corrélé à sa durée d'expérience dans un domaine d'expertise particulier.
Modèle de coordination et d'action collective	(3) Un expert est rattaché à seul champ d'expertise et son statut d'expert est reconnu selon ce champ. (4) L'action collective des experts s'effectue au sein des métiers (i.e. au sein de chaque champ d'expertise). (5) Il n'y a pas de collaboration entre les experts de différents domaines d'expertise.
Dynamique de l'émergence de l'expertise	(6) Les champs d'expertise sont stables et reconnus par l'organisation. (7) La dynamique du renouvellement des expertises est lente. (8) L'émergence de nouveaux champs d'expertise est rare et provient généralement de l'extérieur de l'organisation.
Rôle des experts dans l'organisation et dans les processus d'innovation	(9) Le rôle des experts dans l'organisation est d'être une ressource pour le décisionnaire, c'est-à-dire que l'intervention de l'expert se limite à apporter une information aux décisionnaires qui ont en fait la demande. (10) Le rôle de l'expert ne varie pas selon le type de potentiel d'innovation (incrémental ou rupture). (11) La création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation (laboratoire de recherche, entreprises, etc.). L'expert a donc pour mission d'intégrer des expertises externes à l'entreprise.
Formes de l'émergence de l'expertise	(12) L'émergence de nouvelle expertise s'effectue sans modification et sans réorganisation des structures expertises existantes. (13) Les champs d'expertise sont indépendants les uns par rapport aux autres : chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres.
Potentiel d'innovation	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs*. Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises. Innovation essentiellement de type incrémental.

Tableau 11: Caractéristiques générales d'un régime d'émergence d'expertise isostructurel et de son modèle de gouvernance associé

En effet, dans la gestion de projet, les champs d'expertise sont identifiés et stabilisés dans l'organisation ; il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie pas la nature des champs d'expertise. D'autre part, dans les stratégies de plateforme, il y a bien émergence de nouveaux champs d'expertise mais les interfaces, définissant les interactions entre les champs d'expertise, sont connues et stabilisées. On reste donc dans le cadre de régimes d'émergence d'expertises qui minimisent la réorganisation des expertises existantes. Pour sortir des *dominant designs* et potentiellement concevoir des innovations de rupture, il faut donc un autre modèle de gouvernance de l'expertise capable d'organiser l'émergence d'expertise **alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus**. Ainsi, ce travail de recherche s'inscrit autour de trois questions de recherche :

Quelles sont les caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise susceptibles de provoquer des innovations de rupture ?

Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?

Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?

5. SYNTHESE DU CHAPITRE 3

Dans ce chapitre, nous avons désigné par émergence d'expertise les processus de formation de nouveaux champs d'expertise et les transformations des relations d'interdépendance entre les différents champs d'expertise. Etant donné qu'un champ d'expertise est un ensemble structuré d'éléments interconnectés (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique), nous avons affirmé que chaque champ d'expertise était doté d'une structure propre et spécifique : nous avons parlé de **structure du champ d'expertise**. D'autre part, dans les organisations industrielles les champs d'expertise ne sont pas isolés les uns des autres. Chaque champ d'expertise est nécessairement en relation avec les autres champs. Ils sont des éléments constitutifs d'un ensemble construit et organisé, faisant de cet ensemble un tout homogène et interdépendant que nous avons nommé **structure d'interdépendance des champs d'expertises.** La structure d'interdépendance des champs d'expertise décrit de manière générale, la façon dont l'organisation de différents champs d'expertise constitue un système cohérent, représentant un stade plus ou moins stable de l'évolution des champs d'expertises et de leurs interdépendances.

A partir de la notion de régime d'émergence d'expertise, introduite dans le premier chapitre, nous avons proposé de distinguer principalement trois archétypes d'émergence d'expertise selon la nature des formes d'émergence de l'expertise et selon leur modèle de gouvernance associé : (1) un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise (laboratoire de recherche industriel), (2) un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise (gestion de projet) et (3) un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise (plateforme technologique).

Nous avons défendu l'idée que ces trois régimes d'expertise présentés visent à préserver une partie des structures d'expertise et à favoriser une dynamique déterministe de ces structures. En effet, dans la gestion de projet, les champs d'expertise sont identifiés et stabilisés dans l'organisation ; il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie pas la nature des champs d'expertise. D'autre part, dans les stratégies de plateforme, il y a bien émergence de nouveaux champs d'expertise mais les interfaces, définissant les interactions entre les champs d'expertise, sont connues et stabilisées. On reste donc dans le cadre d'un régime d'émergence d'expertise isostructurel. Pour sortir des *dominant designs* et potentiellement concevoir des innovations de rupture, il faut donc un autre modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise capable d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus.

Enfin, nous avons introduit nos trois questions de recherche :
Quels sont les caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise susceptibles de provoquer des innovations de rupture ?
Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?
Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?

PARTIE II. – METHODOLOGIE DE RECHERCHE & PRESENTATION DU TERRAIN DE RECHERCHE

Partie II. – Méthodologie de recherche & présentation du terrain de recherche..... 109

Chapitre 4 –Approche méthodologique & itinéraire de recherche..... 111

Chapitre 5 – Présentation du terrain de recherche & justification du caractère extrême du cas 123

CHAPITRE 4 – APPROCHE METHODOLOGIQUE & ITINERAIRE DE RECHERCHE

Chapitre 4 –Approche méthodologique & itinéraire de recherche 111

1. La recherche intervention comme cadre méthodologique général de la thèse 114

1.1. Le choix d'une démarche de recherche-intervention 114

1.2. Principes méthodologiques de la recherche-intervention 116

1.3. Recueil & analyse des données 117

2. Etapes & itinéraire de recherche 118

2.1. Révéler une anomalie de gestion : la gouvernance de l'expertise face à l'innovation intensive 118

2.2. Construction d'un modèle théorique de l'émergence de l'expertise 119

2.3. Expérimentation d'un nouveau dispositif de gestion 119

2.4. Une représentation de l'itinéraire de recherche 120

3. Schéma général du parcours de recherche 120

4. Synthèse du chapitre 4 121

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'approche méthodologique ainsi que l'itinéraire de recherche adopté pendant cette thèse. La recherche a été conduite dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) à STMicroelectronics de novembre 2013 à novembre 2016. Ce statut est particulièrement intéressant dans la mesure où il permet et facilite l'accès à un large ensemble de données de l'entreprise et offre la possibilité d'expérimenter les résultats théoriques obtenus à partir des problématiques empiriques soulevées. En tant que chercheur en sciences de gestion, tout en étant salarié de l'entreprise qui constitue notre terrain de recherche, nous sommes dans une position de *« chercheur-acteur »* (Lallé, 2004). Ce positionnement rejoint, d'une certaine manière, le concept de recherche ingénierie développé par Chanal et al. (1997), selon lequel le chercheur est avant tout un *« ingénieur organisationnel »* ayant pour objectif de concevoir l'outil support de sa recherche et d'agir à la fois comme animateur et évaluateur de sa mise en œuvre dans les organisations, tout en contribuant à l'émergence de représentations et de connaissances scientifiques nouvelles (Chanal et al., 1997). Nous partageons la vision de Lallé (2004) selon laquelle la recherche en gestion n'est pas seulement une recherche *sur* l'action mais aussi une recherche *dans* l'action, c'est-à-dire une recherche transformative où le chercheur participe à la vie de l'organisation, analyse, conçoit, met en œuvre et diffuse ces résultats à l'intérieur et à l'extérieur de l'organisation. Ainsi, notre approche de la recherche peut être qualifiée de *« recherche interactive »* (Girin, 1986), dans la mesure où elle se caractérise selon les quatre caractéristiques définies par Girin (1986) :

- La plus grande partie des données sur lesquelles on réfléchit sont directement tirées d'un travail de terrain ; elles ne sont pas reprises d'autres travaux et n'ont fait l'objet d'aucun traitement ou élaboration préalables.
- Le travail de terrain n'est pas mené suivant un protocole entièrement établi par avance, mais s'ajuste à des circonstances, nécessités, opportunités, impossibilités, négociations, etc., qui peuvent parfois l'infléchir.
- Il est admis que les *« autochtones »* – c'est-à-dire *« ceux du terrain »* – ont leur mot à dire sur son déroulement.
- Les chercheurs, c'est-à-dire ceux qui ont la responsabilité de l'interprétation et de l'élaboration théorique, conduisent eux-mêmes l'investigation.

Comme le souligne Lallé (2004), le positionnement de *« chercheur-acteur »* n'est pas exempt de toutes questions concernant la prise de recul et la validité scientifique des résultats obtenus. C'est pourquoi, nous nous sommes contraints aux conditions minimales et indispensables pour ce type de recherche ; conditions qui ont été mises en évidence par Lallé (2004) :

- **Alterner les phases d'intériorisation et d'extériorisation** afin de s'éloigner de l'objet et du champ étudiés pour bénéficier du point de vue critique que permet le recul. Nous avons ainsi passé un tiers de notre temps de recherche à l'extérieur de l'entreprise, plus précisément au Centre de Gestion Scientifique de MINES ParisTech afin de faciliter les phases d'extériorisation.
- **Elargir le champ d'investigation** par l'intermédiaire de recherches bibliographiques et d'analyse de la littérature. Nous avons ainsi constamment comparé notre positionnement et nos résultats par rapport aux travaux et aux théories existantes.

– **Se soumettre à une double évaluation périodique,** par des praticiens et des managers du milieu de l'entreprise et par des chercheurs et des professeurs du milieu académique. Nous avons ainsi eu l'occasion de présenter et de partager nos travaux de recherche lors de comités de pilotage bimestriel organisé chez STMicroelectronics (environ une quinzaine de personnes en présence des directeurs de thèse), des présentations au sein du laboratoire de recherche [Tableau 12] et des publications scientifiques dans des conférences académiques [Tableau 13].

Listes des présentations des travaux de recherche	Dates
Journées doctorales - Institut Interdisciplinaire de l'Innovation UMR CNRS 9217	8 juin 2016
Présentation réunion Chaire Théorie & Méthodes de la Conception Innovante, MINES ParisTech	15 mars 2016
Présentation séminaire doctoral, MINES ParisTech	10 mai 2016
Journées doctorales - Institut Interdisciplinaire de l'Innovation UMR CNRS 9217	9 juin 2015
Journées doctorales - Institut Interdisciplinaire de l'Innovation UMR CNRS 9217	8 juin 2014

Tableau 12 : Listes des présentations des travaux de recherche

Listes des publications scientifiques	Congrès
Cabanes, B., Galy, P., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Technical staff management for radical innovation in science-based organizations : a new framework based on design theory. In *R&D Management Conference.*	R&D Management Conference, Cambridge, UK
Cabanes, B., Hubac, S., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). From FMEA as a problem solving method to a design-oriented process: Toward a design perspective of FMEA. In *DS 84 : Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference* (pp. 589-600).[25]	**14th International Design Conference, Dubrovnik, Croatie**
Cabanes, B., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). From expert communities to expert society: the governance of expertise in science-based organizations facing intensive innovation. *Cambridge-PSL Workshop "Work and Workplace Transformations: A Focus on New Collaborative Communities".*	Cambridge-PSL Workshop & RGCS Workshop Cambridge &, London, UK
Cabanes, B., Hubac, S., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Design-oriented manufacturing: the case of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) in semiconductor industry. In *9th International Workshop on Design Theory, Special Interest Group of the Design Society.*	9th International Workshop on Design Theory, Paris
Cabanes, B., Le Masson, P., Weil, B., Kokshagina, O., & Cogez, P. (2015). Innovation et compétition entre plateformes technologiques : vers une stratégie basée sur la pervasivité des technologies. In *XXIVe Conférence Internationale de Management Stratégique.*	AIMS, Paris
Cabanes, B., Segrestin, B., Weil, B., & Le Masson, P. (2014). Understanding the Role of Collective Imaginary in the Dynamics of Expectations : The Space Industry Case Study. In *21st International Product Development Management Conference.*	IPDM, Limerick Irlande

Tableau 13 : Listes des publications scientifiques

[25] Cette publication a obtenu le prix suivant : ***« Outstanding contribution »*** de la 14th International Design Conference, 2016, Croatie.

En nous basant sur la typologie proposée par David (2000) [Tableau 14], notre travail de recherche peut être qualifié de recherche-intervention car notre objectif est de contribuer à transformer le système organisationnel à partir d'un projet concret de transformation plus ou moins complètement défini. Ainsi, notre ambition est de produire des connaissances à la fois scientifiques et utiles à l'action.

		Objectif	
		Construction mentale de la réalité	*Construction concrète de la réalité*
Démarche	*Partir de l'observation des faits*	**Observation participante ou non.** Elaborer un modèle de fonctionnement du système étudié	**Recherche-action, étude clinique.** Aider à transformer à partir de sa propre réflexion sur lui-même.
	Partir d'un projet de transformation ou d'une situation idéalisée	**Conception de modèles de gestion.** Elaborer des outils de gestion potentiel, des modèles possibles de fonctionnement	**Recherche-intervention.** Aider à transformer le système à partir d'un projet concret de transformation plus ou moins complètement défini.

Tableau 14 : Différentes démarches de recherche (David, 2000)

Le choix de cette méthode nous rattache, de fait, au courant constructiviste. Cependant, nous ne présenterons pas les principes de cette épistémologie et de ce qui la distingue des épistémologies positivistes et interprétativistes en sciences de gestion (Gavard-Perret et al., 2012 ; David, Hatchuel & Laufer, 2012 ; Martinet & Pesqueux, 2013 ; Le Moigne, & Morin, 2013). Nous nous contentons seulement de préciser que dans l'épistémologie constructiviste *« les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas de question, il ne peut y avoir de connaissances scientifiques. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit »* (Bachelard, 1989, p. 14).

1. LA RECHERCHE INTERVENTION COMME CADRE METHODOLOGIQUE GENERAL DE LA THESE

Le projet de recherche initial, conçu en collaboration avec STMicroelectronics, se basait sur le questionnement suivant : **Comment organiser la gestion de l'expertise pour l'innovation de rupture et comment mobiliser les experts techniques pour favoriser l'innovation de rupture ?** A cette question ouverte, une revue approfondie de la littérature s'efforçant de préciser les relations entre les différentes notions introduites (expert, expertise, innovation de rupture, etc.) par des courants de littérature souvent largement distincts, ne nous a pas permis de proposer une réponse concrète. Dans ce contexte, le premier enjeu fut de reformuler la problématique de recherche afin de révéler des objets d'études peu étudiés ou non-identifiés.

1.1. LE CHOIX D'UNE DEMARCHE DE RECHERCHE-INTERVENTION

Notre reformulation de la problématique de recherche nous a permis de révéler un objet d'étude peu étudié et plus largement non-identifié : la gouvernance de l'expertise face à l'innovation intensive. En effet, dans la littérature en sciences de gestion, les notions d'expert, d'expertise et d'innovation font l'objet

de multiples définitions et interprétations, dont les filiations théoriques sont généralement différentes. D'un côté, comme le remarque Lelebina (2014), la littérature gestionnaire se focalise principalement sur la mise en place de dispositifs comme la double échelle mais ne donne pas d'indications sur la définition de la figure de l'expert dans un contexte organisationnel. De plus, cette littérature ne s'intéresse que très peu aux enjeux collectifs de l'expertise. D'autre part, la littérature en management de l'innovation entretient une relation paradoxale entre les enjeux d'innovation et la gestion de l'expertise, dans le sens où l'expertise renforce et inhibe l'innovation. Enfin, la question de la nature de l'émergence de l'expertise et de son impact sur les formes d'innovation est absente des débats théoriques.

L'analyse de ces nouvelles dimensions implique d'opter pour une démarche méthodologique susceptible de permettre l'accès à une diversité de données empiriques. Ainsi, nous avons opté pour une démarche exploratoire et longitudinale à partir du cas d'une organisation industrielle faisant face à des problématiques de gestion des experts et de l'expertise face à l'innovation intensive : STMicroelectronics. L'ambition est alors d'explorer des objets d'études initialement peu étudiés et non-définis afin d'apporter de nouveaux éclairages théoriques et pratiques.

En raison de notre position de *« chercheur-acteur »*, notre méthodologie de recherche se base sur une méthode de recherche collaborative (Shani et al., 2008), menée par des chercheurs et des praticiens afin de créer des connaissances concrètes pour l'organisation et de nouveaux modèles théoriques pour la recherche en gestion (David & Hatchuel, 2008). Ainsi, cette méthodologie de recherche accorde une place importante aux modalités d'interaction entre les chercheurs et les praticiens réflexifs (Schön, 1983). Ce type de recherche vise à dépasser l'opposition classique entre la rigueur scientifique et la pertinence pratique, notamment en associant les praticiens au sein du processus de recherche :

> *"Producing relevant knowledge is the greatest challenge faced by researchers. The divergence between researchers and practitioners has been widely studied [...]. Some reasons for this lie on the practitioners' side, such as a lack of formal education or little exposure to research findings (Rynes, in press), but the most prominent ones are imputable to the so-called 'relevance gap' of management research. This relevance gap has been extensively debated in top-tier journals over the past ten years (Fincham and Clark, 2009). The debate has featured contrasting opinions about the potential trade-offs between managerial relevance and scientific rigour. Certain authors have claimed that this trade-off is unbridgeable (Kieser and Leiner, 2009), while others claim that reconciling relevance and rigour is not only possible and necessary but is already occurring (Hodgkinson and Rousseau, 2009). A major trend in management research is bridging this gap through active involvement of practitioners in the research process and relying on multiple inquiry methods" (Radaelli et al., 2014).*

D'autre part, comme le souligne Rynes (2012), la collaboration avec des praticiens permet un meilleur accès aux données :

> *"On the academic side, collaboration with practitioners on problems of mutual interest can provide researchers with access to better data sets (larger samples, higher response rates, better measures, fewer*

errors) that avoid some of the most persistent methodological problems in I/O[26] *and related areas of research" (Rynes, 2012)*

Enfin, pour les organisations, l'intervention de chercheurs est aussi bénéfique dans la mesure où elle permet d'analyser en profondeur les enjeux des problématiques gestionnaires et d'enclencher des changements organisationnels susceptible d'améliorer la performance des dispositifs de gestion. Ainsi, il n'est pas rare que le point de départ, des recherches collaboratives, intervient généralement à la suite du constat de crises gestionnaires dans l'entreprise. Dans ce contexte, l'interaction entre le terrain de recherche et la théorie se fonde sur une relation d'interdépendance, *« constitutive d'une ingénierie gestionnaire fondée qui incarne le projet général que l'on peut attribuer aux sciences de gestion »* (David, 2000).

Pour David (2000), la recherche collaborative est un terme générique qui englobe diverses approches de recherche parmi lesquelles l'*action research* (Lewin, 1951), l'*action science* (Argyris, Putman & Smith, 1985), la science de l'aide à la décision (Roy, 1985, 1992) et la recherche-intervention (Moisdon, 1984 ; Hatchuel & Molet, 1986 ; Hatchuel, 1994). Dans la suite de ce chapitre, nous ne reviendrons pas sur les principes de ces différentes approches, nous limiterons seulement à la description des principes méthodologiques de la recherche-intervention.

1.2. Principes methodologiques de la recherche-intervention

En recherche-intervention, l'intervention n'est pas une fin en soi et ne constitue pas un résultat de recherche, elle est avant tout un moyen permettant au chercheur d'expérimenter directement une situation d'action collective *« de l'intérieur »* : *"Intervention is not a research outcome nor the provision of hands-on solutions. It is, instead, the process in which researchers can experience collective action 'from the inside' and thus have more direct access to it."* (Radaelli et al., 2014).

D'autre part, les démarches scientifiques d'intervention se basent sur quatre principes fondamentaux (David, Hatchuel & Laufer, 2012). Premièrement, l'objectif est de comprendre en profondeur le fonctionnement du système, de l'aider à définir des trajectoires possibles d'évolution, de l'aider à en choisir une, à la réaliser, à en évaluer le résultat. Deuxièmement, la production de connaissances se fait dans l'interaction avec le terrain. Par conséquence, le lieu de la production des connaissances et celui de leur validation ne sont pas nettement séparables. D'autre part, la collaboration avec les praticiens est essentielle et fondamentale, car l'intérêt des praticiens pour les résultats de la recherche peut réduire les distances entre les chercheurs et les phénomènes observés (Radaelli et al., 2014). Troisièmement, le chercheur parcourt différents niveaux théoriques : théories générales et théories intermédiaires permettant à la fois un dialogue avec le terrain et un dialogue avec les théories générales. Quatrièmement, l'intervention sur la réalité justifie son caractère normatif par référence à des principes scientifiques (recherche de la vérité) et démocratiques (égal respect des acteurs).

Enfin, comme le souligne Hatchuel (1994), l'intervention se doit d'être adaptée aux problématiques de l'organisation ainsi qu'aux besoins de production de connaissances scientifiques :

[26] Industrial/Organizational

« La vie organisationnelle naît avec la formation d'acteurs nécessairement différenciés et toujours en quête de ce qui peut fonder leurs relations. Elle est aussi faite de la mort ou de la métamorphose de ces acteurs. Le chercheur qui veut penser un processus d'intervention ne peut échapper à cette « loi naturelle ». Mais pour que son intervention ait un sens, il devra lutter contre cette loi lorsqu'elle se fonde sur une représentation mutilée des faits et des relations entre les acteurs » (Hatchuel, 1994).

D'un point de vue méthodologique, la recherche-intervention s'articule autour de cinq principes (David, Hatchuel & Laufer, 2012) :

- Le **principe de rationalité accrue** correspond à l'idée selon laquelle le chercheur intervenant doit *« favoriser une meilleure adéquation entre la connaissance des faits et les rapports qu'ils rendent possibles entre les hommes »* (Hatchuel, 1994). C'est-à-dire, qu'il ne s'agit non pas de créer un dialogue entre les acteurs et d'apporter de l'extérieur des connaissances d'expert, mais de penser la mise en comptabilité de relations et de savoirs nouveaux.
- Le **principe d'inachèvement** considère qu'il est impossible de connaître à l'avance le déroulement et les résultats d'une recherche-intervention.
- Le **principe de scientificité** souligne que le chercheur doit entretenir en permanence une attitude critique par rapport aux faits et doit constamment s'interroger sur les conditions de validation des savoirs mobilisé au cours de l'intervention.
- Le **principe d'isonomie** traduit l'idéal démocratique. L'intervention doit se traduire par la *« mise en place d'un système d'échanges entre acteurs qui respecte à la fois recherche de vérité et démocratie »* (David, Hatchuel & Laufer, 2012).
- Le **principe de deux niveaux d'interaction** indique que la recherche-intervention *« suppose à la fois un dispositif d'intervention et une démarche de connaissance »* (David, Hatchuel & Laufer, 2012). Le dispositif d'intervention permet d'organiser les relations, nécessairement évolutives, entre les acteurs et le chercheur. La démarche de connaissance souligne le devoir du chercheur de produire de nouvelles connaissances.

1.3. RECUEIL & ANALYSE DES DONNEES

La majorité des données ont été recueillies au sein de STMicroelectronics et cela a été rendu possible par notre interaction directe sur le terrain. Lors de notre recherche, nous avons mobilisé plusieurs types de données indispensables pour les démarches qualitatives. Premièrement, nous nous sommes basés sur des données *« froides »*, c'est-à-dire des données dont l'élaboration n'est pas directement liée à notre investigation (Girin, 1986) : documentations internes, organigrammes, roadmaps technologiques, documentations administratives, documentations techniques, base de brevets, manuscrits de thèses, publications scientifiques (conférences et journaux), sites internet, intranet, comptes rendus de réunions, etc. Deuxièmement, nous nous sommes basés sur des données *« chaudes »*, c'est-à-dire des données dont l'élaboration est directement liée à notre interaction (Girin, 1986) : observation participante (réunions d'équipe hebdomadaires, réunions mensuelles *working group expertise management*), observation non-participante lors de réunions et de séminaires, questionnaires et entretiens semi-directifs avec les

principaux responsables et acteurs en charge de la gestion des experts et de l'expertise chez STMicroelectronics.

Ce recueil de données repose principalement sur l'observation participante et sur des entretiens semi-directifs avec les principaux responsables et acteurs en charge de la gestion des experts et de l'expertise chez STMicroelectronics. Ce matériau (données primaires) a été croisé avec des sources écrites (données secondaires), telles que la documentation externe et interne, les manuscrits de thèses, les publications scientifiques (conférences et journaux) et les bases de brevets. L'analyse des données s'appuie sur les recommandations et les méthodes d'analyse qualitative proposées par Miles & Huberman (1994). Dans un premier temps, nous avons réalisé des synthèses d'entretiens afin de résumer les informations collectées au contact du terrain. Puis, nous avons procédé à un codage par l'intermédiaire de catégories (chronologie, rôles des acteurs, mission des acteurs, responsabilités des acteurs, etc.) pour résumer et regrouper les données. Enfin, nous avons déterminé des thématiques générales pour identifier des régularités repérables à travers l'ensemble des données récoltées.

2. ETAPES & ITINERAIRE DE RECHERCHE

Conformément aux recommandations proposées par David (2012), notre itinéraire de recherche se base sur un processus récursif mobilisant trois niveaux de raisonnement scientifique : *abduction / déduction / induction.* Ces différents niveaux se caractérisent respectivement par le choix de cadres théoriques pour rendre compte du phénomène étudié, la mise en évidence d'une anomalie théorique face à des observations empiriques, une modélisation théorique expliquant les faits empiriques et la mise en œuvre d'expérimentations pour tester le modèle théorique. Ainsi, notre recherche s'est déroulé selon trois étapes : une phase d'abduction pour analyser les cadres théoriques (*Partie I*) et relever une anomalie (*Partie III*), une phase déductive de modélisation des mécanismes d'émergence de l'expertise (*Partie IV*) et une phase inductive pour tester de nouveaux dispositifs de gestion (*Partie V*). La *Partie II* de cette thèse est dédiée à la présentation de la méthodologie de recherche et du terrain de recherche.

2.1. REVELER UNE ANOMALIE DE GESTION : LA GOUVERNANCE DE L'EXPERTISE FACE A L'INNOVATION INTENSIVE

Comme le souligne David (2012), *« pour que les données « posent problème », il faut avoir en tête une théorie, aussi approximative et indéfinie soit-elle, qui fasse miroir : c'est toujours une théorie qui définit ce qui est observable, même au début du processus d'observation »*. Ainsi, le point de départ de notre recherche a consisté à l'analyse des cadres théoriques existants concernant la gouvernance de l'expertise, l'émergence de l'expertise et la gestion de l'innovation intensive.

> *« Toute connaissance commence par des hypothèses et aboutit à des observations encadrées par des hypothèses, ces observations stimulent des réajustements des hypothèses, donc de nouvelles observations, et ainsi à l'infini. » (Carontini, 1990).*

Cette analyse est primordiale dans la mesure où elle permet de révéler un phénomène qui n'est pas encore étudié dans la littérature académique. Notre première partie (*Partie I*) est donc consacrée à cette sélection des cadres théoriques. Dans un souci de clarté, la revue de littérature se poursuit par l'intermédiaire de certaines annexes. Pour révéler un nouvel objet absent de la littérature (*Partie III*), nous avons suivi un processus d'identification et de caractérisation, tel qu'il est proposé par Kokshagina (2014) et inspiré de Siggelkow (2007) : (1) caractérisation et identification des modèles existants dans la littérature ; (2) définition de descripteurs qui permettront de déterminer l'anomalie, la modélisation de cette anomalie et la construction d'un instrument pour décrire le phénomène de recherche correspondant ; (3) caractérisation des anomalies et définition des actions correspondantes et leurs implications.

2.2. Construction d'un modele theorique de l'emergence de l'expertise

Après avoir mis en évidence un nouveau phénomène qui met à mal les cadres théoriques classiques. Dans notre cas, il s'agit d'un contre-exemple soulignant les limites des cadres théoriques existants (Siggelkow, 2007). Nous nous sommes attachés à construire un modèle théorique capable de rendre compte de ce phénomène tout en tenant compte des cadres théoriques préexistants (*Partie IV*). Nous nous basons sur un cas unique (STMicroelectronics) car nous estimons qu'il a été choisi et analysé avec précision et qu'il constitue une base solide à la constitution d'un « *free-standing model* », c'est-à-dire un modèle théorique qui paraît plausible en lui-même et pour lequel le cas sert à identifier les principaux paramètres (Siggelkow, 2007). D'autre part, notre modèle a pour objectif de faciliter l'explication intelligible d'un mécanisme complexe en explicitant les interactions causales supposées au moyen de représentations symboliques, de faciliter la compréhension d'un phénomène en facilitant sa représentation conceptuelle ainsi que sa dynamique et enfin de faciliter la première ébauche ou formulation d'une théorie en proposant des explorations conceptuelles hypothétiques (hypothèses théoriques).

2.3. Experimentation d'un nouveau dispositif de gestion

La troisième étape de la recherche (*Partie V*) consiste, à partir du modèle théorique, de proposer et d'expérimenter un nouveau dispositif de gestion. Cette étape correspond à la phase d'intervention. Le chercheur, en collaboration avec les praticiens, propose un nouveau dispositif de gestion en réponse à la problématique soulevée et en se basant sur le modèle théorique développé. Le modèle développé doit ainsi permettre la mobilisation de l'organisation autour d'un objectif clair et partagé par l'ensemble des parties prenantes. Dans ce contexte, le modèle théorique prend les caractéristiques d'un mythe rationnel (Hatchuel & Molet, 1986), dans le sens où il permet de formuler une théorie de l'organisation adaptée aux enjeux identifiés. L'expérimentation de ce nouveau dispositif s'apparente à un stimulus ayant pour objectif de générer des réactions chez les acteurs de l'organisation. Plusieurs types de réponses sont envisageables parmi lesquels, le soutien, la critique, la résistance ou encore l'indifférence. Généralement, ces réactions coexistent et dépendent de chacun des acteurs (i.e. des individus membres de l'organisation) et sont les signes visibles de l'interaction réelle entre le chercheur et l'organisation. Enfin, l'apprentissage collectif et l'implémentation du dispositif induisent un processus croisé de transformation des dispositifs par l'organisation et de l'organisation par les dispositifs.

2.4. Une representation de l'itineraire de recherche

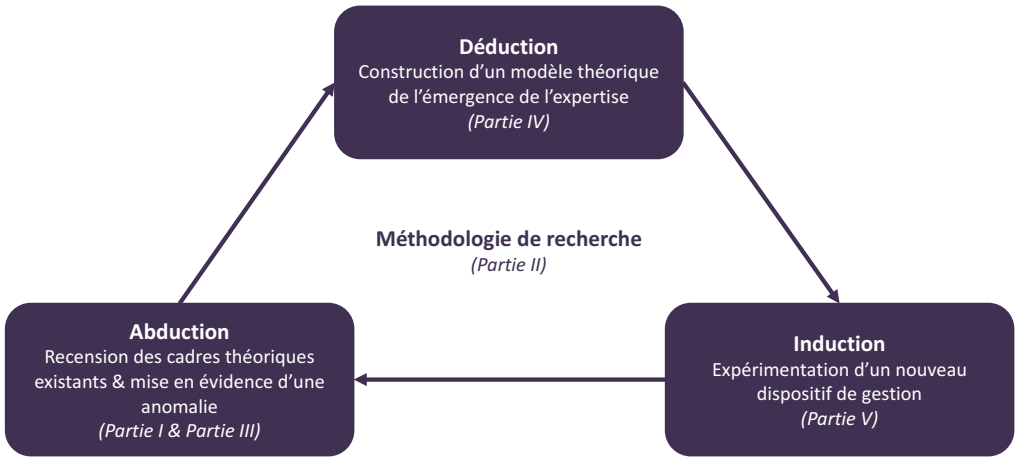


Figure 20 : Représentation de l'itinéraire de recherche selon le processus abduction / déduction / induction

3. Schema general du parcours de recherche

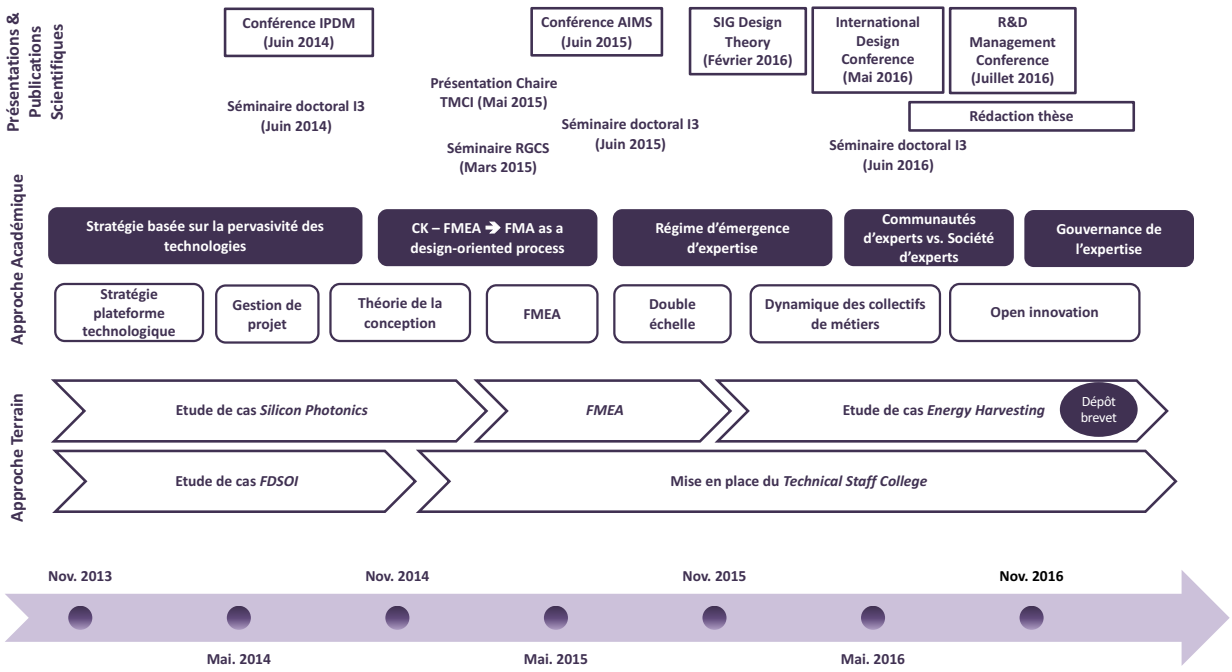


Figure 21 : Schéma général du parcours de recherche

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 4

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthodologie et l'itinéraire de recherche utilisés dans cette thèse. La recherche a été conduite dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) à STMicroelectronics de novembre 2013 à novembre 2016. Ainsi, en tant que chercheur en sciences de gestion, tout en étant salarié de l'entreprise qui constitue notre terrain de recherche, nous sommes dans une position de *« chercheur-acteur »* (Lallé, 2004). D'autre part, en nous basant sur la typologie proposée par David (2000), notre travail de recherche peut être qualifié de **recherche-intervention** car notre objectif est de contribuer à transformer le système organisationnel à partir d'un projet concret de transformation plus ou moins complètement défini. Ainsi, **notre ambition est de produire des connaissances à la fois scientifiques et utiles à l'action.**

La majorité des données ont été recueillies au sein de STMicroelectronics et cela a été rendu possible par notre interaction directe sur le terrain. Lors de notre recherche, nous avons mobilisé plusieurs types de données indispensables pour les démarches qualitatives : données *« froides »* (documentations internes, organigrammes, roadmaps technologiques, documentations administratives, documentations techniques, base de brevets, manuscrits de thèses, publications scientifiques (conférences et journaux), sites internet, intranet, comptes rendus de réunions, etc.) et données *« chaudes »* (observation participante (réunions d'équipe hebdomadaires, réunions mensuelles *working group expertise management*), observation non-participante lors de réunions et de séminaires, questionnaires et entretiens semi-directifs avec les principaux responsables et acteurs en charge de la gestion des experts et de l'expertise chez STMicroelectronics).

Enfin, notre itinéraire de recherche se base sur un processus récursif mobilisant trois niveaux de raisonnement scientifique : *abduction / déduction / induction.* Ainsi, notre recherche s'est déroulé selon trois étapes : une phase d'abduction pour analyser les cadres théoriques (*Partie I*) et relever une anomalie (*Partie III*), une phase déductive de modélisation des mécanismes d'émergence de l'expertise (*Partie IV*) et une phase inductive pour tester de nouveaux dispositifs de gestion (*Partie V*). La *Partie II* de cette thèse est dédiée à la présentation de la méthodologie de recherche et du terrain de recherche.

CHAPITRE 5 – PRESENTATION DU TERRAIN DE RECHERCHE & JUSTIFICATION DU CARACTERE EXTREME DU CAS

Chapitre 5 – Présentation du terrain de recherche & justification du caractère extrême du cas 123

1. Présentation de l'industrie des semi-conducteurs 125

1.1. Un secteur industriel clé de l'économie mondiale 126

1.2. Typologie des acteurs industriels 129

1.3. Limites & défis de l'industrie des semi-conducteurs 130

2. Processus de développement et de fabrication des circuits intégrés 133

2.1. Les principales étapes de fabrication des produits semi-conducteurs 134

2.2. Caractéristique de la phase *« Front-end »* 135

2.3. Modèle conceptuel des moyens de fabrication 135

3. STMicroelectonics : un cas extrême pour penser la relation entre expertise & innovation 137

3.1. Présentation de STMicroelectronics 137

3.2. Le site de crolles 139

3.3. STMicroelectronics : une entreprise industrielle où les tensions entre expertise et innovation sont maximales 140

4. Synthèse du chapitre 5 142

L'industrie des semi-conducteurs est peut-être le secteur industriel qui illustre le plus la relation d'interdépendance entre innovation et expertise. Depuis l'invention du transistor par Shockley, Bardeen et Brattain en 1947 (scientifiques des Bell Labs) et qui reçurent le prix Nobel de physique en 1956, puis l'invention du premier circuit intégré en 1959, jusqu'à l'émergence d'une multitude de composants électroniques utilisés dans tous les objets du quotidien, l'industrie des semi-conducteurs est devenue l'un des premiers moteurs de croissance et est largement considérée comme la base de la « nouvelle économie »[27]. Ce succès résulte en partie du renouvellement important des innovations technologiques, des investissements en R&D et de la mise en place de réseaux de partenaires pour le développement de nouvelles technologies. Dans l'industrie des semi-conducteurs le potentiel d'innovation est directement relié aux expertises techniques et scientifiques sur lesquelles se base le positionnement des firmes. C'est ainsi que d'importantes avancées scientifiques ont été réalisées au sein des entreprises de ce secteur. De nombreux chercheurs et scientifiques des Bell Labs (centre de R&D d'AT&T) et d'IBM sont internationalement reconnus pour des contributions scientifiques majeures. Cinq chercheurs d'IBM ont reçu le prix Nobel de physique (1973, 1986, 1987) et les Bell Labs ont obtenu pas moins de huit prix Nobel. Ces avancées scientifiques ne se limitent pas à la deuxième période du 20ème siècle, en 2009 deux scientifiques des Bell Labs, Willard Boyle et George E. Smith reçurent le prix Nobel de physique en 2009 pour l'invention d'un circuit semi-conducteur à imagerie, le capteur CCD[28]. D'autre part, l'industrie des semi-conducteurs s'illustre aussi par l'importance des investissements en R&D, représentant en moyenne plus de 16% du chiffre d'affaires des entreprises du secteur. Ce ratio R&D/chiffre d'affaires est l'un des plus importants en comparaison avec d'autres secteurs industriels : loin devant l'aéronautique et la défense (environ 8%), l'automobile (environ 5%) et l'industrie pharmaceutique (environ 15%) (Bozotti & Bühner, 2005). En 2015, Intel, leader mondial de l'industrie des semi-conducteurs réalisait un chiffre d'affaires de plus de 50 milliards et investissait plus 12 milliards en R&D, soit un ratio de 24%. De son côté, STMicroelectronics réalisait plus de 6 milliards de chiffre d'affaires et investissait plus 1,4 milliard en R&D, soit un ratio de 20,6% [Figure 22].

[27] La nouvelle économie désigne la croissance que connaît l'économie depuis l'émergence et l'utilisation des nouvelles technologies.

[28] *Charge-coupled device*. Composant électronique photosensible servant à convertir un rayonnement électromagnétique en un signal électrique analogique.

2013 Rank	2012 Rank	Company	Region/ Country	Type	2012 Sales ($M)	2012 R&D ($M)	R&D/ Sales	2013 Sales ($M)	2013 R&D ($M)	R&D/ Sales	13/12 R&D
1	1	Intel	Americas	IDM	49,114	10,148	21%	48,321	10,611	22%	5%
2	3	Qualcomm	Americas	Fabless	13,177	2,655	20%	17,211	3,395	20%	28%
3	2	Samsung	South Korea	IDM	32,251	2,765	9%	34,378	2,820	8%	2%
4	5	Broadcom	Americas	Fabless	7,793	2,318	30%	8,219	2,486	30%	7%
5	4	ST	Europe	IDM	8,364	2,413	29%	8,044	1,816	23%	-25%
7	9	TSMC	Taiwan	Foundry	16,951	1,370	8%	19,850	1,623	8%	18%
6	8	Toshiba	Japan	IDM	11,217	1,710	15%	11,958	1,560	13%	-9%
8	7	TI	Americas	IDM	12,081	1,877	16%	11,475	1,522	13%	-19%
9	13	Micron	Americas	IDM	8,002	909	11%	14,433	1,487	10%	64%
10	6	Renesas	Japan	IDM	9,314	1,901	20%	7,975	1,343	17%	-29%
—	—	**Top 10 Total**	—		168,264	28,066	16.7%	181,864	28,663	15.8%	2%

Source: Company reports, IC Insights

2014 Rank	2013 Rank	Company	Region	IDM	FABLESS	FOUNDRY	2013 Semi Sales ($M)	2013 R&D Exp ($M)	2013 R&D/Sales (%)	2014 Semi Sales ($M)	2014 R&D Exp ($M)	2014 R&D/Sales (%)	2014/2013 % Change in R&D
1	1	Intel	Americas	•			48,321	10,611	22.0%	51,400	11,537	22.4%	9%
2	2	Qualcomm	Americas		•		17,211	3,395	19.7%	19,291	5,501	28.5%	62%
3	3	Samsung	Asia-Pac	•			34,378	2,820	8.2%	37,810	2,965	7.8%	5%
4	4	Broadcom	Americas		•		8,219	2,486	30.2%	8,428	2,373	28.2%	-5%
5	7	TSMC	Asia-Pac			•	19,935	1,623	8.1%	24,976	1,874	7.5%	15%
6	5	Toshiba	Japan	•			11,958	2,040	17.1%	11,040	1,820	16.5%	-11%
7	6	ST	Europe	•			8,014	1,816	22.7%	7,384	1,520	20.6%	-16%
8	9	Micron	Americas	•			14,294	1,487	10.4%	16,814	1,430	8.5%	-4%
9	14	MediaTek + MStar	Asia-Pac		•		5,723	1,110	19.4%	7,032	1,430	20.3%	29%
10	10	Nvidia	Americas		•		3,898	1,323	33.9%	4,348	1,362	31.3%	3%
		Top 10 Total					**171,951**	**28,711**	**16.7%**	**188,523**	**31,812**	**16.9%**	**11%**

Source: Company reports, IC Insights' *Strategic Reviews* database

2015 Rank	2014 Rank	Company	Region	IDM	FABLESS	FOUNDRY	2014 Semi Sales ($M)	2014 R&D Exp ($M)	2014 R&D/Sales (%)	2015 Semi Sales ($M)	2015 R&D Exp ($M)	2015 R&D/Sales (%)	2015/2014 % Change in R&D
1	1	Intel	Americas	•			51,400	11,537	22.4%	50,494	12,128	24.0%	5%
2	2	Qualcomm	Americas		•		19,291	3,695	19.2%	16,032	3,702	23.1%	0%
3	3	Samsung	Asia-Pac	•			37,810	2,965	7.8%	41,606	3,125	7.5%	5%
4	4	Broadcom	Americas		•		8,428	2,373	28.2%	8,421	2,105	25.0%	-11%
5	5	TSMC	Asia-Pac			•	24,975	1,874	7.5%	26,439	2,068	7.8%	10%
6	7	Micron	Americas	•			16,720	1,598	9.6%	14,816	1,695	11.4%	6%
7	6	Toshiba	Japan	•			11,040	1,853	16.8%	9,734	1,655	17.0%	-11%
8	9	MediaTek	Asia-Pac		•		7,032	1,430	20.3%	6,699	1,460	21.8%	2%
9	12	SK Hynix	Asia-Pac	•			16,286	1,340	8.2%	16,917	1,421	8.4%	6%
10	8	ST	Europe	•			7,384	1,520	20.6%	6,840	1,409	20.6%	-7%
		Top 10 Total					200,366	30,185	15.1%	197,998	30,768	15.5%	2%

Source: Company reports, IC Insights' *Strategic Reviews* database

Figure 22 : Classement des entreprises leaders de l'industrie des semi-conducteurs selon leurs chiffres d'affaires et leurs investissements en R&D (2012-2015)[29].

1. PRESENTATION DE L'INDUSTRIE DES SEMI-CONDUCTEURS

Le terme semi-conducteur désigne un matériau dont les propriétés de conduction sont intermédiaires entre les matériaux conducteurs et les matériaux isolants. Dans l'industrie des semi-

[29] Company reports, IC Insights' Strategic database.

conducteurs, le matériau le plus utilisé est le silicium. Ce matériau permet la fabrication des transistors, des circuits intégrés ou des puces électroniques et est à l'origine du terme Silicon Valley (la vallée du silicium). Le premier transistor fut inventé en 1956 et c'est en 1959 que Jack S. Kilby (1923-2005) conçu le premier circuit intégré, appelé aussi puce électronique [Figure 23]. La même année et de manière indépendante, un autre Américain de Fairchild Semiconductor, Robert Noyce surnommé *« le maire de la Silicon Valley »* et cofondateur de la société Intel en 1968 avec Gordon Moore et Andrew Grove, inventa le premier circuit intégré en silicium qui révolutionnera l'électronique. Une histoire et une description des principes techniques des composants de la microélectronique figure en annexe de cette thèse[30].

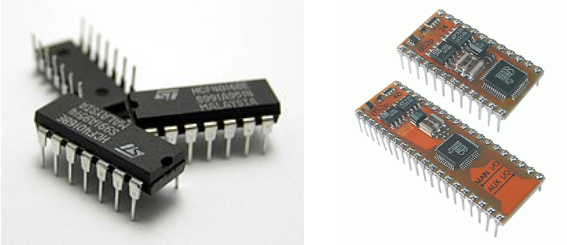


Figure 23 : Puces électroniques

1.1. Un secteur industriel cle de l'economie mondiale

Les composants électroniques (diode, transistor, circuit intégré, condensateur, résistance, etc.), conçus à partir de matériaux semi-conducteurs, sont des éléments qui ont vocation à être assemblés avec d'autres afin de réaliser une ou plusieurs fonctions électroniques (fonctions de saisie, de stockage, de transmission d'informations, de contrôle et commande, etc.). Ces composants sont au cœur de tous les équipements électriques et électroniques (téléphones, téléviseurs, équipements ménagers, automobile, internet des objets, aéronautique, etc.). En quarante ans, dans tous les secteurs économiques fournisseurs de biens matériels, la part de valeur issue des composants de l'industrie des semi-conducteurs dans les produits et équipements n'a cessé de croître. Entre 1985 et 1994, la valeur globale des entreprises du secteur a été multipliée par dix avec un taux de croissance annuel de 15% (Felk, 2011). Il est important de noter que la croissance de l'industrie des semi-conducteurs a longtemps été deux fois supérieure à celle de l'économie mondiale. Dans les années 2000, les composants électroniques agrégèrent plus de 20% de la valeur des équipements électriques ou électroniques, contre 7% en 1985 (Mallier, 2010). En 2015, le marché mondial des semi-conducteurs représente plus de 330 milliards de dollars [Figure 24].

[30] Cf. annexe : *Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor.*

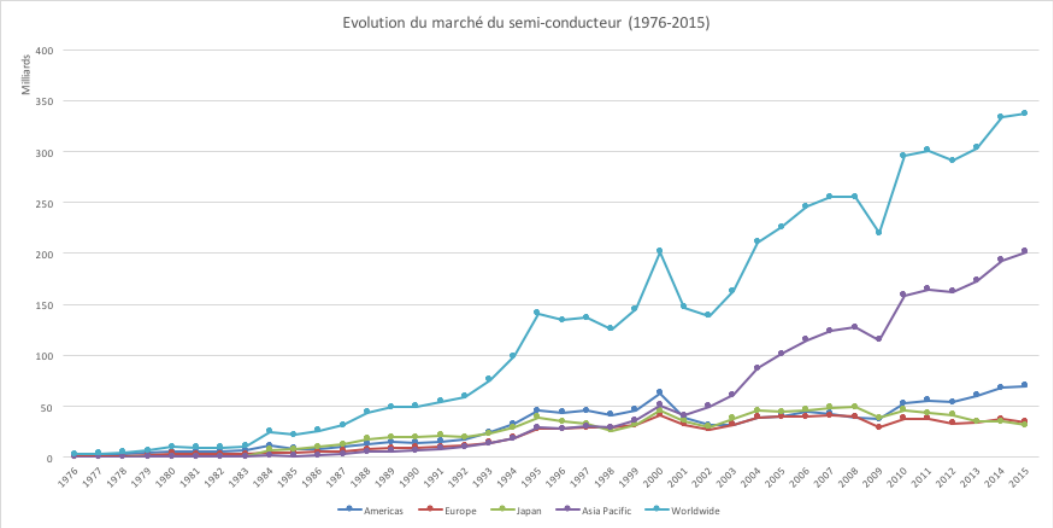


Figure 24 : Evolution du marché des semi-conducteurs (1976-2015)[31]

Sachant les besoins sociétaux en matière de maîtrise de l'énergie, de protection de l'environnement, de santé, de communication et de sécurité, cette tendance de croissance a de forte chance de se poursuivre, notamment par l'intermédiaire de la demande croissante en matière « *d'intelligence embarquée* » (internet des objets, objets intelligents, drones, capteurs autonomes, etc.).

Aujourd'hui, les composants électroniques sont utilisés dans une multitude de secteurs industriels pour des applications parfois très variées, parmi lesquelles l'aéronautique, le médicale, l'automobile, l'informatique et les télécommunications [Figure 25]. Selon Malier (2010), le nombre de composants livrés en 2009 représente environ 3,25 milliards d'unités par semaine.

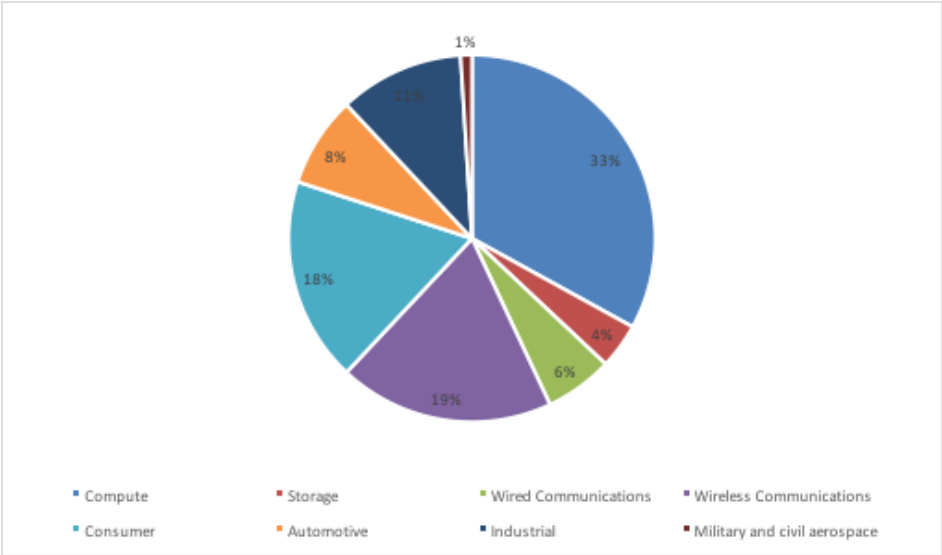


Figure 25: Marché mondial des semi-conducteurs selon le secteur industriel

[31] Semiconductor Industry Association : http://www.semiconductors.org/industry_statistics/

La croissance de cette industrie s'explique par le fait que le développement des composants électroniques est à l'origine d'un nombre important d'innovations dans les produits, systèmes et services d'un grand nombre de secteurs industriels. Aujourd'hui, aucun secteur industriel ne peut se passer de composants micro ou nanoélectroniques, capables d'introduire de nouvelles fonctions et applications. En 2012, une personne utilisait en moyenne 250 circuits électroniques par jour, soit 5 milliards de transistors par personne et par jour [Figure 26].

Figure 26 : Ubiquité de la microélectronique[32]

Cette ubiquité croissante de la micro ou nanoélectronique a été rendue possible par deux caractéristiques clés du secteur : *(1) l'intégration croissante de fonctions sur le support matériel que constitue un circuit intégré en silicium, avec un renouvellement rapide des produits et des technologies, (2) la réduction continue des coûts de production et des prix unitaires* (Malier, 2010).

Depuis les années 1960, la production des processeurs, des circuits intégrés spécifiques (ASIC) et des mémoires est essentiellement basée sur les technologies CMOS[33]. Le transistor MOS (composant électronique) et la technologie de conception de circuits intégrés CMOS ont largement dominé l'industrie de la microélectronique. Le transistor MOS a été breveté en 1933 par les laboratoires Bell aux Etats Unis, et fut disponible à la fabrication en 1960. En 1965, Gordon Moore (futur cofondateur de l'entreprise Intel) proposa pour la première fois une « loi », prédisant un doublement du nombre de transistors sur un circuit intégré tous les deux ans. Cependant, il est important de remarquer que cette évolution ne s'est pas réalisée de façon continue, mais par une succession de paliers ou de générations (nœuds technologiques), notamment défini par l'*International Technology Roadmap for Semiconductor* (ITRS). D'autre part, le passage d'un nœud technologique à un autre a principalement été motivé par la demande croissante en circuits intégrés puissants, denses et à faible consommation d'énergie. Cette réduction de la taille des transistors (« *scaling* ») est aussi le résultat d'une stratégie de recherche et de développement, organisée autour de la « loi de Moore » [Figure 27]. Cette « loi » devint donc un des éléments structurants de l'industrie du semi-conducteur, où la réduction des dimensions des dispositifs permettait d'améliorer les performances des circuits tout en réduisant le coût unitaire de production. En effet, si la miniaturisation permet

[32] STMicroelectronics, documentation interne.
[33] *Complementary Metal Oxyde Semiconductor* : technologie de fabrication de composants électroniques et, par extension, les composants fabriqués selon cette technologie.

l'augmentation des performances techniques, elle permet également la réduction de la surface de silicium nécessaire pour réaliser la fonction visée, diminuant ainsi les coûts de production. Ainsi, le modèle de croissance de cette industrie a principalement été piloté par des efforts en matière de miniaturisation.

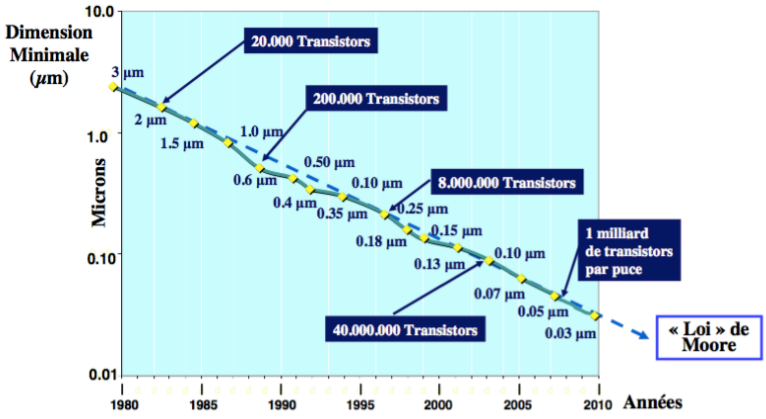


Figure 27 : loi de Moore et nombre de transistors par circuit intégré (Malier, 2010)

1.2. Typologie des acteurs industriels

Comme en témoigne le tableau du classement des entreprises leaders du secteur présenté en introduction, l'industrie des semi-conducteurs est en perpétuel mouvement. En effet, chaque année, ce classement est soumis à de profondes modifications. Dans les années 1990, six entreprises japonaises, trois américaines et une européenne composaient les dix plus importantes sociétés de l'industrie. En 2005, parmi les dix entreprises leaders de l'industrie, trois étaient américaines (Intel, Texas Instrument, Freescale), trois européennes (STMicroelectronics, Infineon, Philips Semiconductor), trois japonaises (Renesas Technology, Toshiba Semiconductor, NEC Semiconductor) et une coréenne (Samsung Semiconductors). Dix ans plus tard, en 2015, cinq étaient américaines (Intel, Texas Instrument, Micron Technology, Qualcomm, Broadcom), une était japonaise (Toshiba), deux européennes (STMicroelectronics et NXP) et deux coréennes (Samsung et SK Hynix)[34]. STMicroelectronics, le leader européen de l'industrie, est passé de la 5ème place en 2005 à la 10ème place en 2015. Dans son rapport pour l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, le sénateur Saunier (2008) souligne à juste titre qu'aucune situation n'est acquise à terme. En 1978, les Etats-Unis assuraient 55 % de la production mondiale de transistors et le Japon 30%. En 2000, cette proportion s'est considérablement modifiée. Les Etats-Unis ne fournissaient plus que 22% alors que le Japon atteignait 34%, puis 18% en 2007 pour les Etats-Unis et 25% pour le Japon. Quant à l'Europe, sa part dans la production mondiale est passée de 15% en 2000 à 11% en 2007. En 1985, les pays asiatiques (hors Japon) étaient quasiment absents du marché. En 2007, ces pays (Corée du Sud, Taïwan, Chine, etc.) produisent désormais 48% des transistors. En moins de dix ans, de 2000 à 2007, la part de la Chine dans la fabrication de semi-conducteurs est passée de 2% à 7% (Saunier, 2008).

[34] Source IHS Markit

Depuis les années 1960, les entreprises de l'industrie des semi-conducteurs se sont développées selon un modèle d'intégration verticale totale. Ces entreprises, parmi lesquelles Intel, STMicroelectronics, et Samsung Semiconductors, sont appelées IDM (Integrated Devices Manufacturer). Elles réalisent l'ensemble des étapes de conception et de fabrication des puces et assurent la R&D des plateformes technologiques et des produits, la fabrication des équipements, le design complet des architectures, les tests, la production, le packaging des puces et la vente des circuits intégrés. A partir des années 1980, l'explosion des coûts de développement des technologies a remis en cause le modèle de l'intégration verticale et a fait apparaître deux nouveaux types d'entreprises : les fabless et les fonderies.

Les fabless (sans usines, sans unité de fabrication) sont des organisations qui ne possèdent pas de capacité de production. Elles sont focalisées sur les activités les plus rentables et les moins mobilisatrices en capitaux. Ainsi, elles sont spécialisées dans les conceptions et la vente de puces électroniques. La conception des plateformes technologiques et la fabrication des puces sont sous-traitées à des entreprises dont la spécialité est la fabrication en volume de semi-conducteurs (les fonderies) ou à des entreprises intégrées. Qualcomm et AMD sont des fabless.

Les fonderies, par exemple TSMC, Globalfoundries et UMC, sont des entreprises dont l'activité est exclusivement basée sur la fabrication en volume de circuits-intégrés à partir de plateformes technologiques de semi-conducteurs. Elles réalisent la fabrication et la production des puces électroniques pour d'autres firmes, notamment pour les fabless.

En introduction, nous avons souligné que les investissements en R&D dans les entreprises de l'industrie des semi-conducteurs représentaient en moyenne entre 15% et 20% de leur chiffre d'affaires. Si ce chiffre est particulièrement important en comparaison avec d'autres secteurs industriels, il est néanmoins parfois insuffisant pour soutenir les coûts de développement des technologies les plus avancées (environ 1 milliard de dollars pour le nœud technologique 32 nm). Ainsi, certaines entreprises du secteur s'allient avec d'autres entreprises du secteur par l'intermédiaire de coopérations de R&D dites « précompétitives ». Ces coopérations prennent la forme de consortia temporaires ou d'alliance sur des projets particuliers, notamment afin de partager les investissements et les risques. Par exemple, de 2002 à 2007, STMicroelectronics, NXP et Freescale ont créé l'alliance Crolles 2 afin de développer en collaboration les générations CMOS 90 nm, 65 nm et 45 nm. Par ailleurs, cette alliance a permis la construction d'une nouvelle unité de fabrication 300 mm[35], dans une salle blanche de 10 000 m² à Crolles, en Isère.

1.3. Limites & defis de l'industrie des semi-conducteurs

Premièrement, la course à la miniaturisation des transistors implique la maîtrise de procédés de fabrication à l'échelle nanométrique de plus en plus complexe, et une maîtrise de plus en plus difficile de la défectivité liée aux milliards de transistors qui composent les composants. Ainsi, la stratégie basée sur la miniaturisation des transistors se retrouve confrontée à des difficultés et des limites techniques et scientifiques. Les principales limites techniques sont principalement liées aux techniques et procédés

[35] Diamètre des wafers de semi-conducteurs.

employés pour la réalisation de circuits intégrés (notamment la lithographie), à la dissipation thermique, à la sensibilité des transistors aux variations des procédés de fabrication et à la perturbation des performances des transistors en raison des effets quantiques et de la complexité des architectures (notamment, les interconnexions, la consommation d'énergie, les effets canaux courts, les résistances en série, les courants de fuites de grille et la déplétion de grille)[36].

Deuxièmement, face à la multiplication des défis scientifiques et techniques, l'industrie des semi-conducteurs fait face à explosion des coûts de R&D, de conception, de développement et de fabrication pour suivre le rythme de succession des différentes générations de technologies. Alors que le nœud technologique 90 nm a couté environ 500 millions de dollars, l'investissement nécessaire pour le nœud technologique 32 nm est de l'ordre de 1 milliard de dollars. Saunier (2008) souligne que les coûts progressent d'environ 30% par nœud technologique. D'autre part, les coûts liés à la conception des circuits intégrés augmentent aussi de façon importante, de l'ordre de 50 % pour chaque nouvelle génération technologique (Saunier, 2008). Enfin, le coût des unités de production est lui aussi en augmentation. Entre 2005 et 2008, ce coût a doublé, passant de 1,5 à 3 milliards de dollars. Cette augmentation s'explique en partie par la sophistication croissante des usines de production. Ces usines, appelée salles blanches, doivent impérativement être propres afin d'éliminer toute possibilité de contamination des matériaux semi-conducteurs. Dans une salle blanche, la température, l'humidité et la pression sont particulièrement contrôlées et maintenues à un niveau précis. A l'intérieur d'une salle blanche, l'air ambiant contient jusqu'à un million de fois moins de poussières que l'air extérieur. Il est filtré et entièrement renouvelé environ dix fois par minute. D'autre part, la miniaturisation des composants nécessite l'utilisation d'équipements et de machines de plus en plus sophistiqués et complexes à concevoir. Leurs prix tendent ainsi à augmenter. La figure ci-dessous [Figure 28] illustre l'évolution des investissements liés aux équipements de photolithographie en fonction des différents nœuds technologiques (Felk, 2011). En vingt ans, les coûts ont été multipliés par cent.

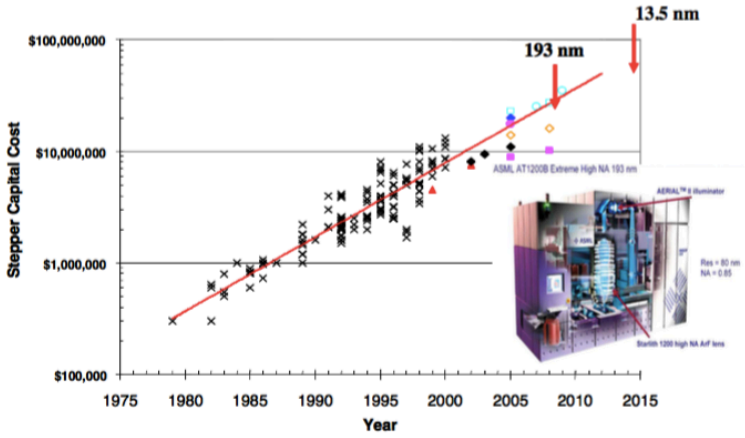


Figure 28 : Evolution des coûts d'équipements de photolithographie en fonction des nœuds technologiques

[36] Pour plus de précision, cf. annexe : *Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor.*

Enfin, l'industrie des semi-conducteurs est soumise à un rythme de renouvellement technologique extrêmement rapide. Les investissements sont donc rapidement obsolètes et doivent être adaptés aux besoins des nouvelles technologies (Malier, 2010). Dans certains secteurs, parmi lesquels l'automobile, la téléphonie mobile, la photographie numérique, l'internet des objets et plus généralement tout l'électronique grand public, le cycle de vie des produits se raccourcit. Par exemple, les gammes des smartphones évoluent tous les six mois avec un rythme élevé de nouvelles applications. Par conséquent, les industriels des semi-conducteurs sont donc soumis à des pressions très fortes en matière de délai, de *time to market* et de développement de nouvelles technologies, tout en devant être capable d'augmenter rapidement les volumes de production.

Face à ces limites d'ordre technologique et économique, dans les années 1990, les industriels du secteur ont cherché à imaginer « *l'après CMOS* », notamment par l'intermédiaire de l'ITRS[37]. Trois voies de recherche ont été identifiée : *« More Moore »*, *« More than Moore »* et *« beyond CMOS »* [Figure 29].

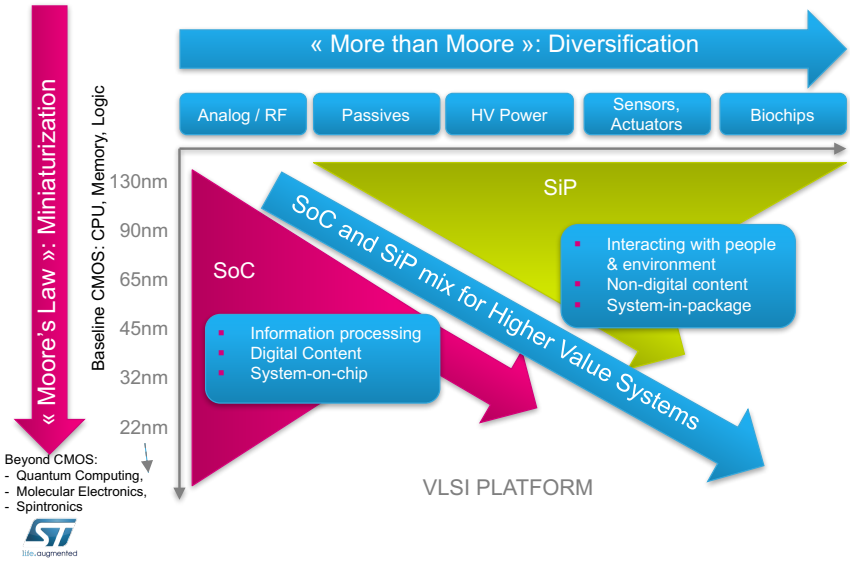


Figure 29 : Trois voies de recherche dans le secteur de la microélectronique[38]

La voie « More Moore » correspond à la poursuite de la miniaturisation des transistors. Cette stratégie est fondamentale car elle permet d'augmenter la performance des transistor[39]et d'abaisser le coût unitaire. D'autre part, la miniaturisation contribue à diminuer l'encombrement des objets tout en multipliant leurs fonctions. Dans la voie « More Moore », la recherche se focalise principalement sur des innovations au niveau des matériaux et des architectures des transistors.

La voie *« More than Moore »* correspond une diversification fonctionnelle. En effet, l'électronique ne se circonscrit pas des fonctions de calcul et de mémoire. La voie *« More than Moore »* se focalise sur la

[37] L'International Technology Roadmap for Semiconductor, créé en 1999, est un consortium regroupant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur de l'industrie des semi-conducteurs. Ce consortium a pour vocation de faciliter la coopération entre les différents acteurs du secteur en proposant des roadmaps technologiques et des agendas de réalisation.
[38] STMicroelectronics, documentation interne.
[39] Cf. annexe pour les explications et les détails techniques.

conception et le développement de systèmes hétérogènes complexes sur une puce et à l'ajout de fonctions non digitales (radiofréquence, les composants haute tension, l'électronique de l'éclairage et les chargeurs de batterie). Aujourd'hui, les principales « *technologies More than Moore* » sont les microsystèmes électromécaniques réalisant des fonctions de capteur/actionneur (MEMS et NEMS[40]), la récupération d'énergie pour l'internet des objets, les communications à faible puissance, la photonique sur silicium, l'optoélectronique et la micro-fluidique.

La voie *« beyond CMOS »* vise à anticiper la fin de la technologie CMOS[41] (conséquence des limites physiques et économiques détaillées précédemment). Cette voie privilégie l'exploration de nouvelles pistes de recherche, susceptible d'être moins coûteuses notamment en abandonnant l'architecture classique du transistor CMOS et ses techniques de fabrication. Parmi les pistes envisagées, on peut noter les transistors à nanotube de carbone, la photonique, la spintronique, l'électronique quantique ou encore l'électronique moléculaire.

2. PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT ET DE FABRICATION DES CIRCUITS INTEGRES

Le développement et la fabrication des circuits intégrés, illustrés par la figure ci-dessous [Figure 30], sont un processus complexe nécessitant une variété d'expertise différente. Chaque circuit intégré est composé de plusieurs millions de composants de base (transistors, résistances, capacités, etc.) dont la taille est nanométrique. A partir de l'intégration de ces divers composants, les circuits intégrés réalisent plusieurs fonctions. La fabrication de ces éléments de base détermine la façon dont sont fabriqués les circuits intégrés. Ainsi, la fabrication des circuits intégrés est directement reliée à la fabrication de ces composants élémentaires ainsi que leurs interconnexions. Le processus de fabrication d'un circuit intégré correspond à l'assemblage des composants élémentaires avec leurs interconnexions. La génération des composants du circuit se fait par dépôts et retraits sélectifs de matériaux semi-conducteurs, principalement du silicium. Les circuits sont obtenus par l'utilisation de procédés optiques (photolithographie) et de gravures physico-chimiques. Les connexions entre composants sont réalisées par l'intermédiaire de couches métalliques.

[40] Micro/Nano Electro Mechanical System.
[41] La description de la technologie CMOS figure en annexe.

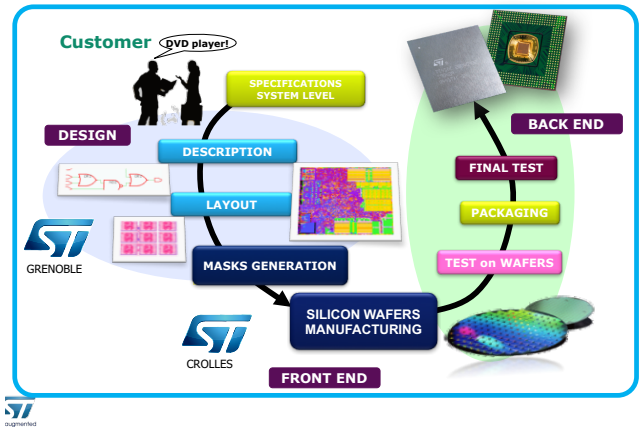


Figure 30 : Processus de développement et de fabrication des circuits intégrés[42]

2.1. Les principales etapes de fabrication des produits semi-conducteurs

A partir de spécifications fonctionnelles et techniques, le processus de développement commence par une phase de conception assistée par ordinateur (CAO) pendant laquelle des outils de simulation sont utilisés pour concevoir les briques fonctionnelles nécessaires à la fabrication du circuit (phase *design* sur la figure ci-dessous). Les outils de CAO permettent d'évaluer la description électrique de ces briques fonctionnelles et de transformer le *« design »* en architecture produit (*Layout*) afin de générer les masques nécessaires aux différentes étapes de la fabrication (Said et al., 2016). Après la phase de *« Design »*, les circuits intégrés sont fabriqués sur la surface de plaquettes de silicium (appelées wafer) de diamètre 200 mm ou 300 mm. Cette phase est appelée *« Front-end »*. Puis, les circuits conçus sur les wafers sont testés, découpés et les puces individualisées sont assemblées dans des boitiers (packaging). Cette phase est appelée *« Back-end »*. Enfin, les circuits sont à nouveau testés avant d'être livrés aux clients. La figure ci-dessous [Figure 31] illustre les différentes étapes de fabrication des produits semi-conducteurs.

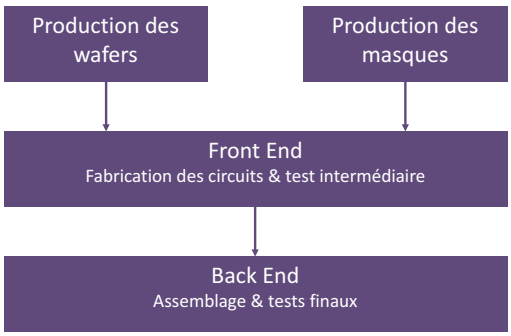


Figure 31 : Différentes étapes de fabrication des produits semi-conducteurs

[42] STMicroelectronics, documentation interne.

2.2. CARACTERISTIQUE DE LA PHASE « *FRONT-END* »

La fabrication des circuits intégrés est réalisée à partir de wafer de silicium [Figure 32]. A partir d'un barreau de silicium (1), on obtient des wafers (2) qui serviront de support à la fabrication des circuits. Le processus de fabrication se poursuit à travers une série d'opérations de dépôts de films isolants, conducteurs ou photosensibles (3), d'opération de lithographie (4), de gravure, de dopage, d'isolation (5,6,7) et d'interconnexion (8). Les puces sont enfin découpées (9) et assemblées dans des boitiers (Mili, 2009).

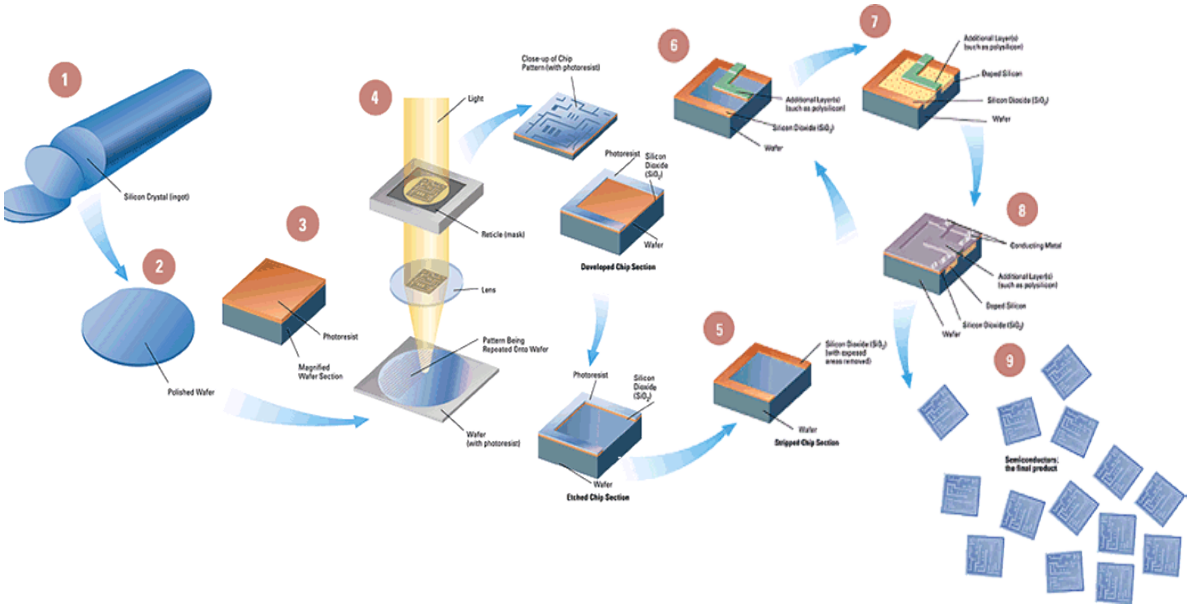


Figure 32 : Processus de fabrication des circuits électroniques

2.3. MODELE CONCEPTUEL DES MOYENS DE FABRICATION

Dans l'industrie des semi-conducteurs, une technologie désigne un type de composant de base d'un circuit intégré. Une technologie de fabrication désigne un processus de fabrication. Les technologies de semi-conducteurs sont définies selon leurs générations. Chaque génération (CMOS120, CMOS090, CMOS065 par exemple) repose sur une gamme conceptuelle de fabrication appelée *« process flow »*. A partir d'une gamme, plusieurs variantes existes afin d'élargir le spectre des applications possibles. Pour une technologie donnée, il est possible de fabriquer une variété importante de produits. Ainsi, la fabrication d'un produit repose sur la maîtrise de la fabrication de la technologie à partir de laquelle il est construit. Les produits conçus à partir d'une même technologie diffèrent les uns des autres par les masques de photolithographie qui définissent les motifs des circuits intégrés.

Une gamme de fabrication d'une technologie (*« process flow »)* comporte en moyenne plus de 250 opérations (Shon-Roy et al., 1998). Ces étapes structurent l'organisation des différents ateliers de la fab[43], parmi lesquels la photolithographie, l'implantation ionique (IMP), les dépôts de films minces (CVD), les

[43] Usine de production de semiconducteurs.

dépôts métalliques, les gravures physico-chimiques par plasma, les traitements thermiques (TT), les opérations de nettoyage et de gravure humide (WET) et le polissage mécano-chimique (CMP). La maîtrise d'une gamme de fabrication nécessite un ensemble d'expertises scientifiques et techniques de haut niveau. En effet, comme le souligne Bassetto (2005), produire ces circuits à l'échelle industrielle c'est pouvoir garantir une répétitivité des opérations de fabrication tout en garantissant une spécification à +/- 1 Å[44]. Dans la fab de STMicroelectronics du site de Crolles (Isère), la fabrication en volume représente environ la production de 1 800 wafers par semaine et 218 machines réparties sur plus de 70 familles d'équipements différentes. Chaque technologie repose généralement sur une même structure et diffère essentiellement sur la taille des transistors, les matériaux utilisés, l'architecture des composants et la gamme de fabrication.

D'un point de vue conceptuel, l'architecture d'une technologie est constituée de modules et chaque module est réalisé par différentes opérations de fabrication [Figure 33]. L'ensemble des opérations constitue la gamme conceptuelle de fabrication *(« process flow »)*. Chaque opération de la gamme est réalisée par une ou plusieurs gammes opératoires appelées recettes. Chaque opération est associée à une *« carte de visite »*, qui correspond à une information permettant de faire le lien entre les technologies et les machines de fabrication. Chaque machine peut effectuer plusieurs recettes. Une recette peut être appliquée sur plusieurs machines.

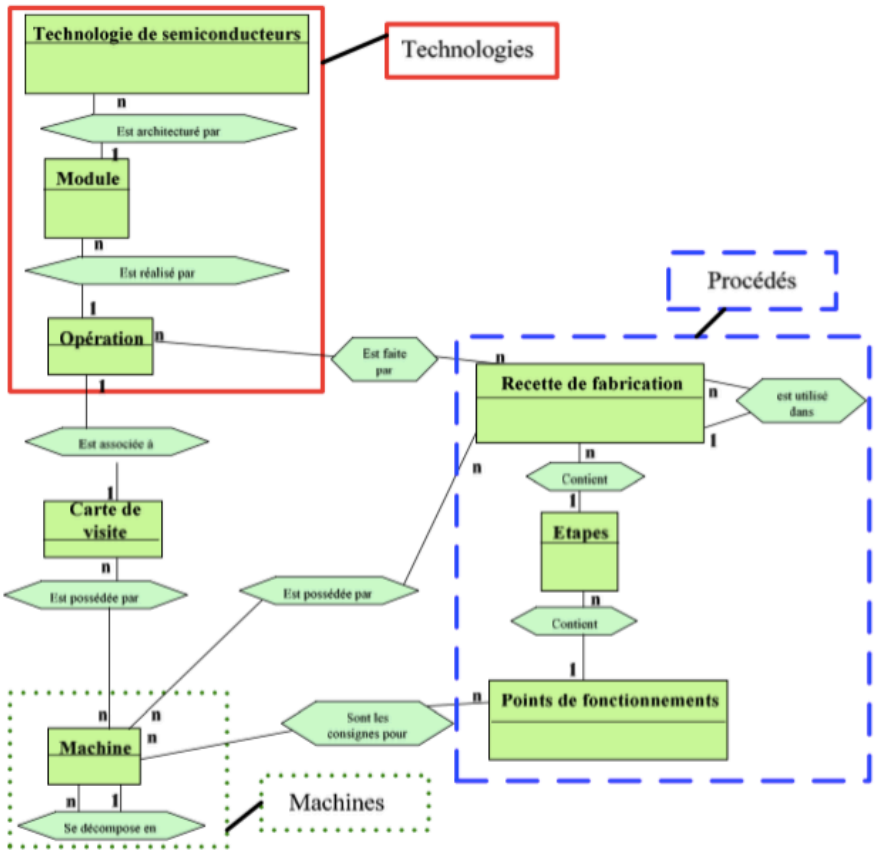


Figure 33 : Modèle conceptuel des moyens de production des semi-conducteurs (Bassetto, 2005)

[44] Un ångström est une unité de longueur valant 0,1 nanomètre, soit 10^{-10} mètre.

3. STMICROELECTONICS : UN CAS EXTREME POUR PENSER LA RELATION ENTRE EXPERTISE & INNOVATION

Les défis et challenges concernant les relations entre expertise et innovation forment un large ensemble de questions de recherche qu'il est difficile d'étudier pour l'ensemble des secteurs industriels. D'autre part, nous formulons l'hypothèse selon laquelle la situation industrielle, la nature des produits et des technologies à concevoir, la complexité des expertises techniques et scientifiques mobilisées dans les situations de conception, déterminent la nature des activités de conception et d'innovation ainsi que l'ensemble des structures organisationnelles. Ainsi, nous choisissons d'inscrire notre recherche dans un contexte particulier où les tensions entre expertise et innovation sont maximales : l'industrie des semi-conducteurs. Nous avons décidé de nous intéresser plus particulièrement à l'entreprise STMicroelectronics. Ce choix est naturel dans la mesure où STMicroelectronics est une société européenne (franco-italienne) et l'un des principaux leaders européens et mondiaux de l'industrie des semi-conducteurs. De plus, l'entreprise STMicroelectronics a été retenue en raison de sa forte activité de R&D (plus de 1,5 milliard de dollars d'investissement en R&D[45]), de son haut niveau d'expertise (plus de 480 experts scientifiques et techniques reconnus internationalement), de sa capacité à mener des stratégies d'innovation technologiques et pour son aptitude à inventer de nouveaux modèles de gestion (Felk, 2011 ; Kokshagina, 2014).

3.1. PRESENTATION DE STMICROELECTRONICS

Avec un chiffre d'affaires de 6,9 milliards de dollars (2015), STMicroelectronics fait partie des leaders mondiaux de l'industrie des semi-conducteurs au côté d'Intel, Samsung et TSMC. En 2015, STMicroelectronics comptait environ 43 200 employés (dont 8 300 en R&D) et l'entreprise revendiquait un portefeuille de plus de 15 000 brevets. La famille des produits proposés par ST s'étend des circuits analogiques et intégrés, aux applications télécoms, en passant par les microcontrôleurs et les circuits linéaires et discrets (redresseurs, transistors de puissance, circuits intégrés logiques, etc.). Ces produits sont principalement destinés aux applications automobiles et à l'internet des objets [Figure 34].

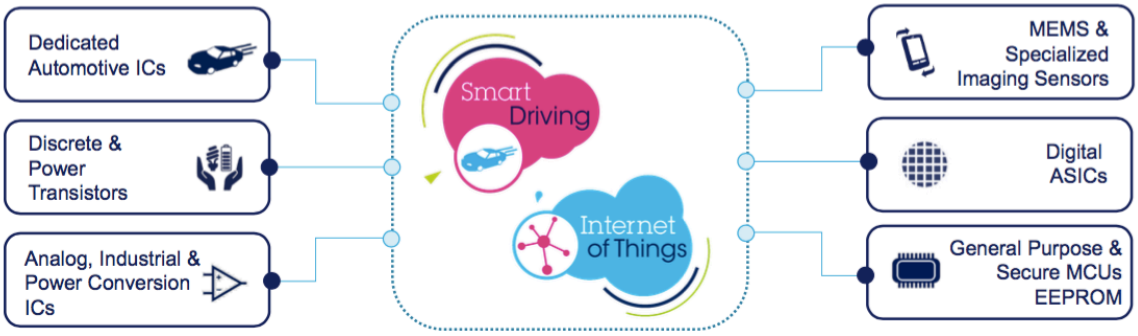


Figure 34 : Applications & familles de produits de STMicroelectronics

[45] Company reports, IC Insights' Strategic database.

STMicroelectronics possède 11 sites de productions et 75 bureaux de vente et de marketing à travers le monde. En France, ST compte environ 11 518 employés répartis sur 9 sites[46], dont trois sont dédiés à la production *« front-end »* (Crolles, Tours et Rousset) [Figure 35].

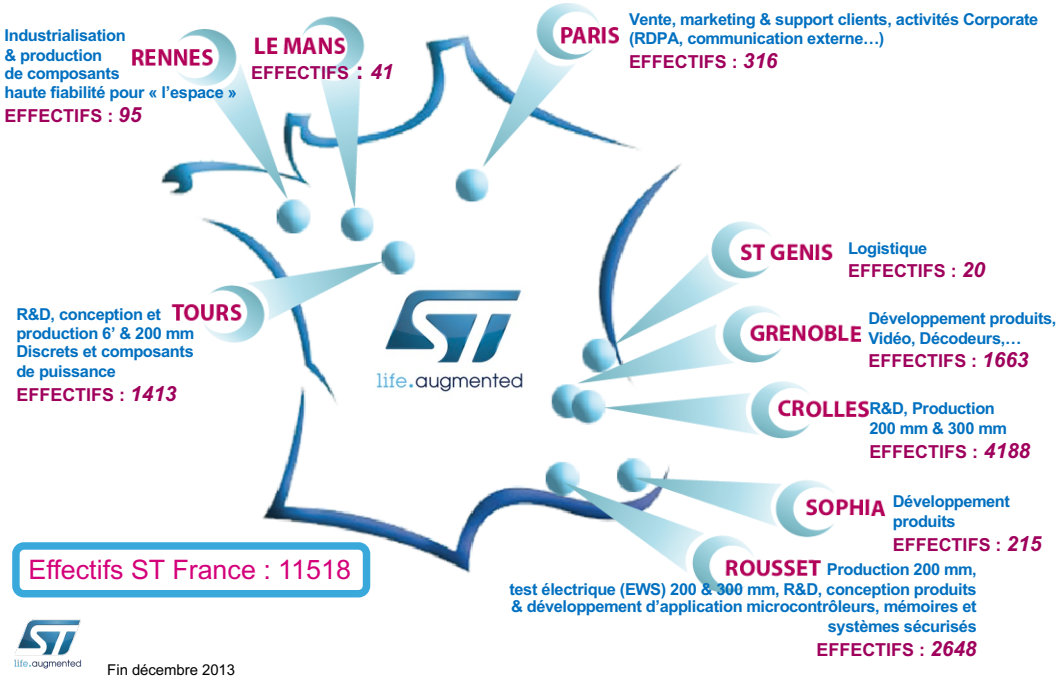


Figure 35 : Principaux site de ST en France

L'organisation de ST est divisée en quatre principales branches : la branche *Technology & Manufacturing*, en charge du développement et de la conception des technologies ainsi que de la fabrication des produits, la banche *Product Groups* en charge du développement et de la conception des produits, la banche *Sales & Marketing* et enfin la branche regroupant les fonctions supports [Figure 36].

[46] D'après les chiffres de 2013.

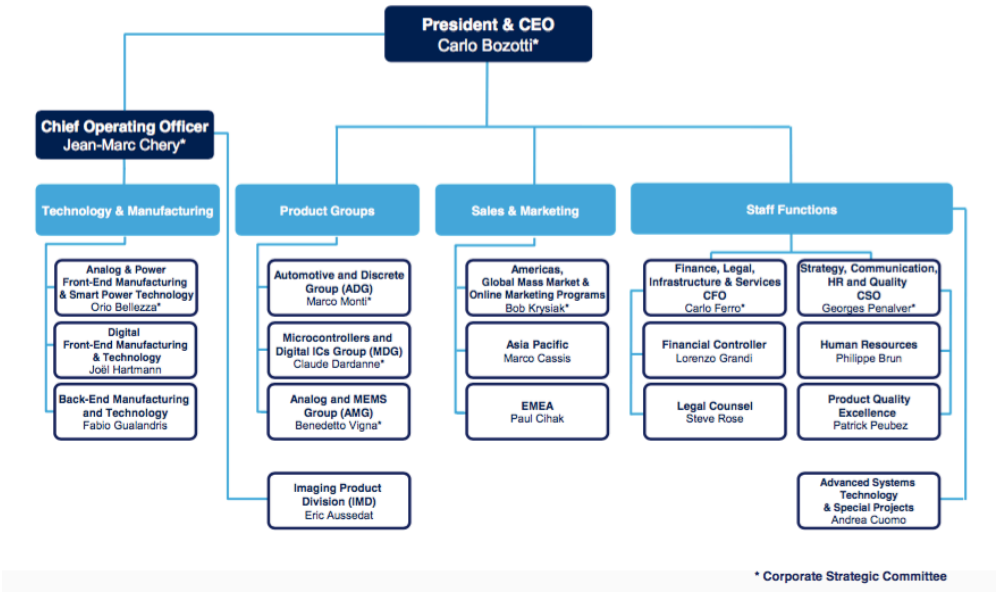


Figure 36 : Organisation de STMicroelectronics

Dans cette thèse, nous nous sommes principalement intéressés à la partie *Digital Front-End Manufacturing & Technology* de la branche *Technology & Manufacturing*, basée sur le site industriel de Crolles (Isère), près de Grenoble.

3.2. Le site de Crolles

Le site industriel de Crolles a été créé en 1990 pour le développement de technologies avancées et la fabrication de circuits intégrés de haute complexité sur des wafers de 200 mm. La fab, baptisée Crolles 1, fut opérationnelle en 1992 puis agrandie en 1997. Le site de Crolles regroupe les activités de recherche et développement ainsi que l'usine de fabrication. En 2002, suite à l'alliance Crolles 2 regroupant STMicroelectronics, NXP et Freescale, une nouvelle fab fut construite pour la conception de technologies avancées ainsi que la fabrication de circuits intégrés sur des wafers de 300 mm. Si le site de Crolles est un site dédié à la production, il est aussi l'un des plus important centre de R&D de ST ayant pour mission de concevoir les technologies de semi-conducteurs du futur. C'est notamment sur ce site que sont développés les technologies les plus en pointe du secteur, notamment la technologie FDSOI et la photonique sur silicium[47].

Le site industriel de Crolle compte plus de 4 000 salariés, dont environ la moitié est dédiée aux activités de R&D. Le développement des projets de R&D s'effectue en coopération avec 37 laboratoires de recherche en France, dont 16 sont localisés en Rhône-Alpes ainsi qu'une dizaine d'industriels du secteur [Figure 37]. Sur le site de Crolles, plus de 90 experts techniques et scientifiques et plus de 140 doctorants sont en charge de concevoir et de développer les technologies de demain.

[47] Ces technologies sont détaillées dans la suite de ce manuscrit.

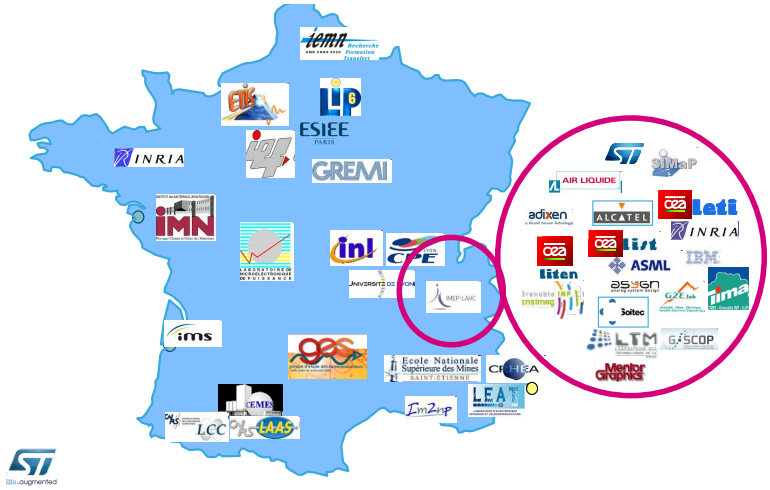


Figure 37 : Coopérations avec la recherche publique

3.3. STMICROELECTRONICS : UNE ENTREPRISE INDUSTRIELLE OU LES TENSIONS ENTRE EXPERTISE ET INNOVATION SONT MAXIMALES

Notre recherche a pour objectif d'étudier les formes de gouvernance d'expertise pour l'innovation de rupture. Ainsi, nous choisissons d'inscrire notre recherche dans un contexte particulier où les tensions entre expertise et innovation sont maximales. C'est ainsi que nous avons choisi le secteur industriel des semi-conducteurs. Plusieurs raisons nous ont poussé à ce choix :

- Les caractéristiques intrinsèques de ce secteur : très haut niveau d'expertise technique et scientifique, grande variété d'expertise nécessaire à la conception des produits semi-conducteurs, importance des activités de recherche scientifique, importance des investissements en R&D.
- La complexité des produits et des technologies : contraintes scientifiques et techniques, contraintes d'intégration et d'architecture, nombre de technologies, nombre d'opérations dans la gamme de fabrication, interdépendance entre différents champs d'expertise.
- Aptitude des entreprises du secteur à inventer de nouveaux modèles de gestion (Simon-Lee, 2011 ; Felk, 2011 ; Kokshagina, 2014).
- L'intensité et le rythme de l'innovation dans le secteur des semi-conducteurs : ruptures technologiques et renouvellement rapide des produits et technologies.
- Les défis en termes d'innovation technologique : *« More Moore »*, *« More than Moore » et « beyond CMOS »*.
- Le réseau des acteurs mobilisés : nombre et variété des acteurs mobilisés dans la conception, extension du réseau industriel, variété des typologies d'acteur, (IDM, fabless, fonderies).

Notre recherche a débuté fin 2013 chez STMicroelectronics à un moment critique. En effet, en 2012, STMicroelectronics présentait publiquement sa nouvelle technologie de transistor capable de remplacer les technologies classiques CMOS pour des nœuds technologiques inférieurs à 30 nm : la technologie FD-SOI 28 nm. La technologie FD-SOI, résultant d'une activité de R&D ayant débuté à la fin

des années 90 chez France Telecom puis poursuivie au sein du pôle technologique grenoblois regroupant principalement ST, le CEA-Leti et Soitec, marque une rupture majeure dans la poursuite de la miniaturisation des circuits électroniques. D'autre part, à la même période, STMicroelectronics s'engageait dans la conception d'une nouvelle plateforme technologique basée sur la photonique sur silicium. Enfin, les équipes de R&D continuaient à explorer de nouvelles ruptures technologiques notamment dans le champ de la récupération énergétique.

Ainsi, ce contexte nous semble particulièrement pertinent pour étudier le modèle de développement de nouvelles expertises, dont la dynamique est généralement perçue comme lente, où les connaissances, les savoirs et les savoir-faire se doivent d'être stabilisés, ordonnés et validés, alors même que le rythme d'innovation de l'industrie est extrêmement rapide et provoque sans cesse des ruptures technologies majeures.

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 5

Dans ce chapitre nous avons cherché à **justifier le choix de notre terrain de recherche en lien avec notre problématique de recherche.** Notre projet de recherche a pour objectif d'étudier les formes de gouvernance d'expertise pour l'innovation de rupture. Ainsi, **nous avons choisi d'inscrire notre recherche dans un contexte particulier où les tensions entre expertise et innovation sont maximales**. C'est ainsi que nous avons choisi le secteur industriel des semi-conducteurs. Plusieurs raisons nous ont poussé à ce choix :

- **Les caractéristiques intrinsèques de ce secteur :** très haut niveau d'expertise technique et scientifique, grande variété d'expertise nécessaire à la conception des produits semi-conducteurs, importance des activités de recherche scientifique, importance des investissements en R&D.
- **La complexité des produits et des technologies :** contraintes scientifiques et techniques, contraintes d'intégration et d'architecture, nombre de technologies, nombre d'opérations dans la gamme de fabrication, interdépendance entre différents champs d'expertise.
- Aptitude des entreprises du secteur à inventer de nouveaux modèles de gestion (Simon-Lee, 2011 ; Felk, 2011 ; Kokshagina, 2014).
- L'intensité et le rythme de l'innovation dans le secteur des semi-conducteurs : ruptures technologiques et renouvellement rapide des produits et technologies.
- **Les défis en termes d'innovation technologique :** *« More Moore »*, *« More than Moore » et « beyond CMOS »*.
- **Le réseau des acteurs mobilisés :** nombre et variété des acteurs mobilisés dans la conception, extension du réseau industriel, variété des typologies d'acteur (IDM, fabless, fonderies).

Nous avons décidé de nous intéresser plus particulièrement à l'entreprise STMicroelectronics. Ce choix est naturel dans la mesure où STMicroelectronics est une société européenne (franco-italienne) et l'un des principaux leaders européens et mondiaux de l'industrie des semi-conducteurs. De plus, l'entreprise STMicroelectronics a été retenue en raison de sa forte activité de R&D (plus de 1,5 milliard de dollars d'investissement en R&D), de son haut niveau d'expertise (plus de 480 experts scientifiques et techniques reconnus internationalement), de sa capacité à mener des stratégies d'innovation technologiques et pour son aptitude à inventer de nouveaux modèles de gestion.

Par ailleurs, ce chapitre, en lien avec l'annexe *Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor*, propose une présentation de l'industrie des semi-conducteurs ainsi qu'une description des processus de développement et de fabrication des technologies et produits semi-conducteurs.

Après avoir présenté notre méthodologie et notre terrain de recherche (Partie II), nous allons maintenant analyser empiriquement la nature des formes d'émergence de l'expertise ainsi que les différents modèles de gouvernance associés chez STMicroelectronics (Partie III).

PARTIE III. – MISE EN EVIDENCE D'UNE ANOMALIE CONCERNANT LES THEORIES DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

Partie III. – Mise en évidence d'une anomalie concernant les théories de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles 143

Chapitre 6 – Dispositifs de gestion des experts & dynamique des expertises chez STMicroelectronics 145

Chapitre 7 – Analyse empirique des formes d'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics 177

CHAPITRE 6 – DISPOSITIFS DE GESTION DES EXPERTS & DYNAMIQUE DES EXPERTISES CHEZ STMICROELECTRONICS

Chapitre 6 – Dispositifs de gestion des experts & dynamique des expertises chez STMicroelectronics 145

1. Gestion des experts chez STMicroelectronics 146

1.1. La double échelle chez STMicroelectronics 146

1.2. Les *Technical Advisory Committees* 148

1.3. La charte des experts 148

1.4. L'observatoire des métiers 149

1.5. Le réseau social d'entreprise spécialement destiné aux experts : *Technical Staff Website* 150

1.6. Constats concernant le modèle de gestion des experts chez STMicroelectronics 151

2. Des dispositifs de gestion semblables à l'ensembles des organisations industrielles 152

3. Analyse empirique de la gestion & de la dynamique des expertises : mise en évidence d'une anomalie 154

3.1. Orientation professionnelle, satisfaction & reconnaissance de l'expertise dans l'organisation 154

3.2. Coordination, action collective des experts & domaines d'expertise 156

3.3. Dynamique des expertises chez STMicroelectronics 163

3.4. Rôles des experts dans l'organisation & dans les processus d'innovation 168

4. Caractérisation de l'anomalie & principaux enseignements 174

5. Synthèse du chapitre 6 176

Ce chapitre a pour objectif principal de présenter la gestion des experts ainsi que la dynamique des expertises chez STMicroelectronics. Premièrement, nous présenterons l'ensemble des dispositifs de gestion utilisés par STMicroelectronics pour la gestion des experts et de l'expertise. Deuxièmement, nous montrerons que ces dispositifs organisationnels ne sont pas singuliers à STMicroelectronics. En effet, la plupart des entreprises industrielles, parmi lesquelles Renault, Safran et Schneider Electrics, ont adopté des dispositifs de gestion similaires, en particulier la double échelle. Enfin, à partir d'un questionnaire de satisfaction, d'entretiens semi-directifs et de l'analyse de données stratégiques (listes des expertises déclarées par les experts et listes des sujets de thèse CIFRE), nous avons cherché à confirmer ou infirmer les hypothèses qui sous-tendent les principaux modèles de gouvernance de l'expertise, que nous avons présenté dans le chapitre 3.

1. GESTION DES EXPERTS CHEZ STMICROELECTRONICS

STMicroelectronics (ST) compte plus de 480 experts techniques reconnus dans l'organisation. La gestion des experts chez ST s'effectue par l'intermédiaire d'une filière technique ayant pour vocation d'offrir un parcours de carrière spécialement dédié aux experts techniques. Cette filière technique a été introduite par les ressources humaines en 2011 et a pour objectif de reconnaître et de valoriser de façon équivalente les *« carrières scientifiques et techniques »* (filière technique) et les *« carrières managériales »* (filière management). Ainsi, à partir de 2011, ST a adopté le modèle de la double échelle comme principal dispositif de gestion des experts, afin notamment de reconnaître et de valoriser, sur un même plan, le niveau d'expertise technique et le niveau de responsabilités managériales. Ce dispositif de gestion a pour principale vocation de permettre la reconnaissance et la valorisation des experts techniques, d'offrir des perspectives d'évolution de carrière, d'éviter le départ des bons experts vers des fonctions managériales, de préserver et de développer l'expertise et d'instaurer l'équité entre les experts et les managers. Ce dispositif de gestion est essentiellement basé sur une logique de gestion individuelle des experts centrée sur le besoin de reconnaissance et de valorisation. En effet, la définition de l'expert chez ST est basée sur la définition proposée par la méthode Hay[48] : *« l'expert a une maîtrise complète des concepts, principes et pratiques acquis par une formation et une expérience approfondies dans un domaine particulier de connaissances »*. Cette définition met l'accent sur les aspects individuels de la personne (compétences et performances dans un domaine particulier). D'autre part, la filière technique s'appuie sur plusieurs dispositifs de gestion que nous allons détailler : la double échelle, un observatoire des métiers, la charte des experts, des *Technical Advisory Committees* et un réseau social d'entreprise spécialement destiné aux experts.

1.1. LA DOUBLE ECHELLE CHEZ STMICROELECTRONICS

Le dispositif de gestion de carrière chez ST se compose de trois filières distinctes : la filière management, la filière management de projet et la filière technique. La filière technique est composée de six niveaux selon l'évaluation de poste de la méthode Hay (*jobgrade*) et de quatre niveaux selon le niveau d'expertise [Figure 38].

[48] Méthode permettant la classification des postes en entreprise.

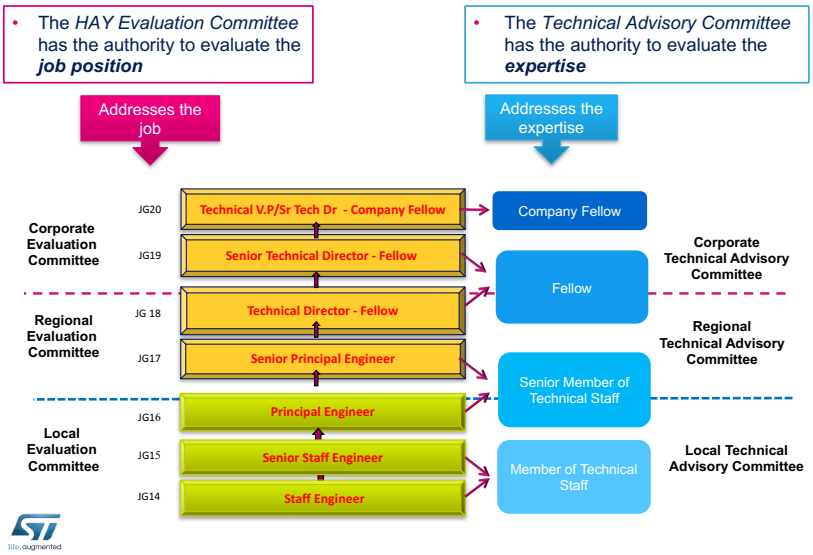


Figure 38: Les différents niveaux de la filière technique[49]

Les niveaux d'expertise sont évalués selon une matrice de compétences composée des différents niveaux d'expertise (*Member of Technical Staff, Senior Member of Technical Staff, Fellow* et *Company Fellow*) et de treize critères regroupés selon cinq thématiques principales (références, innovation, communication, compétence technique et impact économique) [Tableau 15].

	Innovation	
	Innovative solutions	**Technical added value recognition**
Company Fellow	Leader in research & lead the company innovation plan	Upgrades and adapts his/her competences, to impose new technical ideas and information through a clear external evidence on company business
Fellow	Output of advanced development in a major step in our industry	Upgrades and adapts his/her competences, to promote new technical ideas and information through a clear external promotion of new concepts
Senior Member of Technical Staff	Has succeed in development of complex advanced module or product	Upgrades and adapts his/her competences to new domain, to be a major source of technical ideas and information through a clear external focus
	Has succeed in development of advanced module or product	Clearly adds own elements or concepts to the technology domain and innovation process, based on own research
Member of Technical Staff	Has demonstrated autonomy in advanced solutions development	Clearly adds own elements or concepts to the technology domain and innovation process at department level
	Participate in advanced development solutions	Participate to add elements or concepts to the technology domain and innovation process at department level

Tableau 15 : Exemple de la *Technical Ladder Matrix* de ST (deux critères sur treize)

[49] Source : STMicroelectronics.

Les rôles et les activités liés aux différents statuts d'expert sont précisés de la façon suivante[50] :

- **Member of Technical Staff:** *"Expert who provides deep technical expertise on his/her specific area of contribution and/or technical know-how. His/her scope of activity is the team/department and site/country."*
- **Senior Member of Technical Staff:** *"Expert who provides high-level technical expertise on a specific area of contribution and/or technical know-How, in order to support Company Management in critical technical choices, including risk evaluation, impact on future business and feasibility. His/her scope of activity is the product group and region."*
- **Fellow:** *"Expert who, in addition to the above-mentioned achievement, is considered as a reference at Group and Regional Level by all the Stakeholders in his sphere of expertise: technologists, academic communities, ST Staff and employees of several ST sites."*
- **Company Fellow:** *"Expert who, in addition to the above-mentioned achievement, is considered as a reference at worldwide level by all stakeholders in his sphere of expertise. He/she is able to anticipate, influence and direct technical strategies and decisions impacting on the whole ST perimeter."*

Chaque salarié souhaitant rejoindre la filière technique se doit d'être recommandé par son manager et doit présenter un dossier de candidature qui sera évalué par un *Technical Advisory Committee*.

1.2. Les *Technical Advisory Committees*

Les *Technical Advisory Committees* sont des comités ayant pour objectif d'évaluer la candidature d'un employé désireux de rejoindre la filière technique et d'évaluer les passages de niveaux au sein de la filière technique. Il existe trois types de comité : *Local Technical Advisory Committee*, *Regional Technical Advisory Committee*, *Corporate Technical Committee*. Ces différents comités d'évaluation se distinguent selon le niveau de la filière technique : les *Local Technical Advisory Committee*s se chargent exclusivement de l'évaluation des *Members of Technical Staff* alors que le *Corporate Technical Committee* a pour objectif d'évaluer les *Fellows* et les *Company Fellows*. Ces comités sont constitués d'experts membres de la filière technique, de managers et de responsables des ressources humaines.

1.3. La charte des experts

Afin d'officialiser son entrée dans la filière technique, chaque expert doit signer une charte des experts. Cette charte est cosignée par l'expert, son manager N+1 et N+2 ainsi qu'un membre des ressources humaines. Pour ST, ce document est un engagement moral qui définit les droits et les devoirs des parties prenantes du *« management de l'expertise »*. La charte est divisée en trois parties : *l'expert met son expertise au service de la compagnie, le management N+1 et N+2 favorise les conditions nécessaires à l'évolution de son collaborateur, la DRH soutient le développement de l'expert.*

[50] Source : documentation interne STMicroelectronics

La première partie est composée de sept engagements, parmi lesquels :

- L'expert *« développe son expertise en participant à des conférences, en développant un partenariat avec des laboratoires, des universités. »*
- L'expert *« s'engage à partager son expertise, il peut être sollicité pour participer à des groupes de résolution de problèmes techniques sur son site ou un site de la compagnie pour des missions courtes. »*
- L'expert *« transfère son savoir par le tutorat en intégrant et accompagnant en qualité de « tuteur » (thésards, stagiaires, nouveaux embauchés, etc.) et diffuse sa connaissance, en interne comme en externe par la rédaction et la publication d'articles, par le biais de conférences, par de la formation, etc. »*

La deuxième partie est composée de quatre engagements, parmi lesquels :

- Le management *« implique son collaborateur dans des projets inter-organisations. »*
- Le management *« donne l'opportunité de faire de la veille technologique (benchmark auprès des concurrents et partenaires). »*

La troisième partie est composée de trois engagements, parmi lesquels :

- La DRH *« assure la promotion de la filière technique et des experts à travers les comités d'évaluation et People Review. »*
- La DRH *« est l'interface avec les comités consultatifs techniques (LTAC) et régional (RTAC) : aide à la préparation et la présentation des dossiers de candidatures, et s'assure de la révision du niveau d'expertise si nécessaire. »*

1.4. L'OBSERVATOIRE DES METIERS

L'Observatoire des Evolutions Technologiques, des Métiers et de l'Emploi, appelé *« Observatoire des Métiers »*, est un rapport biannuel réalisé sur la base de réflexions et d'analyse d'experts techniques, de managers, de responsables des ressources humaines et de représentants syndicaux. Ce rapport fait partie de la démarche de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEC) et a pour objectif d'anticiper les futures évolutions de la société, de ses activités, de ses métiers, de ses organisations. Il a aussi pour finalité de permettre le développement des compétences des salariés et leur employabilité au sein de l'entreprise afin de les préparer aux évolutions des métiers et des besoins de l'entreprise en matière d'emploi et de carrière. Cet observatoire est avant tout un lieu de dialogue et d'échange pour l'étude des perspectives d'évolution de l'emploi au regard du contexte dans lequel évolue ST, de la stratégie de l'entreprise, des besoins et des attentes des clients de l'entreprise. L'objectif affiché de cet observatoire est, d'une part, d'anticiper les mutations technologiques et organisationnelles et, d'autre part, de donner la possibilité à chaque salarié de mieux préparer son parcours professionnel individuel.

En analysant les trois derniers rapports (2010/2011, 2012/2013 et 2015/2016) nous constatons que les métiers techniques sont organisés en trois grandes familles [Tableau 16].

Métier du développement produit	Métier R&D	Métier des opération et EWS (Electrical Wafer Sorting)
Application	Front-end (Process development, process integration, activité de support)	Manufacturing
Design architecture		
Design HW (Design HW/design digital, vérification, validation, implémentation physique digitale, implémentation physique de circuits analogues mixtes, design for test)	Design	Engineering (maintenance, equipment engineering, process engineering, device engineering, process control, test paramétrique, industrial engineering)
Design SW (Développement logiciel FIRMWARE)		
CAD development & support	Back-end (back-end/design, back-end/process development)	EWS (Electrical Wafer Sorting)
Product/test engineering		

Tableau 16 : Liste non exhaustive des métiers techniques chez STMicroelectronics

Les différents rapports mentionnent quelques évolutions dans chacun des métiers, cependant la nomenclature des métiers reste stable dans le temps.

1.5. LE RESEAU SOCIAL D'ENTREPRISE SPECIALEMENT DESTINE AUX EXPERTS : *TECHNICAL STAFF WEBSITE*

En 2013, ST a mis en place un site internet spécialement dédié aux experts techniques : le *Technical Staff Website*. Ce site est un réseau social d'entreprise regroupant l'ensemble des experts de la filière technique. Chaque profil d'expert est répertorié selon son domaine d'expertise. Chaque expert possède une page personnelle regroupant les informations suivantes : CV de l'expert, domaine d'expertise, publications scientifiques, rapports techniques, brevets, réseau académique, projets de collaboration, etc. Cet outil permet de retrouver un expert selon les différents domaines répertoriés, parmi lesquels *semiconductor*, *process technology*, *development*, *design architecture*, *advanced systems applications*, *R&D*, *etc.* [Figure 39].

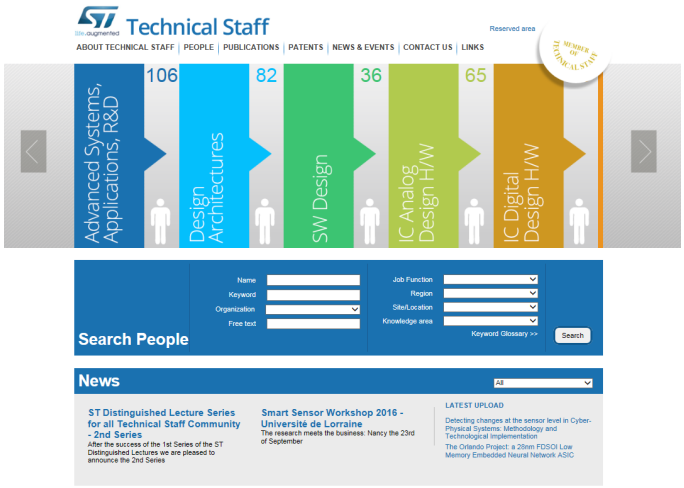


Figure 39 : Technical Staff Website

1.6. Constats concernant le modele de gestion des experts chez STMicroelectronics

A partir de la description des dispositifs de gestion ainsi que de leurs objectifs, nous pouvons faire le constat suivant :

- La gestion des experts chez STMicroelectronics est exclusivement un dispositif de gestion des ressources humaines.
- L'ensemble des dispositifs est principalement géré et administré par la direction des ressources humaines et non par la communauté d'experts.
- L'objectif principal est de permettre aux individus brillants de rester dans leurs champs d'expertise, sans qu'ils sacrifient leurs avantages statutaires et financiers, et que soit reconnue une autre valorisation que l'encadrement hiérarchique.
- Les dispositifs de gestion visent à symétriser les niveaux de progression des carrières « managériales » et des carrières « scientifiques et techniques ».
- Le modèle de gestion des experts est principalement un outil pour la gestion des carrières.
- Les dispositifs actuels sont essentiellement basés sur une logique de gestion individuelle des experts centrée sur le besoin de reconnaissance.
- L'expert est défini selon un seul domaine d'expertise.
- Le modèle de gestion des experts a tendance à raisonner sur des experts prêts à être reconnus selon des domaines d'expertises reconnus et clairement identifiés.

2. DES DISPOSITIFS DE GESTION SEMBLABLES A L'ENSEMBLES DES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

Cette première analyse des dispositifs de gestion chez STMicroelectronics nous permet de retrouver l'ensemble des caractéristiques que partagent les trois archétypes de gouvernance de l'expertise que nous avons présenté dans le chapitre 3 :

(1) Les experts sont reconnus par l'organisation par l'intermédiaire de la filière technique (double échelle et communautés de métier).
(2) Le statut d'expert est corrélé à sa durée d'expérience dans un domaine d'expertise particulier.
(3) Un expert est rattaché à seul champ d'expertise et son statut d'expert est reconnu selon ce champ.
(4) L'action collective des experts s'effectue au sein des métiers (i.e. au sein de chaque champ d'expertise).
(5) Il n'y a pas de collaboration entre les experts de différents domaines d'expertise.
(6) Les champs d'expertise sont stables et reconnus par l'organisation.
(7) La dynamique du renouvellement des expertises est lente.
(8) L'émergence de nouveaux champs d'expertise est rare et provient généralement de l'extérieur de l'organisation.
(9) Le rôle des experts dans l'organisation est d'être une ressource pour le décisionnaire, c'est-à-dire que l'intervention de l'expert se limite à apporter une information aux décisionnaires qui ont en fait la demande.
(10) Le rôle de l'expert ne varie pas selon le type de potentiel d'innovation (incrémentale ou de rupture).
(11) La création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation (laboratoires de recherche, entreprises, etc.). L'expert a donc pour mission d'intégrer des expertises externes à l'entreprise.
(12) L'émergence de nouvelles expertises s'effectue sans modification et sans réorganisation des structures expertises existantes
(13) Les champs d'expertise sont indépendants les uns par rapport aux autres : chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres.

D'autre part, ce modèle de la gestion des experts, en particulier le dispositif de la double échelle, n'est pas singulier à STMicroelectronics. La plupart des entreprises industrielles telles qu'IBM, Danone, Areva, Google, HP, Xerox, Microsoft, Raytheon, Renault, Thales, etc. utilise le modèle de la double échelle. Bien évidemment, comme le souligne le benchmark réalisé sur la gestion des experts par la société *Entreprise & Personnel*, de nombreuses différences existent mais le modèle général reste le même quelle que soit l'entreprise [Figure 40].

Renault	Safran	Schneider Electric	St Microelectronics
• Les **nominations** se font pour 3 ans et sont renouvelables • Pas de système de gestion particulier pour la filière expertise • **Reconnaissance symbolique** : journal interne, annuaire du personnel, participation à des instances de décisions, sollicitation d'avis pour des sujets techniques à enjeux • **Animation de la filière**, plutôt légère : réunions mensuelles pour les experts leaders animées par l'expert Fellow et séminaire annuel, learning expeditions • Communauté de partage sur Share Point • Pour les experts et les référents d'un domaine, au moins un séminaire annuel	• Réflexion en cours sur la révision des critères d'identification de **l'expert émérite** (pour en réduire le nombre en augmentant les exigences) • Compétences attendues : - ouverture, rayonnement, approche multiculturelle, créativité, innovation centrée sur approche système et fertilisation croisée avec autres secteurs d'activité. Implication dans les décisions stratégiques du groupe. - animation de la communauté des experts - Capitalisation des connaissances - Représentation du groupe à l'extérieur - Pilotage de la R&T - Elaboration de la roadmap du domaine - Animation de réseaux d'experts : plus délicate car pb de connexion avec les besoins du marché via les fonctions : marketing, commerciales et business Dev	• Trois niveaux d'expertise: - Master expert (300) - Senior expert (100) - Group expert (3 ou 4) Et pour les pays non matures, - Les « potentiels Edison » • Des critères de désignation aux trois niveaux ; des exigences accrues sur l'ouverture à d'autres domaines • L'expert fellow (3 à 4 experts à l' international avec un fort impact sur la stratégie de SE : - propose des orientations en termes de R&D - Rayonnement international notamment auprès des clients - Participation au développement des niveaux inférieurs - Capacité de diffuser ses compétences • Pas de dispositifs spécifiques de reconnaissance • Nomination pour 3 ans • Animation de la communauté via un outil de partage (réseau social interne)	• Identification via les comités carrières et le processus d'évaluation de la performance annuelle par les managers et la fonction RH • La filière d'expertise correspond à des postes décrits et évalués selon la méthode Hay (job grades 14 à 20) • Dossier de candidature rempli conjointement soumis à un technical advisory Committee par niveau : local, régional, groupe • Présidé au niveau groupe par le CTO • Nomination valable pour 2 ans • Système de droits et devoirs (publications, partages des connaissances, participation à des réseaux, mentoring interne, suivi de doctorants) • Programmes de développement pour les trois niveaux d'experts, décidés au niveau local • Reconnaissance non monétaire: technical days, cérémonies…
• Mise en place en 2009 d'une démarche inspirée de Nissan • Cartographie de Domaines d'Expertise stratégiques (50) unique à toute l'entreprise • Définition de **4 niveaux d'expertise** qui sont des postes • Expert fellow • Expert leader • Expert • Référent • Les missions d'experts clairement décrites • Liens fonctionnels au sein de la filière mais hiérarchiques avec les métiers • Processus **de sélection** sur la base de la cartographie des Domaines d'Expertise stratégiques, les experts leaders sont identifiés selon un processus mené au niveau des cadres dirigeants • Les autres niveaux sont identifiés dans les comités carrière qui comportent un volet « expertise »	• 2005 : lancement du programme de valorisation des experts • 2007 démarche d'identification des experts • 2011 : réseau RH dédié à la gestion conjointe groupe&société • 2 niveaux de nomination pilotés par le Directeur technique et de la R&T • Niveau société : experts société (500 à 600) • Niveau groupe : expert senior (200), expert émérite (55) dont 20 non français; organisés en 11 réseaux et 30 domaines d'expertises • Nominations pour 3 ans • Des définitions à chaque niveau fondées sur l'identification de : • fonctions (orienter, concilier, valider,…) • D'exigences du rôle (développement des compétences, coopération, disponibilité, confidentialité, réseaux)	• Pilotage par le programme Edison depuis 2008 (gestion des talents) qui est un Processus mondial • 500 experts dont 2/3 non français • L'expert : une personne qui dispose d'un statut • 4 programmes : - Spécialistes techniques - Experts de solution - Experts supply chain - Experts information process • Un processus d'identification inscrit dans les processus « ordinaires » de GRH • Identification lors des entretiens annuels et de carrière par managers et salariés (responsabilité managériale), et lors des revues de personnel pour validation • Préparation des dossiers par les managers ; examen par un jury	• Démarche mise en place en 2011 • Vise une gestion individuelle maitrisée de compétences expertes • 4 niveaux d'expertise (450 membres) - Company fellow expertise level (niveau groupe) - Fellow expertise level - Senior member of technical staff expertise level (niveau région ; ensemble de pays) - Member of technical staff expertise level (pays ou site)

Figure 40: Benchmark des dispositifs de management des experts (Le Boulaire, 2014)

3. Analyse empirique de la gestion & de la dynamique des expertises : mise en evidence d'une anomalie

Afin d'évaluer le modèle de la gestion des experts de ST, nous avons cherché à confirmer ou infirmer les hypothèses qui sous-tendent les principaux modèles de gouvernance de l'expertise, que nous avons présenté dans le chapitre 3. Nous avons mené une enquête de satisfaction sur la base d'un questionnaire [51] que nous avons complété par des entretiens semi-directifs avec des experts, des responsables des ressources humaines et des managers. Nous avons aussi exploré et analysé des données stratégiques, parmi lesquelles la liste des expertises déclarées par les experts et la liste des sujets de thèse CIFRE réalisés au sein de STMicroelectronics entre 2004 et 2015. Cette étude a pour objectif d'évaluer la satisfaction des experts concernant les différents dispositifs de gestion, de déterminer le niveau de reconnaissance des experts dans l'organisations, de caractériser la dynamique des expertises chez ST, de définir le rôle des experts, d'évaluer la nature de leurs collaborations et enfin de déterminer leurs rôles dans les processus d'innovation. Les résultats se basent sur un échantillon de 114 réponses d'experts. Les caractéristiques des répondants sont présentées via la figure ci-dessous [Figure 41].

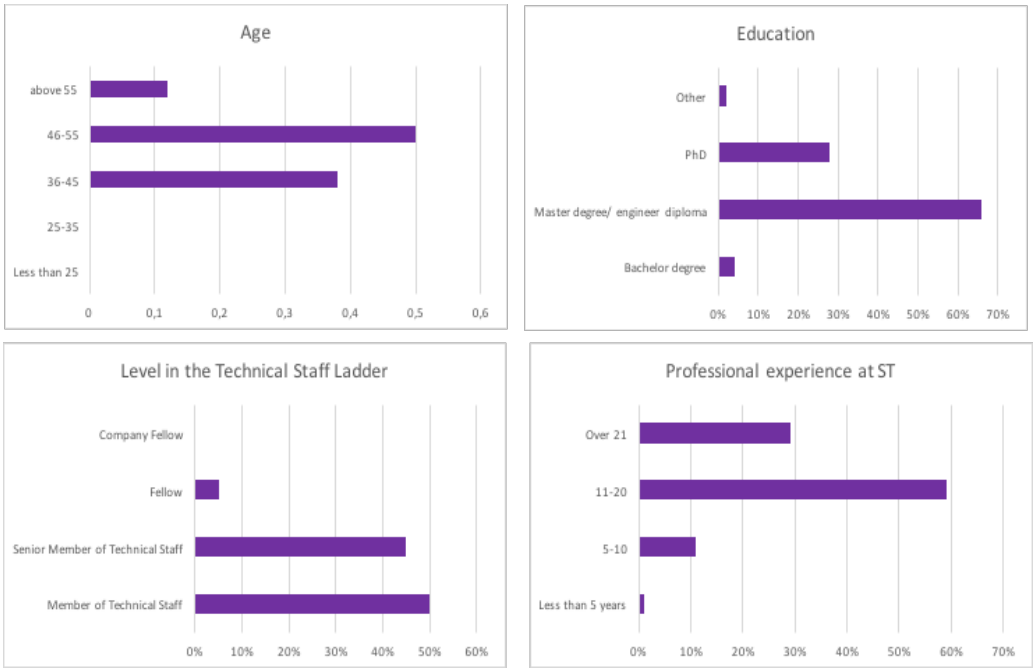


Figure 41: Profils des experts ayant répondus au questionnaire

3.1. Orientation professionnelle, satisfaction & reconnaissance de l'expertise dans l'organisation

En analysant les résultats concernant la reconnaissance, l'orientation professionnelle et la satisfaction des experts, nous observons un premier paradoxe. En effet, alors que 63% des experts déclarent ne pas vouloir quitter la filière technique, que 75 % estiment être reconnus en tant qu'expert par

[51] Cf. Annexe : *Questionnaire sur la gestion des experts & la dynamique des expertises chez STMicroelectronics*

leurs collègues et que 59% estiment être reconnus en tant qu'expert à l'extérieur de l'entreprise (clients, partenaires industriels, communauté académique), nous constatons que seulement 27% des experts sont satisfait de la politique de promotion concernant leur carrière [Figure 42]. De plus, 49% des experts déclarent ne pas être satisfait de la politique de gestion de carrières, alors même que la double échelle est un dispositif de gestion ayant pour objectif de proposer des évolutions de carrière adaptées pour le personnel technique et scientifique.

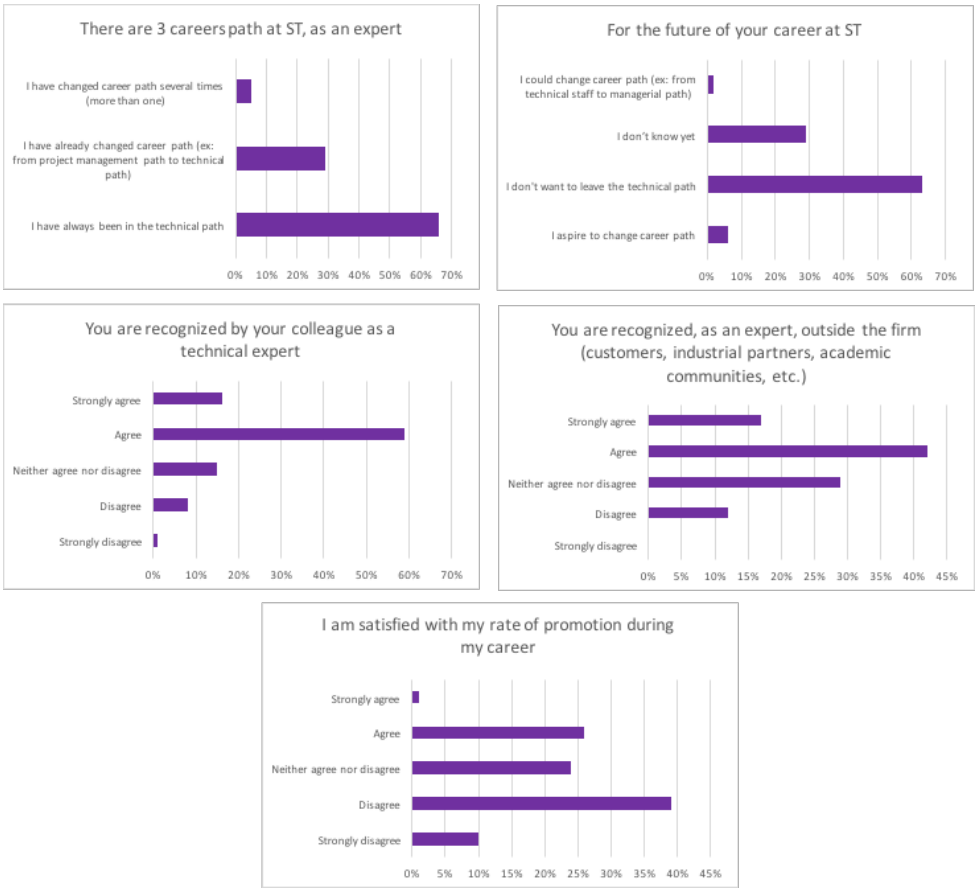


Figure 42: Reconnaissance, orientation professionnelle et satisfaction des experts

D'autre part, 48% des répondants (35% ne se prononcent pas) déclarent que les experts techniques ne sont pas nécessairement membre de la filière technique. Ainsi, **la reconnaissance de l'expert dans l'organisation ne s'effectue pas exclusivement par l'intermédiaire de la filière technique** (double échelle). Nos entretiens semi-directifs nous ont permis de constater que certains managers (membre de la filière management) sont reconnus, par leurs pairs, en tant qu'expert dans des domaines particuliers alors même qu'ils ne sont pas membres de la filière technique. De plus, 39% des experts déclarent que **le niveau d'expertise n'est pas corrélé à l'expérience professionnelle** (22% ne se prononcent pas et 40% acceptent le lien entre niveau d'expertise et expérience professionnelle). Par exemple, pour 57% des répondants un jeune chercheur (un doctorant par exemple) peut être reconnu en tant qu'expert par ses pairs [Figure 43].

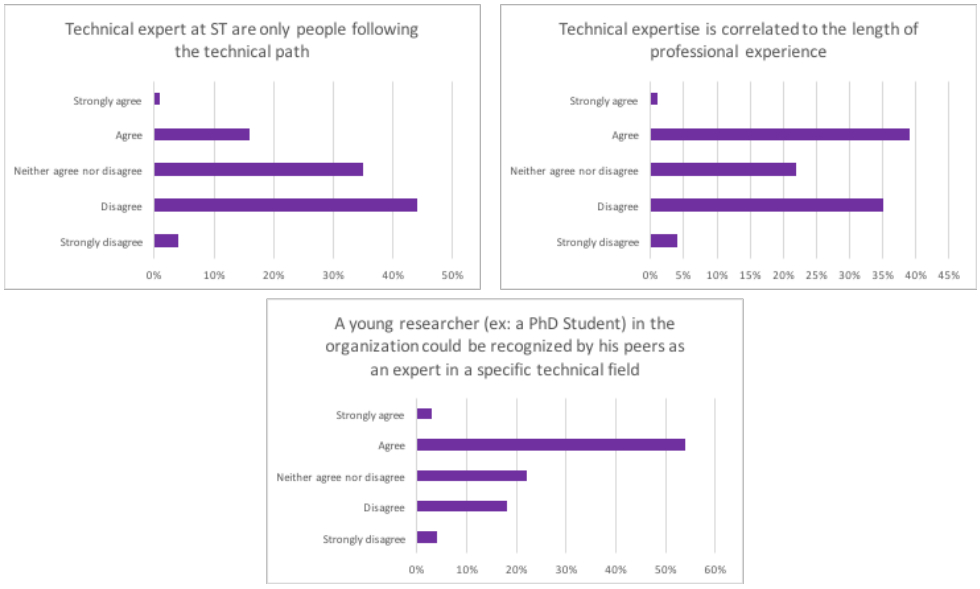


Figure 43: Filière technique & relation entre niveau d'expertise et expérience professionnelle

3.2. Coordination, action collective des experts & domaines d'expertise

Alors que l'ensemble des modèles organisationnels et des dispositifs de gestion, présentés précédemment, **définit l'expert selon un seul domaine d'expertise**, nous remarquons un nouveau paradoxe. En effet, nous constatons que **69% des experts déclarent être reconnus dans l'organisation en tant qu'expert dans plus d'un domaine d'expertise**, respectivement 43% dans deux domaines d'expertise, 11% dans trois domaines d'expertise et 15% dans plus de trois domaines d'expertise. Ce pourcentage augmente quand la question posée est *« selon vous, dans combien de domaines d'expertises pensez-vous être expert ? »* : 78% des répondants estiment être expert dans plus d'un domaine d'expertise [Figure 44].

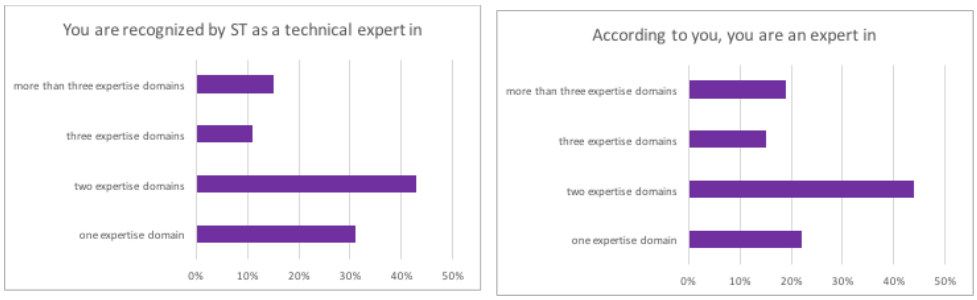


Figure 44: Experts & domaines d'expertise

Nous avons également souhaité évaluer les caractéristiques des modes de coordination et d'action collective des experts. Nous rappelons que dans les modèles de gouvernance de l'expertise, présentés dans notre revue de littérature, **la coordination et l'action collective des experts s'effectuent au sein des métiers, définis comme étant des collectifs associés à un champ d'expertise spécifique** et regroupant

les savoirs spécifiques et stratégiques de l'organisation. L'expertise se développe par capitalisation au sein de ces groupes d'individus partageant un même champ d'expertise. La collaboration entre experts s'opère à condition que les experts partagent un même domaine d'expertise. Ainsi, **il n'y a pas de collaboration possible entre des experts de différents domaines d'expertise**. En outre**, les champs d'expertise et les métiers sont indépendants les uns par rapport aux autres**, de telle manière que l'évolution d'un métier ou d'un champ d'expertise s'effectue indépendamment des autres. Cependant, en analysant les résultats de notre enquête, nous constatons plusieurs paradoxes.

Premièrement, pour 78% des personnes interrogées, **les experts de différents domaines d'expertise sont capables de collaborer alors même qu'ils ne partagent pas le même domaine d'expertise**. Deuxièmement, 48% des répondants (19% ne se prononcent pas) estiment que les experts de différents domaines d'expertise travaillent, échangent et collaborent à travers des activités communes. Enfin, 87% des experts interrogés affirment que **la création de nouvelles expertises requiert la collaboration entre des experts de champs d'expertise différents** [Figure 45].

Figure 45: Collaboration entre experts

Ces résultats sont problématiques pour plusieurs raisons. Premièrement, parce qu'ils remettent en question les modèles théoriques de la gouvernance de l'expertise. Deuxièmement, parce qu'ils remettent en question les relations entre expertise et innovation. Cependant, il nous paraît indispensable de souligner les limites méthodologiques d'une telle étude. Premièrement, les données reflètent la perception des experts et non nécessairement la réalité. Deuxièmement, la taille de notre échantillon nous permet difficilement de généraliser ces résultats. Face à ce constat, nous proposons de vérifier ces résultats à l'aide d'autres bases de données. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des données provenant du site web des experts : le *Technical Staff Website*. Le site recense l'ensemble des domaines d'expertises reconnus chez

ST ainsi que l'ensemble des experts membres de la filière technique. En outre, chaque expert est associé à un domaine d'expertise. Nous avons sélectionné un échantillon de 91 experts du site industriel de Crolles [Tableau 17].

Domaines d'expertise	Nombres d'expert
Adv. Systems, Applications, R&D	6
Design architectures	1
IC Analog Design H/W	10
IC Digital Design H/W	8
Manufacturing	12
Product Testing & Engineering	1
Semiconductor Process Technology Dev	43
SW Design	1
Tools	8
Quality & Reliability	1

Tableau 17: Experts & domaines d'expertise sur le site industriel de Crolles

A partir de cette base de données, nous obtenons la cartographie ci-dessous [Figure 46]. Les sommets verts des graphes correspondent aux experts et les sommets rouges aux domaines d'expertise. Les arêtes des graphes représentent les relations entre les experts et les domaines d'expertises.

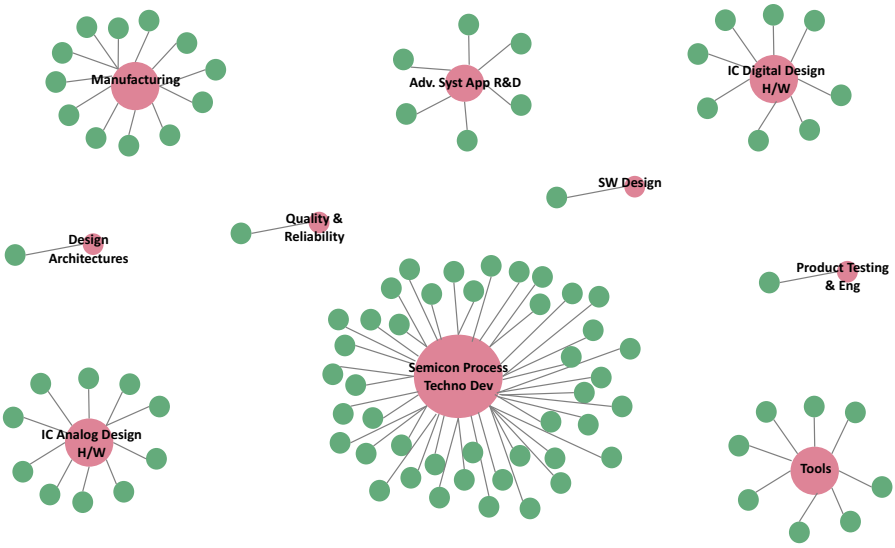


Figure 46: Cartographie des expertises et des experts

Cette représentation des relations entre domaines d'expertise et experts correspond à la vision classique de l'expertise dans les organisations : les domaines d'expertises sont indépendants et les experts sont

rattachés à un seul domaine d'expertise. Dans la cartographie suivante, nous représentons chaque couple experts/domaines d'expertise par une couleur différente [Figure 47]. Comme on peut le remarquer, il n'existe aucune relation entre les différents domaines d'expertises et entre les différents experts de chaque domaine d'expertise.

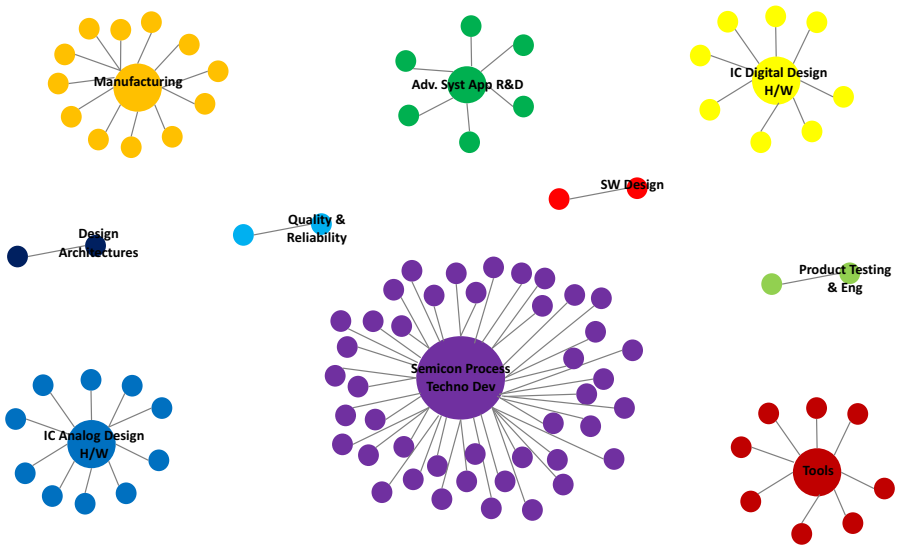


Figure 47: Cartographie des domaines d'expertise et des experts associés

Sur la base du même échantillon d'experts, nous avons récupéré la liste des expertises qui sont déclarées par les experts dans chacun de leur profil. En effet, si les experts sont classés dans des domaines d'expertises, ils ont aussi la possibilité de renseigner leur profil notamment avec leurs domaines d'expertises. D'autre part, nous avons croisé ces données avec les données recueillies sur la plateforme *Researchgate*[52]. La plateforme web *Researchgate* est une sorte de réseau social destiné aux chercheurs et universitaires. Chaque utilisateur a la possibilité de créer un compte, de compléter son profil (expériences, intérêts, expertises, etc.) et de télécharger l'ensemble de ces contributions scientifiques (articles, conférences, brevets, rapports, thèses, etc.). Cette plateforme est ouverte à tous les utilisateurs et il est ainsi possible d'accéder à l'ensemble des profils et des publications de la communauté. En 2016, 785 employés de ST étaient inscrits sur la plateforme. A partir de la liste de nom des 91 experts, nous avons récupéré les domaines d'expertise déclarés sur le réseau social interne et sur *Researchgate*[53]. Cette nouvelle base de données nous permet d'obtenir une liste extrêmement précise des domaines d'expertises et leurs relations avec les experts chez STMicroelectronics. A l'aide d'un logiciel de traitement de données et de cartographie[54], nous avons cherché à visualiser de nouveau les relations entre experts et domaines d'expertise. Les sommets rouges des graphes correspondent aux domaines d'expertise et les sommets

[52] researchgate.net
[53] Plus de 65% des 91 experts sélectionnés possèdent un compte *Researchgate*.
[54] Gephi.

verts aux experts. Les arêtes des graphes représentent les relations entre les experts et les domaines d'expertises [Figure 48].

Figure 48: Relations entre domaines d'expertise et experts

La taille des nœuds (sommets du graphe) caractérise le nombre de relations : plus un nœud est de taille importante, plus il possède de relations. Cette visualisation permet de mettre en évidence les domaines d'expertises les plus importants ainsi que les experts les plus polyvalents et les plus influents. D'autre part, en affinant notre simulation, afin de garder les nœuds les plus importants, nous pouvons mettre en évidence de nouveaux champs d'expertise qui n'étaient pas clairement identifiés : CMOS, microelectronics, electronics engineering, semiconductor device physics, material characterization, thin film fabrication, thin film deposition, epitaxy, FDSOI, etc. [Figure 49].

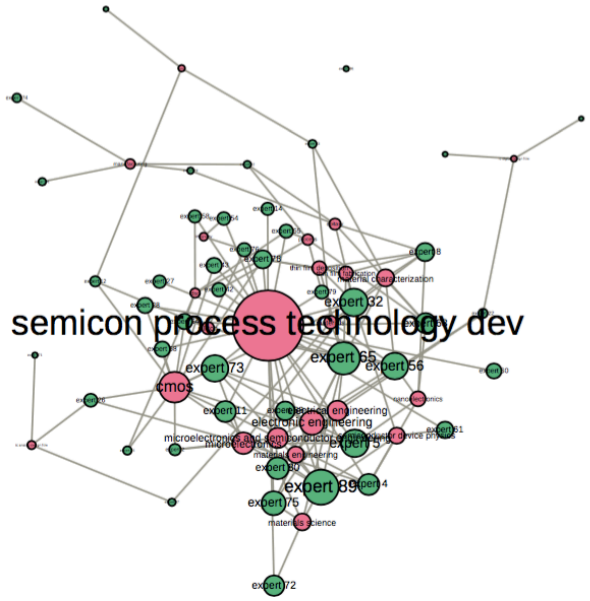


Figure 49: Principales relations entre domaines d'expertise et experts

D'autre part, afin de gagner en visibilité, il est possible de colorier les nœuds en fonction de propriétés topologiques du graphe (notamment leur degré, c'est à dire leurs nombres de voisins). On peut aussi constituer des groupes de nœuds topologiquement proches. Pour cela, nous utilisons un algorithme de calcul des classes de modularité[55]. La cartographie, ci-dessous [Figure 50] met en évidence les différentes communautés du réseau.

Figure 50: Les différentes communautés du réseau experts/domaines expertises

[55] La modularité calcule « *le nombre de liens dans chaque groupe moins le nombre de liens dans les mêmes groupes, dans un graphe où les liens auraient été redistribués de façon aléatoire* ».

Afin de souligner les relations d'interdépendance entre chacune de ces communautés au sein du réseau, nous proposons une nouvelle cartographie représentant les domaines d'expertise par des sommets et les experts par des arêtes. L'idée est d'évaluer les relations entre les domaines d'expertise : deux domaines d'expertise sont en relation s'ils ont un expert en commun [Figure 51].

Figure 51: Relations d'interdépendance entre domaines d'expertise

Cette représentation illustre les relations d'interdépendance entre chaque communauté de domaines d'expertise du réseau. D'autre part, elle permet de remettre en question les représentations présentées dans les figures 9 & 10 et de proposer une nouvelle représentation des expertises dans l'organisation. En effet, notre analyse nous permet **d'infirmer les propositions selon lesquelles les domaines d'expertises sont indépendants et que les experts sont rattachés à un seul domaine d'expertise**. Bien au contraire, notre analyse nous permet de confirmer les résultats de notre enquête et de souligner les points suivants :

- Les domaines d'expertises ne sont pas indépendants, mais interdépendants.
- Les experts ne sont pas limités à un seul domaine d'expertise.
- La coordination, la coopération et l'action collective des experts ne se limitent pas aux collectifs de métiers.
- Les collaborations entre experts se basent sur des collaborations multidisciplinaires.

3.3. Dynamique des expertises chez STMicroelectronics

Après avoir modéliser la structure des expertises chez STMicroelectronics, notre enjeu est de déterminer la dynamique de ces structures d'expertises. Dans un premier temps, nous souhaitons rappeler que dans la littérature en sciences de gestion, les principales caractéristiques de la dynamique des expertises sont les suivantes : les champs d'expertise sont stables et connus, l'émergence de nouveaux champs d'expertise est plutôt rare et la dynamique d'évolution des expertises est lente.

Par l'intermédiaire de notre questionnaire, nous souhaitons mettre en évidence certains résultats afin de formuler de nouvelles hypothèses. Premièrement, 69% des experts interrogés soulignent l'idée que **les domaines d'expertise sont interdépendants** dans les organisations. Deuxièmement, **58% des experts estiment que la création de nouveaux champs d'expertise implique des modifications dans d'autres domaines d'expertise** [Figure 52].

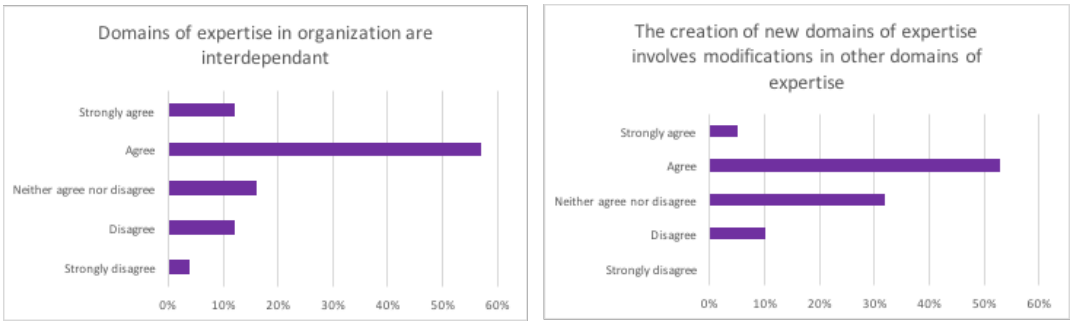


Figure 52: interdépendance & création de nouvelles expertises

D'autre part, 70% des experts font une différence entre l'amélioration de domaines d'expertise existants et la création de nouvelles expertises. De plus, 54% des experts estiment que de nouvelles innovations dans l'industrie peuvent rendre obsolète leurs expertises technologiques. Nous avons aussi cherché à évaluer la vitesse d'évolution des champs d'expertise chez ST. Alors que la littérature souligne que le développement de l'expertise requiert un temps long (règle des dix ans) et que la dynamique de son évolution est lente (Chase & Simon, 1973 ; Hayes, 1989 ; Ericsson, 1996 ; Weisberg, 2006), on note que pour 58% des experts, **le renouvellement de l'expertise se poursuit à un rythme soutenu**. En outre, nous remarquons les points suivants [Figure 53] :

- 63% des experts déclarent que la moyenne d'âge d'un champ d'expertise est seulement d'un à cinq ans.
- 57% des experts estiment qu'entre un et cinq nouveaux domaines d'expertise ont émergé durant les cinq dernières années.
- 41% des experts estiment que plus de six nouveaux domaines d'expertise ont émergé durant les cinq dernières années.
- 90% des experts estiment que leurs domaines d'expertise ont évolué au cours de leurs carrières.

– 71% des experts déclarent avoir participé à la création de nouveaux champs d'expertise dans l'organisation.

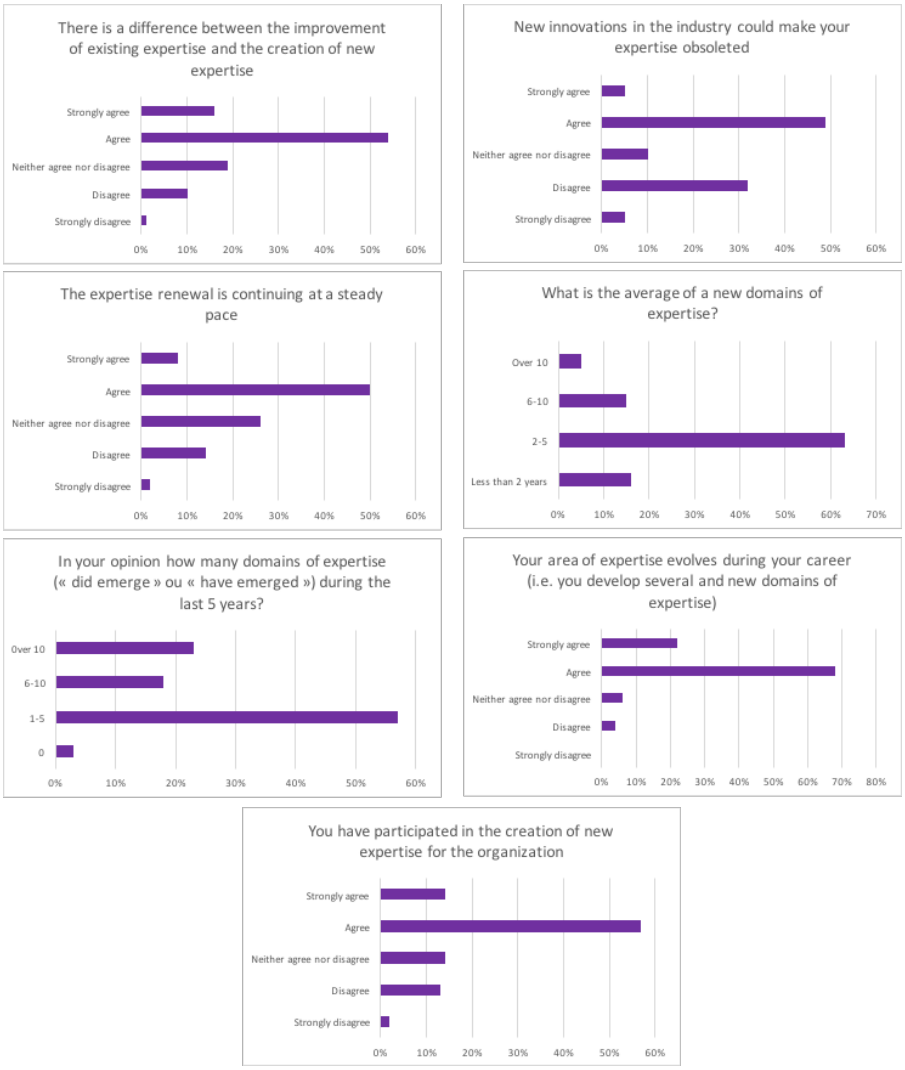


Figure 53: Caractéristiques de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics

Ces premiers résultats nous permettent de formuler de nouvelles hypothèses. Premièrement, les champs d'expertise sont instables et généralement difficilement identifiables. Deuxièmement, l'émergence de nouveaux champs d'expertise est régulière et conséquente. Troisièmement, la dynamique d'évolution des expertises est particulièrement rapide. Notre objectif consiste maintenant à infirmer ou à confirmer ces hypothèses.

Dans la présentation de notre terrain de recherche, nous avons remarqué que plus d'une centaine de doctorants[56] (sous contrat CIFRE[57]) travaillent sur le site industriel de Crolles (environ une centaine de doctorants par année, toutes années confondues). Etant donné que 43% des experts déclarent avoir

[56] Principalement en science des matériaux, en électronique, en nanoélectronique, en mathématiques appliquées et en génie industriel.
[57] Conventions Industrielles de Formation par la Recherche.

encadré plus d'une thèse (33% entre 1 et 5 thèses, 5% entre 6 et 10 thèses, 5% plus de 10 thèses) et que 43% des experts considèrent que les doctorants sont l'une des principales ressources pour l'exploration et la création de nouvelles expertises, il nous semble intéressant de considérer les sujets de thèse comme un élément permettant de caractériser la dynamique des expertises. En outre, cette proposition nous semble justifiée dans la mesure où le doctorat CIFRE est un travail de recherche ayant pour objectif de produire de nouvelles connaissances scientifiques et de nouvelles expertises technologiques.

Pour cela, nous nous appuyons sur une base de données composée de **647 sujets de thèses**[58] **sur une période de douze ans (entre 2004 et 2015)**. Nous avons codé chaque sujet de thèse par trois mots clés correspondant à des domaines d'expertise [Tableau 18]. A partir de cette base de données, il est possible de mettre en évidence les principaux domaines d'expertise ainsi que leurs dynamiques, notamment en fonction du nombre de thèse.

Année	Sujets de thèses	Domaines d'expertise		
2005	Development of a new plasma etching technique - Atomic Layer Etching	Plasma	Etching	Atomic Layer Etching
2012	Low power Wideband frequency synthesis for millimeter-wave application in advanced BiCMOS process	BiCMOS	Low Power	Wideband
2013	Silicon photonics to WDM optical link	Silicon photonics	Optic	WDM

Tableau 18: Exemple du codage de sujets de thèses

En faisant l'hypothèse que les champs d'expertise sont stables et connus, que l'émergence de nouveaux champs d'expertise est plutôt rare et que la dynamique d'évolution des expertises est lente, nous devrions obtenir la représentation graphique ci-dessous [Figure 54].

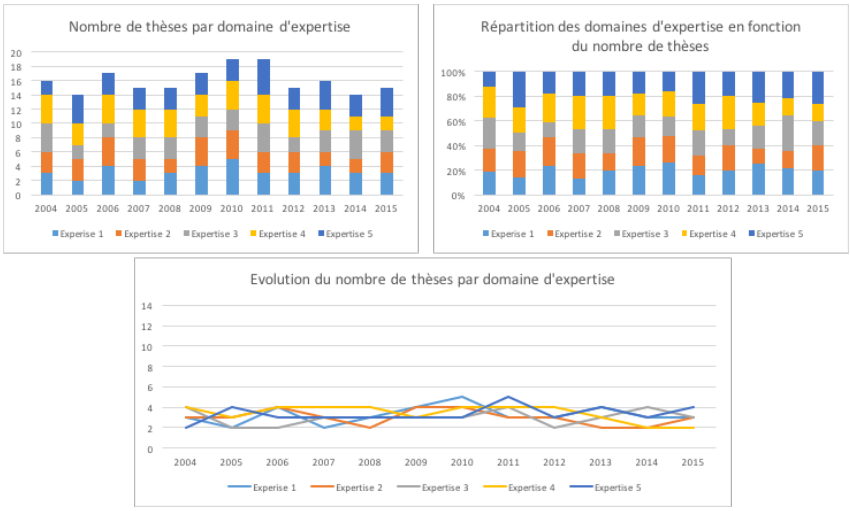


Figure 54: Dynamique des expertises selon l'hypothèse d'une dynamique d'évolution stable et lente

[58] Cf. annexe pour consulter la liste complète des sujets de thèses.

Premièrement, ce graphique illustre que le nombre de thèse par domaines d'expertise est relativement constant en fonction du temps (graphique 1). Deuxièmement, la répartition des domaines d'expertise en fonction du nombre de thèse est relativement invariante et il n'y a pas d'émergence de nouveaux champs d'expertise (graphique 2). Troisièmement, l'évolution du nombre de thèses par domaine d'expertise est stable en fonction du temps (graphique 3). Enfin, à partir de ce modèle de distribution, il est possible d'évaluer la dispersion du nombre de thèses afin de quantifier le taux de variabilité des données autour de la valeur centrale[59] [Tableau 19].

	Moyenne	Variance	Ecart type	Coefficient de variation
Expertise 1	3,25	0,69	0,83	25,51%
Expertise 2	3,00	0,50	0,71	23,57%
Expertise 3	3,00	0,50	0,71	23,57%
Expertise 4	3,42	0,58	0,76	22,22%
Expertise 5	3,33	0,56	0,75	22,36%

Tableau 19 : Analyse de la dispersion de thèses selon l'hypothèse d'une dynamique d'évolution stable et lente

En analysant les données récoltées chez STMicroelectronics et en ne retenant que les principaux domaines d'expertise, nous obtenons la représentation graphique ci-dessous [Figure 55].

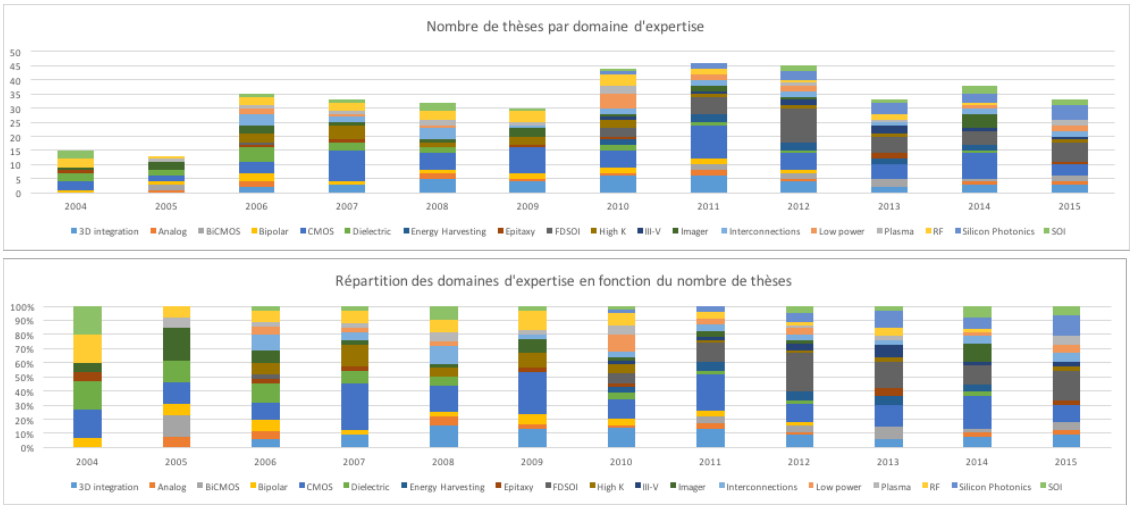


Figure 55: Dynamique des expertises en fonction des sujets de thèse chez STMicroelectronics

Afin de gagner en clarté, nous proposons de ne retenir que six grands domaines d'expertise afin de caractériser la dynamique d'évolution des expertises chez STMicroelectronics [Figure 56].

[59] Cf. Annexe *Analyse statistique de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics* pour le détail des calculs.

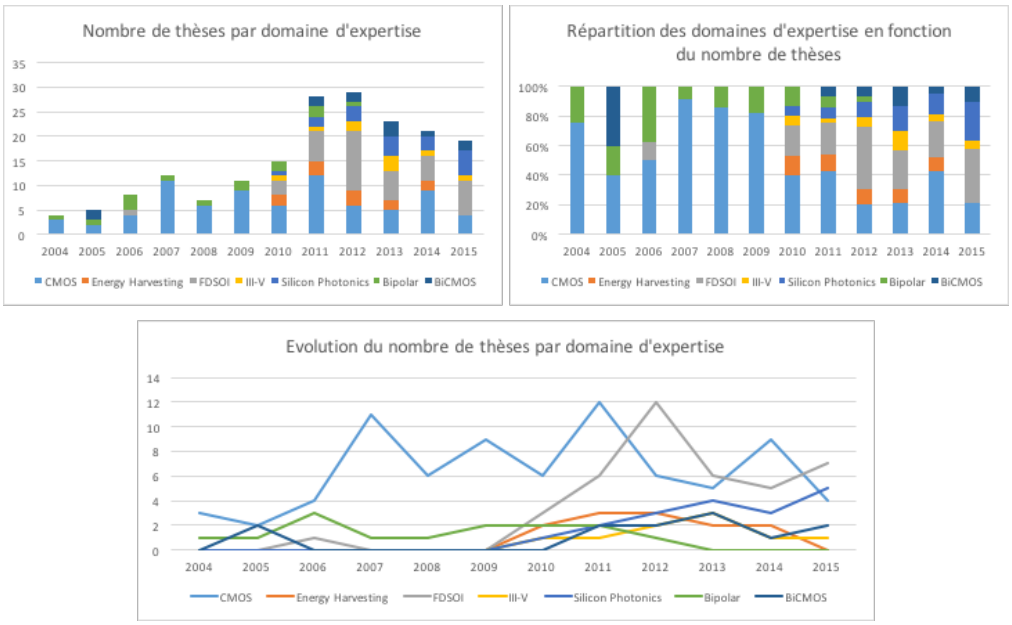


Figure 56: Dynamique d'évolution des expertises chez STMicroelectronics

Cette analyse des sujets de thèses chez STMicroelectronics nous permet de mettre en évidence plusieurs caractéristiques de la dynamique d'évolution des expertises :

- Le nombre de thèse par domaines d'expertise varie de manière importante en fonction du temps (graphique 1).
- La répartition des domaines d'expertise en fonction du nombre de thèses est instable et évolue considérablement en fonction du temps. D'autre part, nous pouvons observer l'émergence de plusieurs champs d'expertise nouveaux : *FDSOI* en 2010, *Energy Harvesting* en 2010, *Silicon photonics* en 2010, *III-V* en 2010, *BiCMOS* en 2011 (graphique 2).
- L'évolution du nombre de thèses par domaine d'expertise est instable.

Ces caractéristiques se retrouve aussi dans l'analyse de la dispersion du nombre de thèses. Dans un modèle reposant sur une dynamique stable, le coefficient de variation moyen est de l'ordre de 23,5% alors que coefficient de variation moyen chez STMicroelectronics est de 100% [Tableau 20].

	Moyenne	Variance	Ecart type	Coefficient de variation
CMOS	6,42	9,24	3,04	47,38%
Energy Harvesting	1,00	1,50	1,22	122,47%
FDSOI	3,33	13,89	3,73	111,80%
III-V	0,75	0,85	0,92	123,23%
Silicon Photonics	1,50	3,08	1,76	117,06%
Bipolar	1,17	0,81	0,90	76,93%
BiCMOS	1,00	1,17	1,08	108,01%

Tableau 20 : Analyse de la dispersion des thèses chez STMicroelectronics

Ainsi, ces résultats nous permettent de confirmer les déclarations des experts et de valider nos premières hypothèses :

- Les champs d'expertise sont instables et généralement difficilement identifiables.
- L'émergence de nouveaux champs d'expertise est régulière et conséquente.
- La dynamique d'évolution des expertises est particulièrement rapide.
- Le renouvellement de l'expertise se poursuit à un rythme soutenu.

3.4. Roles des experts dans l'organisation & dans les processus d'innovation

Dans les théories de la gestion des experts dans les organisations, le rôle de l'expert est de produire des connaissances et **d'être une ressource utile pour le décisionnaire**. En effet, l'intervention de l'expert se limite à apporter une information aux décisionnaires qui ont en fait la demande. Si la littérature en gestion soutien que le rôle de l'expert est important pour l'innovation, **elle ne fait cependant pas de distinction selon les typologies d'innovation** (incrémentale ou de rupture). D'autre part, de plus en plus de travaux de recherche soutiennent que les départements de R&D adoptent de plus en plus des pratiques d'open innovation, réduisant ainsi le rôle du personnel technique en tant que producteurs de connaissances, tout en l'élargissant aux missions d'intégration de connaissances provenant de l'extérieur de l'entreprise (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012). Ainsi, selon ces travaux, **la création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation** (laboratoires de recherche, entreprises, etc.). Notre enquête chez STMicroelectronics a pour objectif d'affiner les caractéristiques du rôle des experts dans l'organisation et de souligner quelques paradoxes.

Pour la majorité des experts interrogés, le statut d'expert dans l'organisation est avant tout une position stratégique dans l'organisation (54%) avant d'être une récompense pour de bonnes performances (20%). D'autre part, 71% des experts estiment que leurs managers prennent en compte leurs recommandations et leurs conseils [Figure 57].

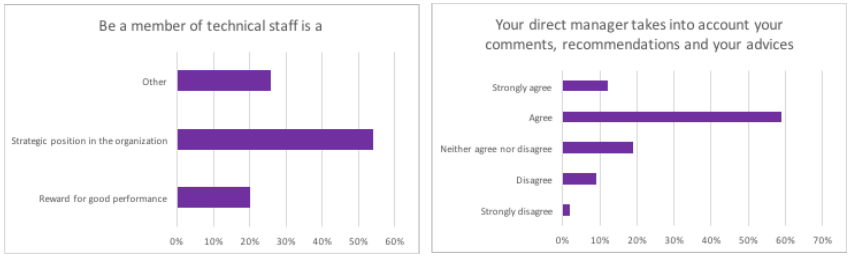


Figure 57: Statut d'expert & relations avec les managers

On constate également que pour les managers[60] et pour les experts, les principales activités des experts sont largement partagées. Toutefois, on remarque que pour les experts, ces activités sont plus équilibrées.

[60] Selon les experts

En effet, selon les experts, les managers considèrent en priorité les activités basées sur le développement de produits et la résolution de problèmes [Tableau 21].

According to the management, what should be the main activities of members of technical staff?		According to you (as an expert), what should be the main activities of members of technical staff?	
Contribute to the development of technologies/products	28%	Contribute to the development of technologies/products	24%
Problem solving	24%	Technical consultant	17%
Technical consultant	22%	Manage knowledge evolution and learning in a specific area of expertise	17%
Manage knowledge evolution and learning in a specific area of expertise	14%	Problem solving	15%
Capability to interface with R&D centers, universities in order to start new activities	8%	Capability to interface with R&D centers, universities in order to start new activities	15%
Pursue strategies to create new expertise	4%	Pursue strategies to create new expertise	12%

Tableau 21 : Principales activités des experts selon les managers & les experts

Paradoxalement, pour 63% des experts, les rôles et les missions des experts ne sont pas clairement définis et partagés dans l'organisation. De plus, 51% des experts déclarent qu'ils n'ont pas d'influence et de pouvoir dans l'organisation. Enfin 43% des experts estiment que la filière technique n'est pas attractive [Figure 58].

Figure 58: Influence & rôles des experts

A partir d'entretiens semi-directifs[61] avec des experts, des managers et des responsables des ressources humaines, nous avons cherché à catégoriser les différents rôles des experts. Nos résultats nous permettent de mettre en évidence deux idéaux-types du rôle de l'expert dans les organisations : ***l'expert ressource & l'expert stratège***. *L'expert ressource* correspond à la vision partagée par la littérature en gestion, c'est-à-dire que l'expert est une ressource pour les décisionnaires (généralement pour les managers). Dans cette perspective, **la légitimité de l'expert repose sur sa compétence dans des domaines d'expertises connus**. Ainsi, l'expert est en charge de proposer des conseils techniques et scientifiques, d'apporter une expertise pour la prise de décisions et de constituer des argumentaires techniques. Il évalue les risques technologiques, résout des problèmes complexes et propose des solutions techniques. L'idéal-type de *l'expert stratège* suppose que la légitimité de l'expert ne repose pas sur sa compétence dans des champs d'expertise connus, mais dans **sa capacité à préparer le futur**, c'est-à-dire **à dépasser le connu pour explorer l'inconnu de façon systématique et collective**. Ainsi, l'expert stratège cherche à créer de nouveaux programmes de recherche, à orienter et à définir de nouvelles stratégies de recherche et à reconfigurer et manager un écosystème d'innovation avec des partenaires académiques et industriels [Tableau 22].

Rôle de l'expert	Créer de la connaissance ; développer des compétences, des méthodes, des savoir-faire ; diffuser des méthodes ; former ; transmettre l'expérience ; entraîner, expliquer ; coordonner, gérer, organiser le travail ; représenter l'entreprise à l'extérieur : conférences, congrès, publications ; animer un réseau d'experts, de spécialistes.	
	Réaliser des études spécifiques ; trouver des solutions techniques ; piloter des projets ; définir un programme d'action ; constituer des argumentaires techniques ; analyser des résultats ; évaluer les risques et les coûts ; traiter les incidents ; certification ; apporter des conseils, un soutien technique, un avis ; rédiger des documents techniques.	Orienter la stratégie de recherche ; participer à la définition de nouveaux programmes ; préparer l'avenir ; proposer de nouvelles idées ; innover, s'informer sur concurrence ; veille technologique ; benchmarking ; piloter et expliciter les stratégies technologiques de l'entreprise, gérer le « connu » et l'« inconnu » ; prendre des positions sur des produits/technologies qui n'existent pas encore ; constituer et reconfigurer un écosystème (partenaires, prospects, prescripteurs)
	Expert Ressource : ***« L'expert du connu »***	**Expert Stratège :** ***« L'expert de l'inconnu »***

Tableau 22 : *Expert ressource* & *expert stratège*

Dans notre enquête, cette distinction est largement partagée par les experts. 73% d'entre eux adhèrent à la distinction entre *expert ressource* et *expert stratège*. D'autre part, comme le souligne le tableau ci-dessous

[61] Une trentaine d'entretiens semi-directifs

[Tableau 23], nous constatons que les principales missions[62] attribuées à chaque rôle diffèrent de façon importante.

According to you, what are the missions of an "expert as a resource for the organization"?		**According to you, what are the missions of an "expert as a strategist for the organization"?**	
Find technical solutions	17%	Propose new ideas allowing to prepare the future	14%
Problem solving	14%	Being a force of proposals to senior management	10%
Provide advice and support for technical issues	11%	Develop strategies to create disruptive innovations	10%
Work with customer for technical issues	7%	Make suggestions to improve innovation strategies of the firm	9%
Manage delicate crisis situations	6%	Participate in the definition of new research programs	9%
Risks evaluation	5%	Manage an innovation ecosystem (partners, universities, customers and suppliers)	9%

Tableau 23 : Rôles de *l'expert ressources* & rôles de *l'expert stratège*

Bien que 40% des experts déclarent que leur rôle dans les processus d'innovation n'est pas clairement défini et reconnu dans l'organisation[63], 78% d'entre eux estiment que les experts ont une responsabilité importante dans la création d'innovation. De plus, 72% des experts font la distinction entre innovation incrémentale (amélioration continue des produits et technologies existants) et innovation de rupture (changements profonds sur le plan technologique et économique, nécessitant la création de nouvelles expertises) [Figure 59].

[62] Nous avons volontairement sélectionné les 6 premières propositions sur un total de 23 propositions. Cf. Annexes pour plus de détails.
[63] Seulement 20% des experts déclarent que leur rôle dans les processus d'innovation est clairement défini et reconnu dans l'organisation.

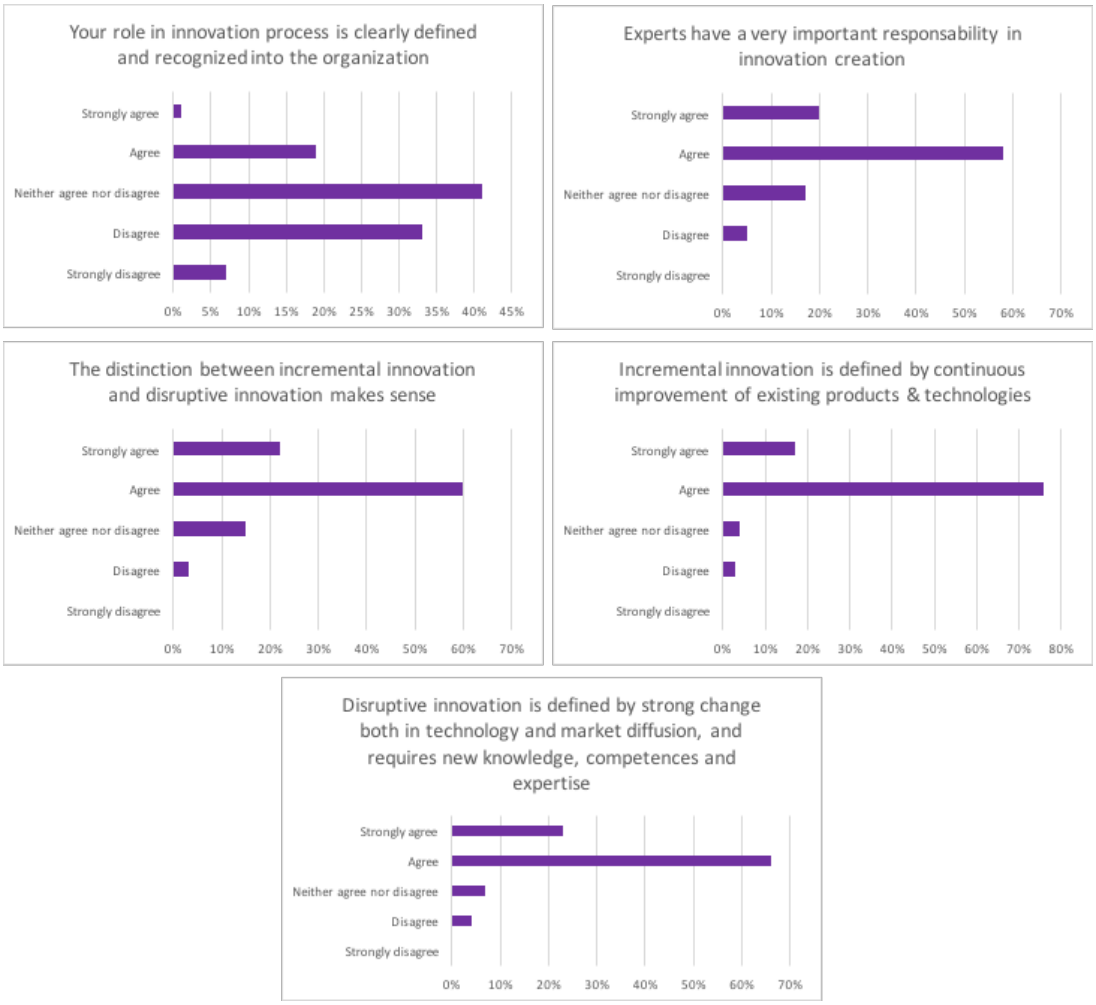


Figure 59: Distinction entre innovation incrémentale & innovation de rupture

D'autre part, comme le souligne le tableau ci-dessous [Tableau 24], nous constatons que les principaux rôles[64] attribués aux experts diffèrent de façon importante en fonction du type d'innovation (innovation incrémental ou innovation de rupture).

[64] Nous avons volontairement sélectionné les 3 premières propositions sur un total de 6 propositions. Cf. Annexes pour plus de détails.

As an expert, what are your main roles for incremental innovations?		As an expert, what are your main roles for disruptive innovations?	
Support incremental innovation initiatives to make regular improvements on products and technologies	36%	Support disruptive initiatives that could initiate new expertise and new pertinent concepts	35%
Assist management teams in setting realistic objectives, making informed decisions, and in formulating technological strategies	23%	Support new collaborations and new partnerships for innovative project development	27%
Support dynamic evolution of sustainable expertise and competencies	21%	Support strategies to renew and generate new expertise and competencies	23%

Tableau 24 : Rôles des experts en fonction du type d'innovation

Enfin, nous avons souhaité vérifier, auprès de notre échantillon, l'idée selon laquelle **la création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation** et que le rôle de l'expert en tant que producteur de connaissance tant à diminuer au profit d'un rôle *d'intégrateur de connaissances* (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012).

Premièrement, nous constatons que 67 % des experts estiment que les collaborations en R&D avec les centres universitaires jouent un rôle central dans le développement de nouvelles connaissances et de nouvelles expertises. De plus, 23% des experts déclarent collaborer avec au moins une université ou un centre de recherche, 16% avec au moins deux institutions de recherche, 5% avec trois et 15% avec plus de trois institutions. Deuxièmement, nous remarquons **que 43% des experts déclarent collaborer avec des institutions de recherche spécialisées dans des domaines d'expertise différents des leurs**. Cependant, **50 % des experts ne reconnaissent pas l'idée selon laquelle la collaboration avec des institutions de recherche se résume à la sélection, l'intégration et l'adoption de connaissances et d'expertises uniquement produites dans ces institutions**[65]. En outre, 59% des experts estiment que leur rôle est avant tout d'être en mesure **d'influencer les orientations de recherche dans les laboratoires publics** plutôt que de récupérer des connaissances pour ensuite les intégrer dans l'entreprise [Figure 60].

[65] Seulement 11% des experts estiment que la création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation.

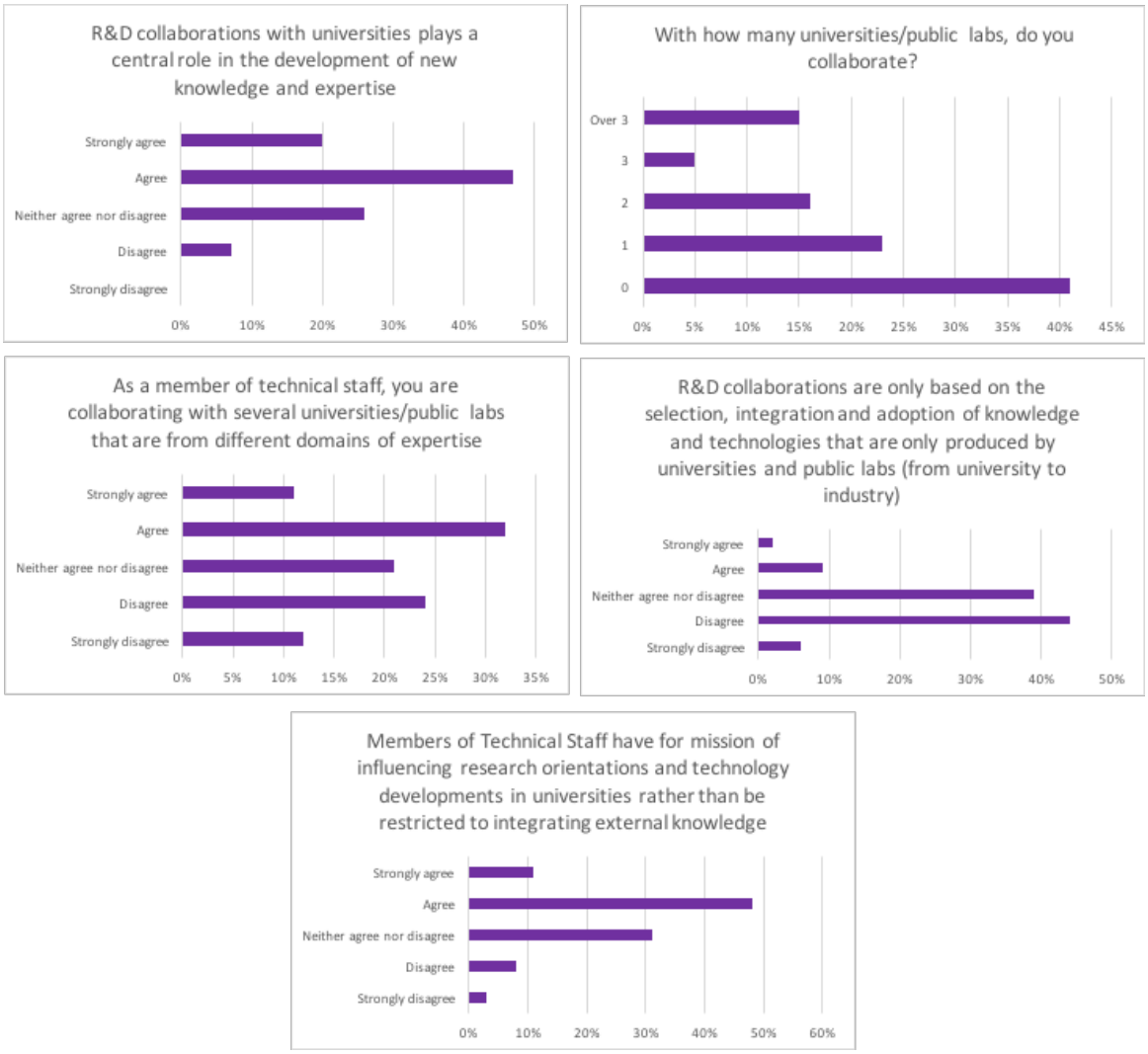


Figure 60: Relations avec les institutions de recherche

4. Caracterisation de l'anomalie & principaux enseignements

Dans ce chapitre nous avons cherché, à partir d'une analyse empirique, à confirmer ou à infirmer les hypothèses qui sous-tendent les principaux modèles de gouvernance de l'expertise que nous avons présentés dans les parties précédentes de ce manuscrit de thèse. A partir de trois bases de données distinctes (questionnaire, base de données sur les expertises issues de la plateforme *Researchgate*, base de données des thèses CIFRE chez STMicroelectronics), nous avons mis en évidence une anomalie. En effet, après avoir identifié des modèles théoriques dans la littérature, nous avons proposé des caractéristiques ou des descripteurs afin de mettre en évidence une anomalie. Pour cela nous avons cherché à vérifier les onze premières caractéristiques qui correspondent aux modèles théoriques. Notre analyse empirique nous a ensuite permis d'infirmer chacune de ces caractéristiques et de mettre en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature [Tableau 25].

	Modèle théorique	Analyse empirique chez STMicroelectronics
Modèle de GRH : orientation professionnelle, satisfaction & reconnaissance de l'expertise dans l'organisation	(1) Les experts sont reconnus par l'organisation par l'intermédiaire de la filière technique (double échelle et communautés de métier). (2) Le statut d'expert est corrélé à sa durée d'expérience dans un domaine d'expertise particulier.	(1) Les experts de l'organisation ne sont pas nécessairement membres de la filière technique (double échelle). (2) Le statut d'expert n'est pas nécessairement corrélé à la durée d'expérience.
Modèle de coordination et d'action collective	(3) Un expert est rattaché à un seul champ d'expertise et son statut d'expert est reconnu selon ce champ. (4) L'action collective des experts s'effectue au sein des métiers (i.e. au sein de chaque champ d'expertise). (5) Il n'y a pas de collaboration entre les experts de différents domaines d'expertise.	(3) Les experts sont multi-expertise. Ils sont reconnus par leurs pairs selon plusieurs domaines d'expertise. (4) L'action collective des experts n'est pas circonscrite aux collectifs de métier. (5) Il y a des collaborations entre des experts de différents domaines d'expertise pour l'émergence de nouvelles expertises.
Dynamique de l'émergence de l'expertise	(6) Les champs d'expertise sont stables et reconnus par l'organisation. (7) La dynamique du renouvellement des expertises est lente. (8) L'émergence de nouveaux champs d'expertise est rare et provient généralement de l'extérieur de l'organisation.	(6) Les champs d'expertise sont instables et généralement difficilement identifiables. (7) La dynamique d'évolution des expertises est particulièrement rapide. (8) L'émergence de nouveaux champs d'expertise est régulière et conséquente.
Rôle des experts dans l'organisation et dans les processus d'innovation	(9) Le rôle des experts dans l'organisation est d'être une ressource pour le décisionnaire, c'est-à-dire que l'intervention de l'expert se limite à apporter une information aux décisionnaires qui ont en fait la demande. (10) Le rôle de l'expert ne varie pas selon le type de potentiel d'innovation (incrémentale ou de rupture). (11) La création de nouveaux champs d'expertise s'effectue principalement à l'extérieur de l'organisation (laboratoires de recherche, entreprises, etc.). L'expert a donc pour mission d'intégrer des expertises externes à l'entreprise.	(9) Le rôle des experts ne se limite pas à être une ressource pour le décisionnaire : expert ressource vs. expert stratège. (10) Les rôles des experts diffèrent de façon importante en fonction du type d'innovation (innovation incrémentale ou innovation de rupture). (11) La création de nouveaux champs d'expertise s'effectue à l'intérieur de l'organisation. L'expert a pour mission d'influencer les orientations de recherche dans les laboratoires publics plutôt que de récupérer des connaissances pour ensuite les intégrer dans l'entreprise.

Tableau 25: Analyse du régime d'émergence d'expertise chez STMicroelectronics

5. SYNTHESE DU CHAPITRE 6

Dans ce chapitre nous avons présenté **les dispositifs de gestion des experts chez STMicroelectronics ainsi que la dynamique des expertises dans cette même organisation.**

Premièrement, nous avons présenté l'ensemble des dispositifs existants parmi lesquels la double échelle, les *Technical Advisory Committees*, la charte des experts, l'observatoire des métiers, le réseau social d'entreprise spécialement dédié aux experts. De plus, nous avons analysé ces dispositifs en fonction des dispositifs existants dans d'autres entreprises industrielles : Renault, Safran et Schneider Electric. Nous avons montré que ces dispositifs sont communément utilisés par la plupart des entreprises industrielles, telles qu'IBM, Danone, Areva, Google, HP, Xerox, Microsoft, Raytheon, Renault, Thales, etc. D'autre part, **nous avons souligné que ces dispositifs s'interprètent parfaitement dans les modèles théoriques de la gestion des experts et de l'expertise que nous avons présentés dans les chapitres précédents.**

Deuxièmement, à partir d'une analyse empirique, **nous avons cherché à confirmer ou à infirmer les hypothèses qui sous-tendent les principaux modèles de gouvernance de l'expertise, que nous avons présentés dans les chapitres précédents.** A partir de trois bases de données distinctes, nous avons mis en évidence une anomalie. En effet, après avoir identifié des modèles théoriques dans la littérature, nous avons proposé des caractéristiques ou des descripteurs **afin de mettre en évidence une anomalie.** Pour cela nous avons cherché à vérifier les onze premières caractéristiques correspondantes aux modèles théoriques. **Cependant, notre analyse empirique nous a permis d'infirmer chacune de ces caractéristiques et de mettre en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature, parmi lesquels :**

(1) Les experts de l'organisation ne sont pas nécessairement membres de la filière technique (double échelle).
(2) Le statut d'expert n'est pas nécessairement corrélé à la durée d'expérience.
(3) Les experts sont multi-expertise. Ils sont reconnus par leurs pairs selon plusieurs domaines d'expertise.
(4) L'action collective des experts n'est pas circonscrite aux collectifs de métier.
(5) Il y a des collaborations entre des experts de différents domaines d'expertise afin de permettre l'émergence de nouvelles expertises.
(6) Les champs d'expertise sont instables et généralement difficilement identifiables.
(7) La dynamique d'évolution des expertises est particulièrement rapide.
(8) L'émergence de nouveaux champs d'expertise est régulière et conséquente.
(9) Le rôle des experts ne se limite pas à être une ressource pour le décisionnaire : expert ressource vs. expert stratège.
(10) Les rôles des experts diffèrent de façon importante en fonction du type d'innovation (innovation incrémentale ou innovation de rupture).
(11) La création de nouveaux champs d'expertise s'effectue à l'intérieur de l'organisation. L'expert a pour mission d'influencer les orientations de recherche dans les laboratoires publics plutôt que de récupérer des connaissances pour ensuite les intégrer dans l'entreprise.

Etant donné que l'analyse empirique contredit les modèles théoriques issus de la littérature, **nous avons donc démontré que nous sommes face à une anomalie concernant les théories de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles.**

Après avoir identifié les caractéristiques des dispositifs de gestion des experts et la dynamique des expertises chez STMicroelectronics, le prochain chapitre (chapitre 7) a pour objectif de caractériser la nature et les formes de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles.

CHAPITRE 7 – ANALYSE EMPIRIQUE DES FORMES D'EMERGENCE DE L'EXPERTISE CHEZ STMICROELECTRONICS

Chapitre 7 – Analyse empirique des formes d'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics 177

1. Analyse des formes d'émergence de l'expertise à l'aide de représentations graphiques basées sur la théorie des graphes 179

1.1. Structures d'expertise & théorie des graphes 179

1.2. Représentation graphique d'une thèse & principales opérations 180

2. Analyses & simulations des différents modèles d'émergence de l'expertise 181

2.1. Première classe de modèles : modèles basés sur la préservation des structures d'expertise 181

2.1.1. Modèle 1 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 181

2.1.2. Modèle 2 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 184

2.1.3. Modèle 3 : un modèle d'émergence de l'expertise basé l'absorptivité des champs d'expertise 186

2.1.4. Modèle 123 : combinaison des modèles 1, 2 & 3 188

2.2. Seconde classe de modèles : modèle basé sur la réorganisation des structures d'expertise. 189

2.2.1. Modèle 4 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise 189

3. Analyse empirique de l'émergence d'expertise chez STMicroelectronics 191

4. Synthèse du chapitre 7 199

Après avoir mis en évidence les caractéristiques de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics, l'objectif de ce chapitre est de caractériser la nature et les formes de l'émergence de l'expertise. Pour analyser l'émergence de l'expertise, nous nous appuyons sur la même base de données : **647 sujets de thèses sur une période de douze ans (entre 2004 et 2015)** [Tableau 26].

Années	Nombre de nouvelles thèses
2004	34
2005	36
2006	52
2007	58
2008	52
2009	53
2010	69
2011	67
2012	63
2013	55
2014	59
2015	49

Tableau 26 : Répartition du nombre de nouvelles thèses par année

D'autre part, nous souhaitons évaluer les propositions suivantes, notamment pour les confirmer ou les infirmer :

- (12) L'émergence de nouvelles expertises s'effectue sans modification et sans réorganisation des structures d'expertises existantes.
- (13) Les champs d'expertise sont indépendants les uns par rapport aux autres : chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres.

Dans le premier chapitre de ce manuscrit, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle il devait être possible de distinguer deux archétypes de formes d'émergence de l'expertise. Ainsi, dans ce chapitre, nous proposons de mettre en évidence deux classes de modèles d'émergence de l'expertise.

- Une première classe de modèles d'émergence de l'expertise basé sur la préservation des structures d'expertise (régime d'émergence d'expertise isostructurel).
- Une seconde classe de modèles d'émergence de l'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise.

En nous appuyons sur les formes d'émergence de l'expertise, que nous avons identifiées dans notre revue de littérature, nous proposons quatre modèles d'émergence d'expertise correspondant à la première classe de modèles :

- Modèle 1 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise.
- Modèle 2 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.
- Modèle 3 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise.
- Modèle 123 : combinaison des modèles 1, 2 et 3.

Par ailleurs, notamment à partir à des résultats de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (chapitre 6), nous ferons l'hypothèse d'un nouveau modèle d'émergence de l'expertise correspondant à la seconde classe de modèles :

– Modèle 4 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise.

Afin de caractériser ces différents modèles, nous nous appuierons sur une analyse cartographique, basée sur la théorie des graphes[66]. Pour chaque modèle, nous proposerons des simulations d'émergence d'expertise. Enfin, nous comparerons les résultats de nos simulations avec l'analyse empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics. La comparaison entre les résultats des simulations et les résultats de notre analyse empirique nous permettra de conclure sur la nature de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics.

1. ANALYSE DES FORMES D'EMERGENCE DE L'EXPERTISE A L'AIDE DE REPRESENTATIONS GRAPHIQUES BASEES SUR LA THEORIE DES GRAPHES

1.1. STRUCTURES D'EXPERTISE & THEORIE DES GRAPHES

Notre ambition est de mettre en évidence les structures d'expertise au sein de l'organisation et d'en évaluer la nature de leurs dynamiques. Aussi, nous proposons de représenter la structure des expertises sous forme de graphe. La théorie des graphes nous permet de modéliser la structure des expertises (relations d'interdépendances entre les expertises) par des modèles abstraits de dessins de réseaux reliant des objets. D'autre part, l'utilisation de la théorie des graphes pour cartographier des données nous permet de bénéficier de nombreux calculs qu'il est possible d'appliquer aux données étudiées. Cela nous permet notamment de visualiser quels sont les éléments d'un réseau les plus centraux, les plus éloignés, les mieux connectés, etc. D'autre part, la théorie des graphes nous permet de calculer certains paramètres afin d'obtenir des données quantifiables pour chaque état du graphe [Tableau 27].

Paramètres	Définitions	Interprétations
Nœuds (sommets)	Un graphe est un ensemble de points nommés nœuds (ou sommets).	Domaine d'expertise ou champ d'expertise.
Liens (arêtes)	Une arête relie deux sommets dans un graphe.	Relation entre champs d'expertise. Si deux champs d'expertise sont reliés alors ils sont interdépendants.
Degré pondéré	Le degré pondéré du nœud d'un graphe est le nombre de liens reliant ce sommet. Plusieurs liens identiques (*n* liens identiques) reliant deux nœuds identiques sont compté *n* fois.	Caractérise l'importance et l'influence du champ d'expertise dans l'organisation.
Densité	Mesure à quel point le graphe est prêt d'être complet. Un graphe complet a tous les liens possibles et une densité égale à 1.	Caractérise le degré de dépendance des champs d'expertise dans l'organisation vis à vis de l'ensemble des autres domaines d'expertise.

[66] Nous utiliserons le logiciel libre Gephi.

Modularité	La modularité est une mesure de la qualité d'un partitionnement des nœuds d'un graphe en communautés [-1,1].	Caractérise la qualité d'un partitionnement des domaines d'expertises en communautés indépendantes.
Nombre de composantes connexes	Une composante connexe C d'un graphe G = (S, A) est un sous-ensemble maximal de sommets tels que deux quelconques d'entre eux soient reliés par une chaîne.	Caractérise le nombre de communautés de champs d'expertise totalement indépendants.
Coefficient de clustering	Le coefficient de clustering est une mesure du regroupement des nœuds dans un réseau. Ce coefficient mesure à quel point le voisinage d'un sommet est connecté.	Caractérise le degré d'indépendance entre les différents champs d'expertise dans l'organisation.

Tableau 27 : Paramètres d'évaluation de graphes

1.2. Representation graphique d'une these & principales operations

Nous rappelons que nous avons codé chaque sujet de thèse par trois mots clés correspondant à des domaines d'expertise. Chaque domaine d'expertise est représenté par un nœud (ou un sommet) et les relations entre les domaines d'expertise sont des liens (ou arêtes). Deux domaines d'expertise sont liés s'ils apparaissent dans le même sujet de thèse. Ainsi, l'expression graphique d'une thèse et des domaines d'expertise peut se représenter de la façon suivante [Figure 61] :

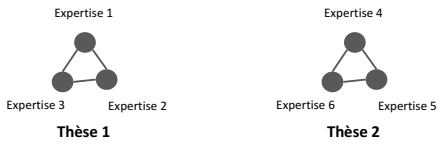


Figure 61 : Représentation graphique d'une thèse et des domaines d'expertise

A partir de cette représentation, il est possible d'en déduire les opérations suivantes [Figure 62] :

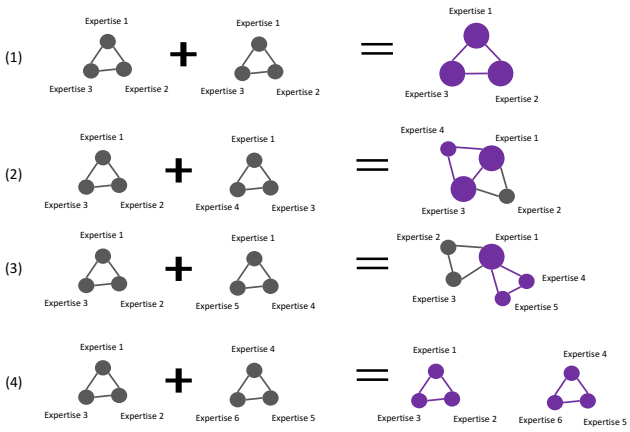


Figure 62 : Les différentes opérations utilisées dans les simulations

Il est important de souligner que la taille des sommets des graphes (nœuds) augmente en fonction du nombre d'arêtes en relation avec ce même sommet (i.e., augmente en fonction du degré pondéré du sommet). Par exemple, dans la première opération (1) le degré pondéré du nœud *expertise 1* passe de 2 à 4. Cependant, le degré du nœud *expertise 1* est égal à 2 avant et après l'opération. Cela nous permet notamment de mettre en évidence les domaines d'expertise les plus importants dans l'organisation, ainsi que leurs évolutions : plus la taille d'un nœud est important, plus l'expertise est importante au sein de l'organisation. A partir de notre revue de littérature, présentée dans la première partie de cette thèse, nous proposons maintenant de mettre en évidence quatre modèles d'émergence de l'expertise ainsi que leurs représentations graphiques.

2. ANALYSES & SIMULATIONS DES DIFFERENTS MODELES D'EMERGENCE DE L'EXPERTISE

2.1. PREMIERE CLASSE DE MODELES : MODELES BASES SUR LA PRESERVATION DES STRUCTURES D'EXPERTISE

2.1.1. Modèle 1 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise

L'émergence d'expertise résulte d'un processus d'apprentissage et **repose sur la cumulativité des savoirs** (*« mouvement linéaire d'empilement des savoirs »*) : les nouvelles expertises se construisent sur la base d'expertises existantes. Il n'y a pas de changement dans les fondamentaux des métiers, des compétences, des architectures de produits, des modèles économiques et les relations entre champs d'expertise sont inchangées. Il y a bien un accroissement d'expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie pas l'ensemble des structures d'expertise. Il s'agit d'une amélioration continue apportée à un ensemble cohérent et structuré de connaissances, de savoirs et de savoir-faire existants [Figure 63].

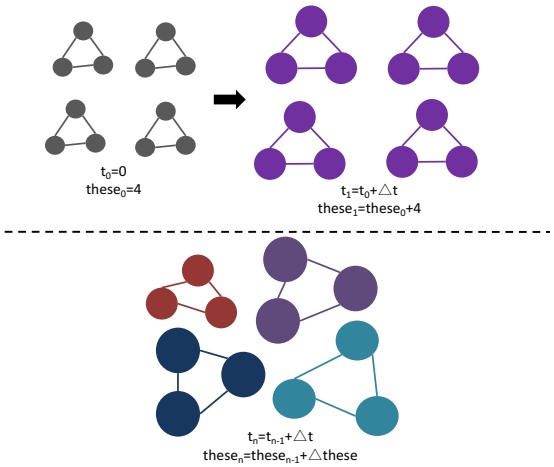


Figure 63 : Représentation graphique du modèle 1

A partir de ce modèle d'émergence, nous proposons une simulation basée sur une dynamique aléatoire mais respectant les caractéristiques d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise [Figure 64]. Dans cette simulation, nous pouvons mettre en évidence plusieurs caractéristiques[67] :

- Les degrés pondérés des nœuds évoluent de manière croissante (l'importance des expertises augmente en fonction du temps). En 2004 le degré pondéré moyen du graphe est de 6,8 ; en 2015 il est de 129,4.
- La densité est faible et constante (la modularité des graphes est de 0,069). En effet, chaque expertise n'est reliée qu'à deux autres expertises.
- La modularité est importante (proche de 1).
- Le nombre de composantes connexes est constant (il y a toujours 10 champs d'expertise indépendants).

[67] Les valeurs numériques sont les résultats de calculs effectués à l'aide du logiciel Gephi.

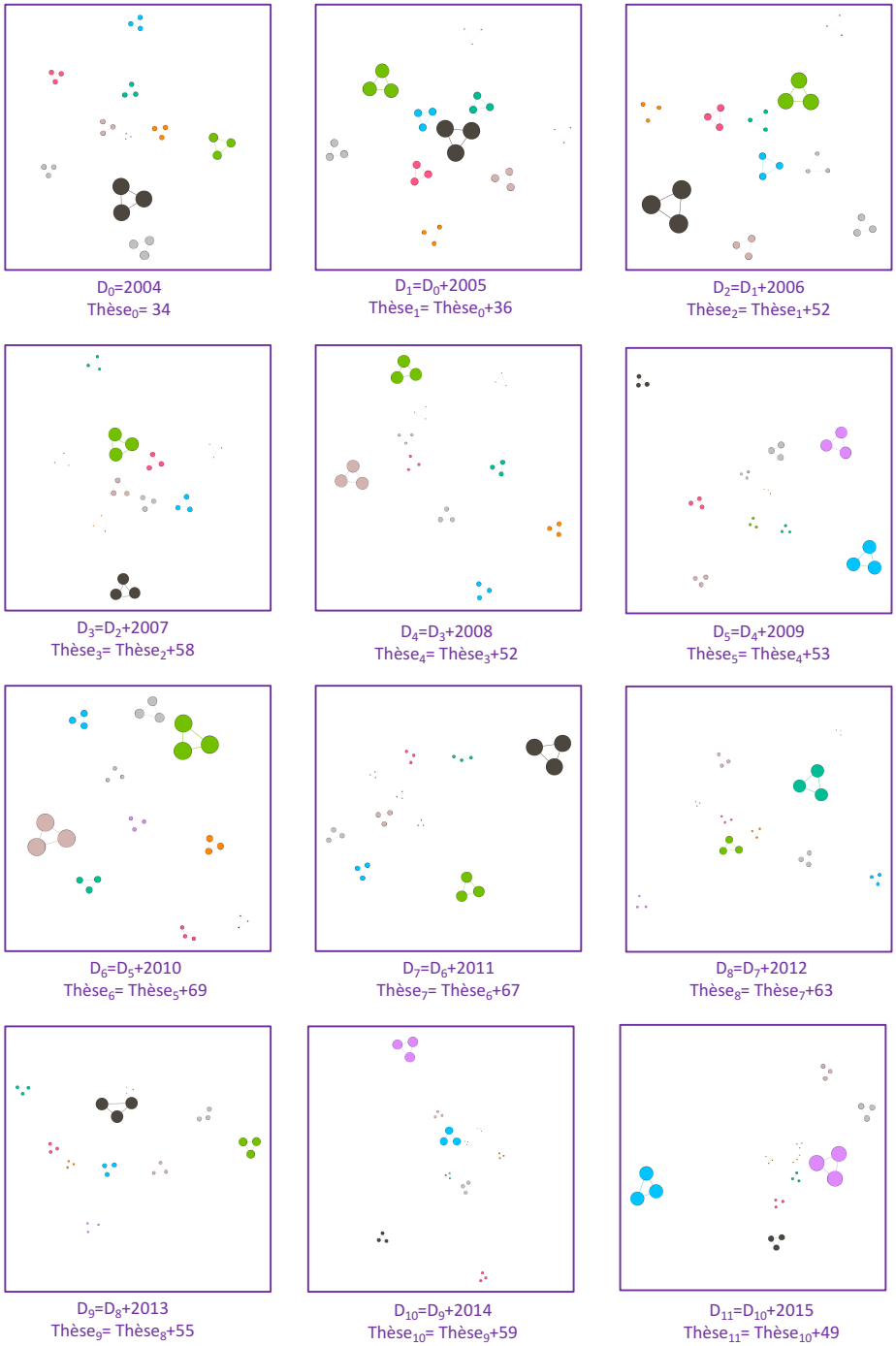


Figure 64 : Simulation d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise[68]

[68] Chaque carré représente une simulation. Ainsi, la taille et la couleur des nœuds sont relatives à chaque simulation.

2.1.2. Modèle 2 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise, il y a bien création de nouvelles expertises, mais il s'agit d'évolution incrémentale afin de permettre la combinabilité des champs d'expertise. L'émergence de nouvelles expertises s'effectue sur la base de structures de champs d'expertises existantes indépendamment des autres champs d'expertises [Figure 65].

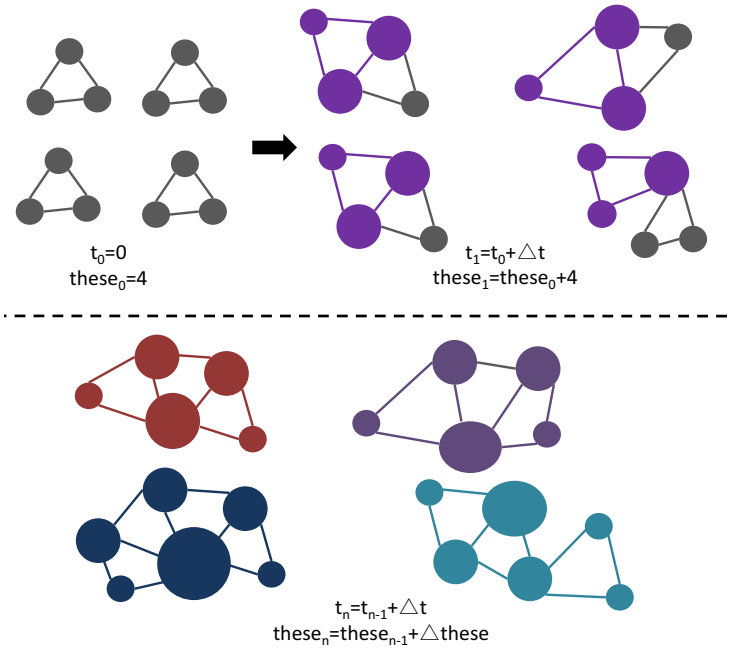


Figure 65 : Représentation graphique du modèle 2

Nous proposons ainsi une simulation basée sur une dynamique aléatoire mais respectant les caractéristiques d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise [Figure 66]. Dans cette simulation, nous pouvons mettre en évidence plusieurs caractéristiques :

- Les degrés pondérés des nœuds sont relativement stables en fonction du temps. Les degrés pondérés varient de 3,8 en 2004 à 5 en 2015.
- La densité est faible.
- La modularité est importante.
- Le nombre de composantes connexes est constant (il y a toujours 10 champs d'expertise indépendants).

Figure 66 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise

2.1.3. Modèle 3 : un modèle d'émergence de l'expertise basé l'absorptivité des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise, l'émergence de nouvelles expertises s'effectue indépendamment des réseaux d'expertises existantes. L'émergence de nouveaux champs d'expertise s'effectue par intégration ou absorption de champs d'expertise extérieurs à l'organisation. Ces nouveaux réseaux d'expertises indépendants sont caractéristiques de l'émergence de nouveaux modules, permettant d'assurer une grande variété de fonctionnalités et d'applications [Figure 67].

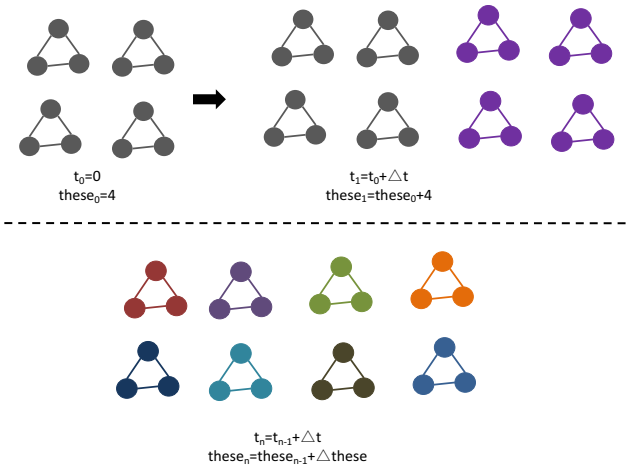


Figure 67 : Représentation graphique du modèle 3

Nous proposons une simulation basée sur une dynamique aléatoire mais respectant les caractéristiques d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise [Figure 68]. Dans cette simulation, nous pouvons mettre en évidence plusieurs caractéristiques :

- Les degrés pondérés des nœuds sont constants. La valeur des degrés pondérés est de 2. En effet, chaque champ d'expertise ne possède que deux relations.
- La densité est extrêmement faible.
- La modularité est importante.
- Le nombre de composantes connexes évoluent de manière croissante (il y a 34 champs d'expertise indépendants en 2004 et 647 en 2015).

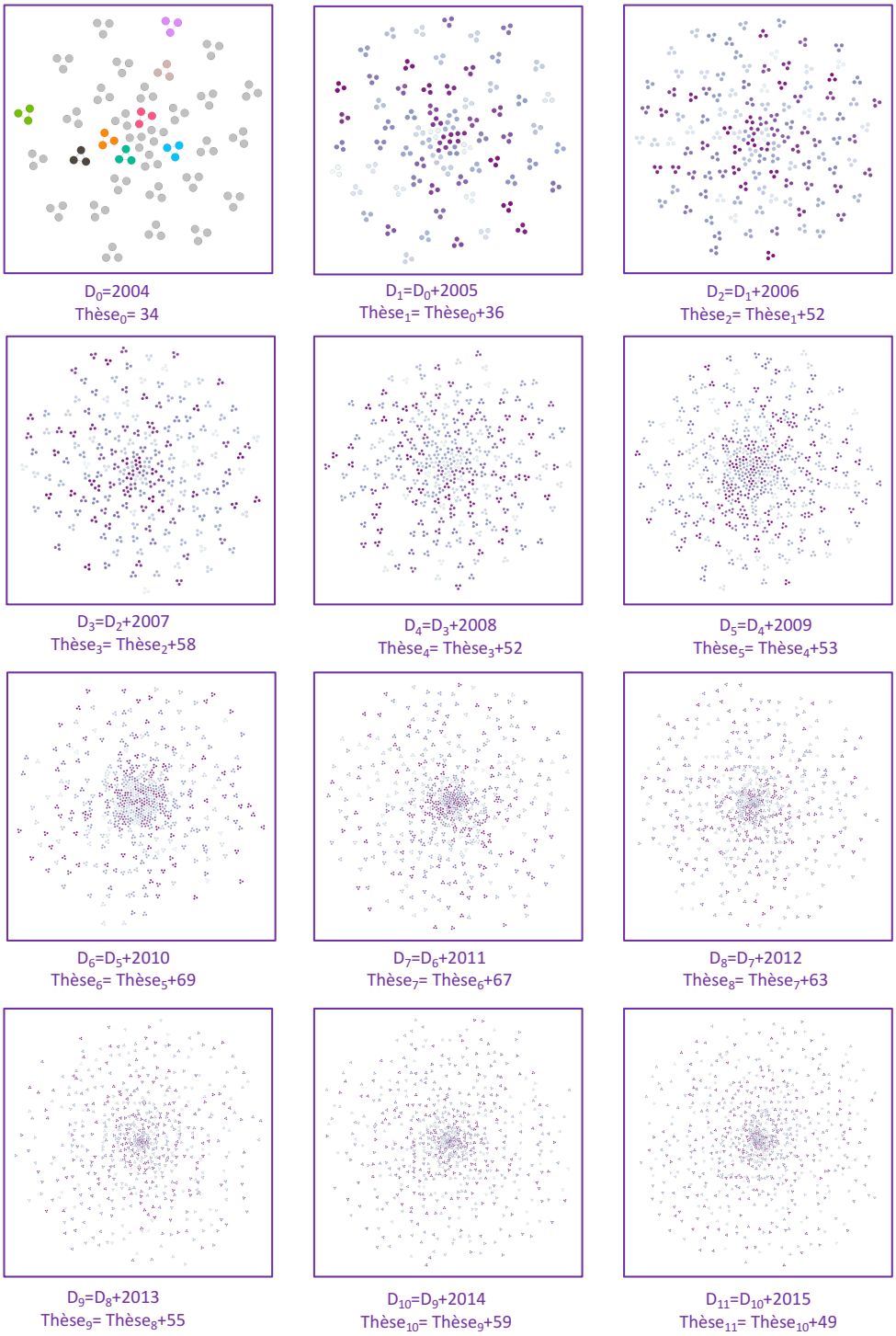


Figure 68 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé l'absorptivité des champs d'expertise

2.1.4. Modèle 123 : combinaison des modèles 1, 2 & 3

Le modèle 123 correspond à une combinaison des modèles 1, 2 et 3 [Figure 69 & Figure 70].

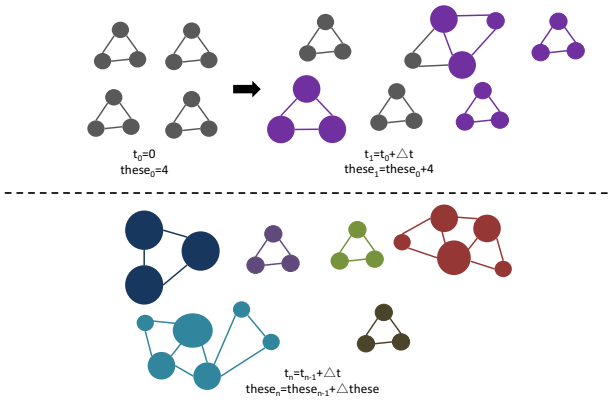


Figure 69: Représentation graphique du modèle 123

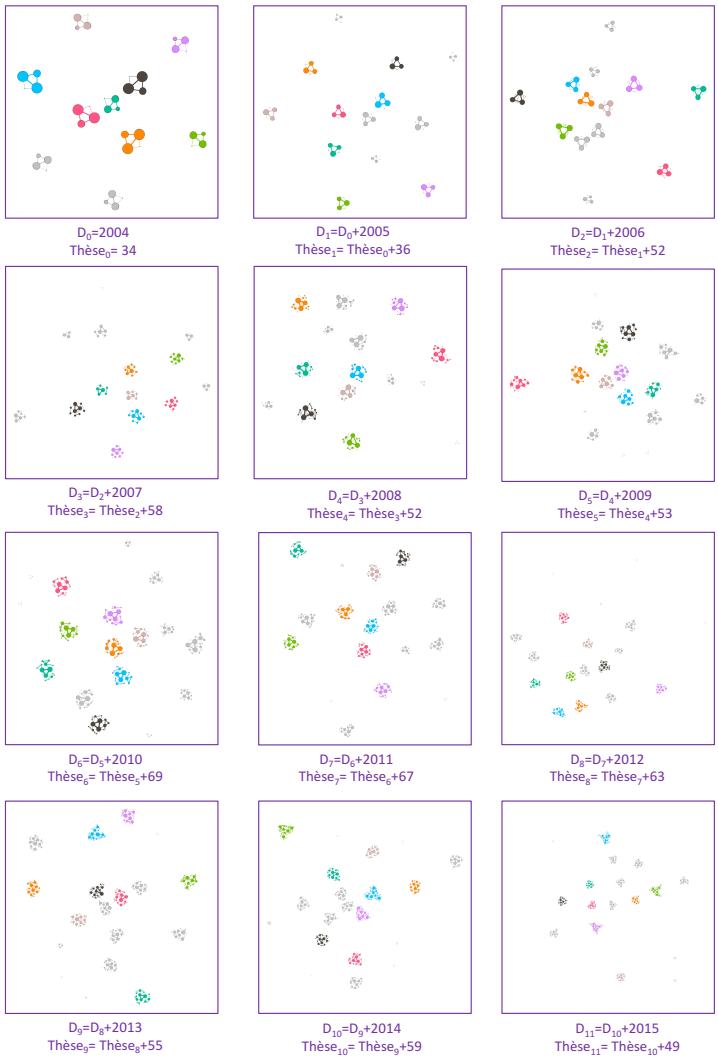


Figure 70: Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise isostructurel (combinaison des modèles 1, 2 & 3)

2.2. Seconde classe de modeles : modele base sur la reorganisation des structures d'expertise

2.2.1. Modèle 4 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise

Précédemment, nous avons mis en évidence que les domaines d'expertises ne sont pas indépendants, mais interdépendants. D'autre part, nous avons souligné que la coordination, la coopération et l'action collective des experts ne se limitent pas aux collectifs de métiers. Enfin, nous avons démontré que les relations entre experts se basent sur des collaborations multidisciplinaires. Aussi, il devient possible de proposer un quatrième modèle : émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise [Figure 71].

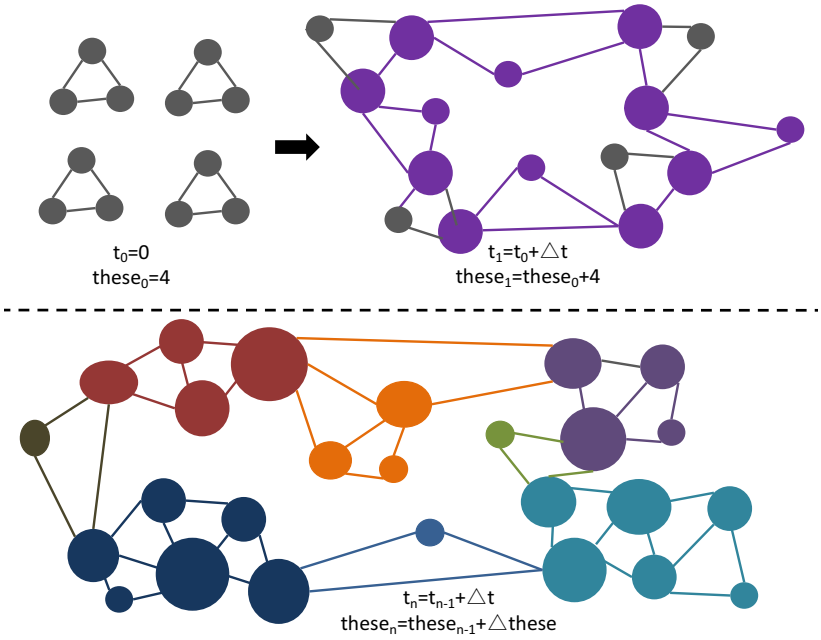


Figure 71 : Représentation graphique du modèle 4

Nous proposons une simulation basée sur une dynamique aléatoire mais respectant les caractéristiques d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise [Figure 72]. Dans cette simulation, nous pouvons mettre en évidence plusieurs caractéristiques :

- Les degrés pondérés des nœuds sont relativement stables en fonction du temps. Les degrés pondérés varient de 3,8 en 2004 à 5 en 2015.
- La densité est faible. Elle reste inférieure à 0,055.
- La modularité est décroissante. Cependant, le graphe reste modulaire.
- Le nombre de composantes connexes est décroissant et tend vers 1 (les champs d'expertise deviennent dépendants les uns des autres).

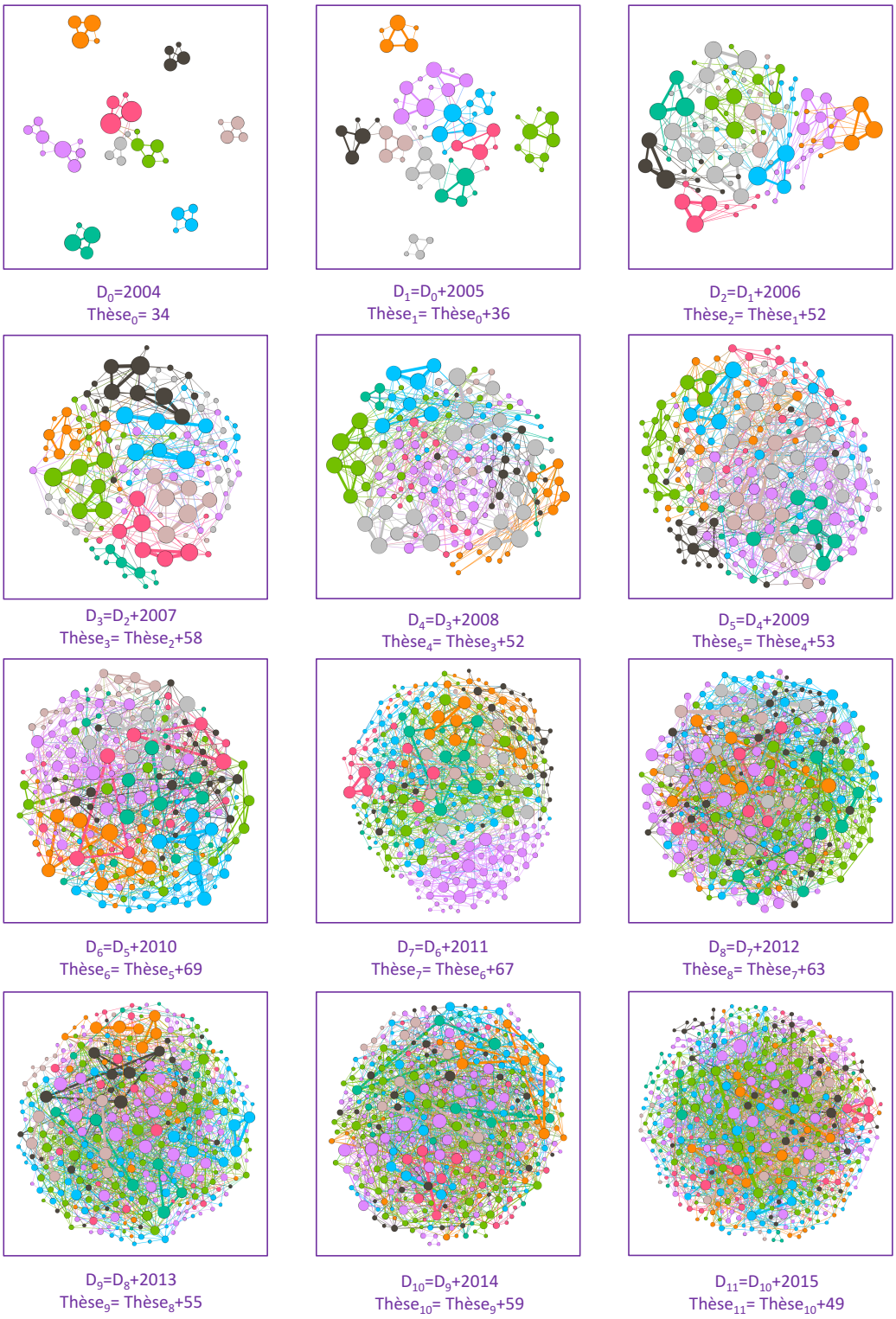


Figure 72 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise

3. Analyse empirique de l'emergence d'expertise chez STMicroelectronics

Pour analyser l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics, nous nous sommes appuyés sur le même logiciel open source d'analyse et de visualisation de réseaux que nous avons utilisé pour les simulations précédentes : *Gephi*. Le traitement des données s'est effectué par l'intermédiaire de plusieurs algorithmes, notamment *Force Atlas 2* pour l'analyse de complémentarités, *Modularity Class* pour identifier les relations entre les nœuds et mettre en avant des communautés et enfin *Centralité Eigenvector* pour mettre en avant les nœuds les plus importants du réseau. La visualisation, ci-dessous, permet de mettre en évidence l'ensemble des structures d'interdépendance des expertises chez STMicroelectronics [Figure 73].

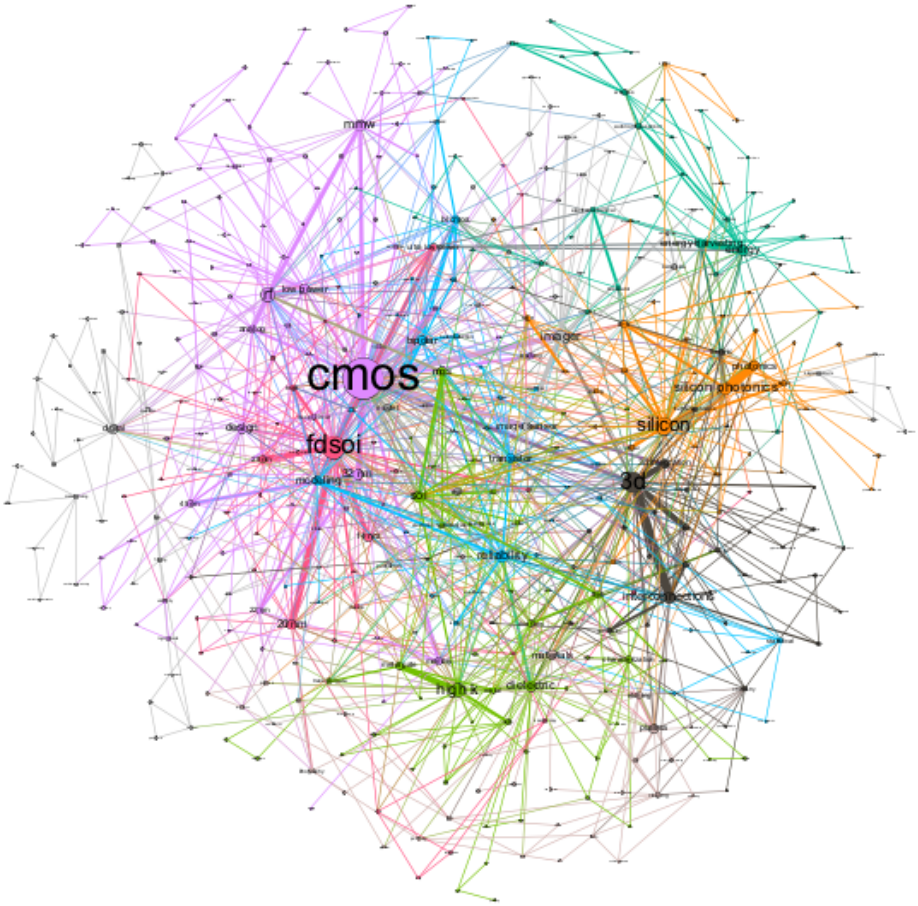


Figure 73 : Structure des expertises chez STMicroelectronics en 2015

L'analyse empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics est présentée dans la figure ci-dessous [Figure 74].

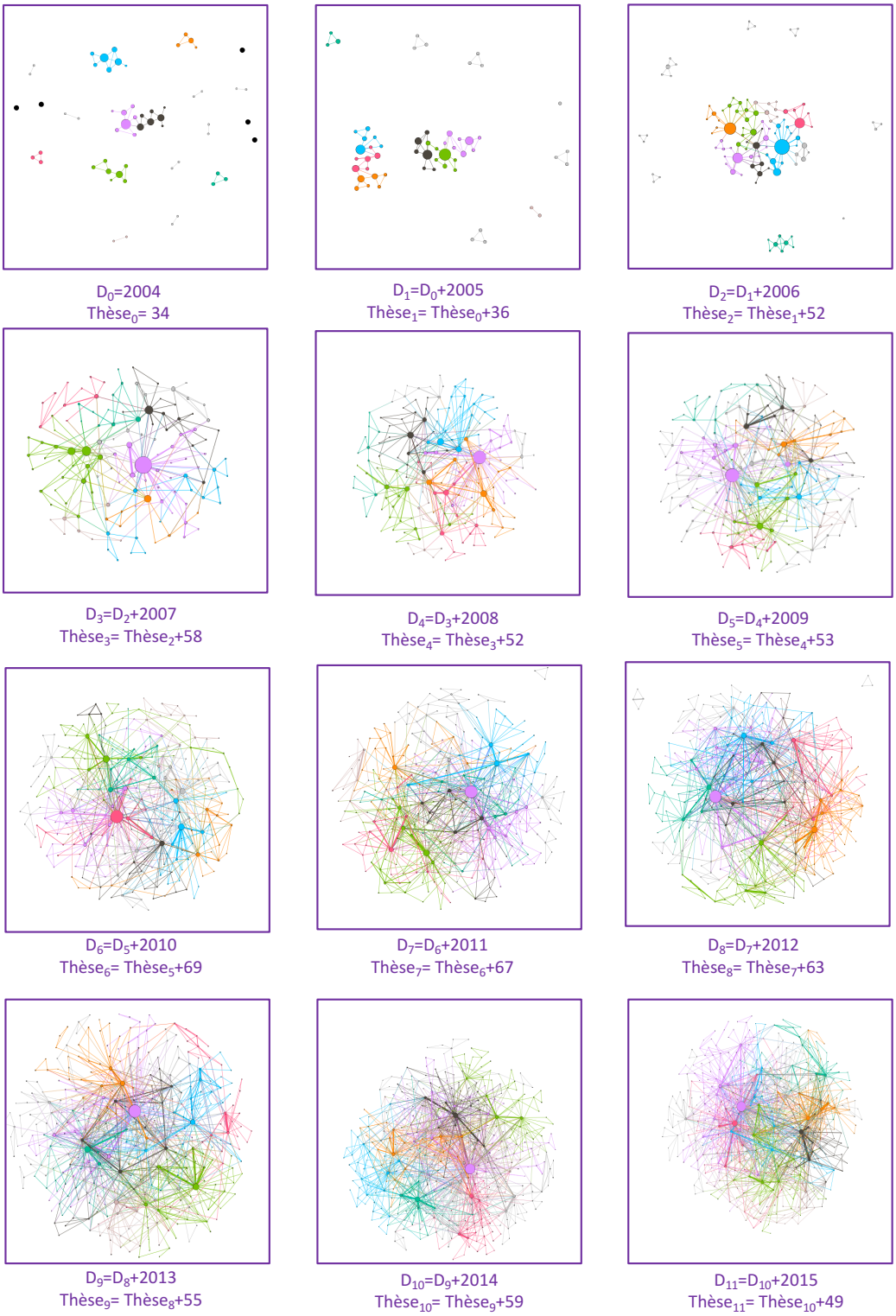


Figure 74 : Analyse empirique de l'émergence d'expertise chez STMicroelectronics

Nous proposons maintenant de comparer les représentations graphiques [Figures 76 à 79] ainsi que les caractéristiques des graphes [Figure 75] des différents modèles avec notre analyse empirique chez STMicroelectronics. Ainsi, nous comparons le modèle 123 (combinaison des trois modèles 1, 2 et 3 : modèle d'émergence isostructurel) et le modèle 4 (modèle d'émergence basé sur la restructuration des champs d'expertise) avec les résultats de notre analyse empirique. Afin de gagner en clarté, nous avons procédé à un filtrage afin de ne garder que les nœuds les plus importants du réseau. En nous appuyant principalement sur l'analyse des paramètres de densité, de modularité, du nombre de composantes connexes et du coefficient de clustering, cette comparaison nous permet de mettre en évidence les principales différences entre les modèles théoriques issues de la littérature académique et notre analyse empirique.

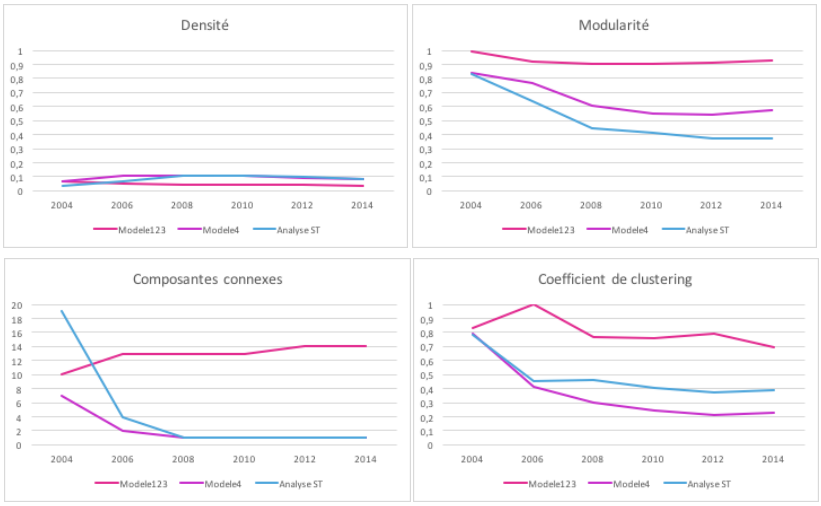


Figure 75 : Caractéristiques des graphes des différents modèles

Premièrement, nous constatons que la densité des graphes des différents modèles et de l'analyse empirique est similaire et faible (entre 0,05 et 0,1). Nous rappelons que la densité mesure à quel point le graphe est prêt d'être complet. Un graphe est complet (densité =1) si tous les nœuds sont reliés entre eux. Or, un graphe d'expertise complet signifierait que tous les domaines d'expertises seraient dépendants de l'ensemble des autres domaines d'expertise ; ce qui n'a pas de sens. Deuxièmement, en observant l'évolution de la modularité, nous pouvons observer que notre analyse empirique se rapproche de notre modèle 4. La modularité caractérise la qualité d'un partitionnement des domaines d'expertises en communautés indépendantes. Dans le modèle 123, la modularité est importante (modularité proche de 1) et constante. En effet, comme on peut le remarquer dans la figure ci-dessous [Figures], l'émergence de l'expertise s'effectue en conservant des communautés de domaines d'expertise indépendants . A l'inverse, dans le modèle 4 la modularité est décroissante, c'est-à-dire que le degré de partitionnement des domaines d'expertises en communautés indépendantes est beaucoup moins important [Figures]. En outre, nous constatons aussi que le coefficient de clustering, caractérisant le degré d'indépendance entre les différents champs d'expertise dans l'organisation, est fortement décroissant dans le modèle 4 et l'analyse empirique. Enfin, nous constatons que les dynamiques d'évolution du nombre de composantes connexes de notre analyse empirique et du modèle 4 sont similaires. En effet, le nombre de communautés de champs d'expertise totalement indépendants a tendance à augmenter dans le modèle 123 alors qu'il diminue pour

le modèle 4 et l'analyse empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics. Dans le modèle 4 et l'analyse empirique, le nombre de composantes atteint la valeur de 1, ce qui signifie qu'il n'existe plus de communautés de champs d'expertise totalement indépendantes.

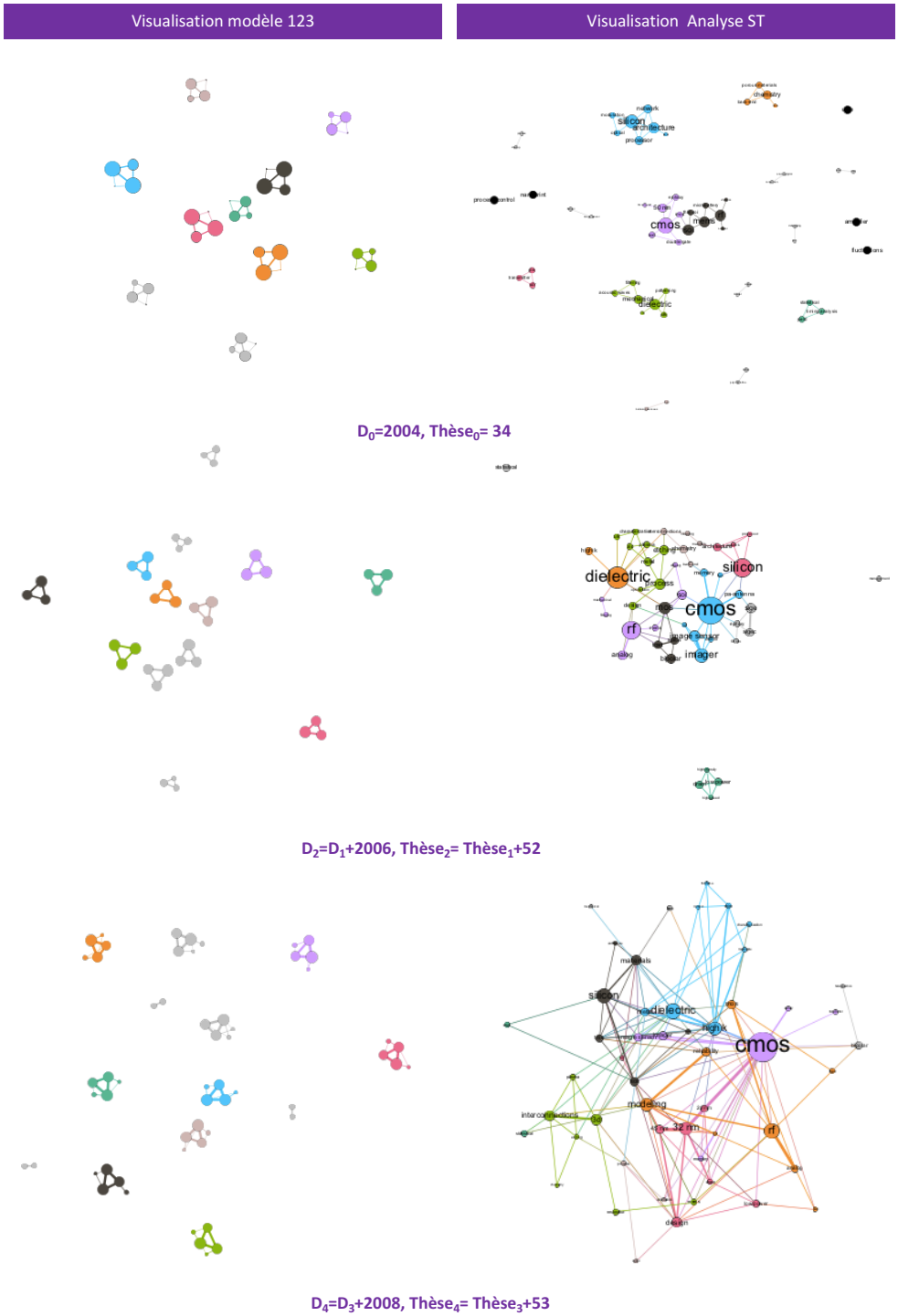


Figure 76 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 123 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2004-2008)

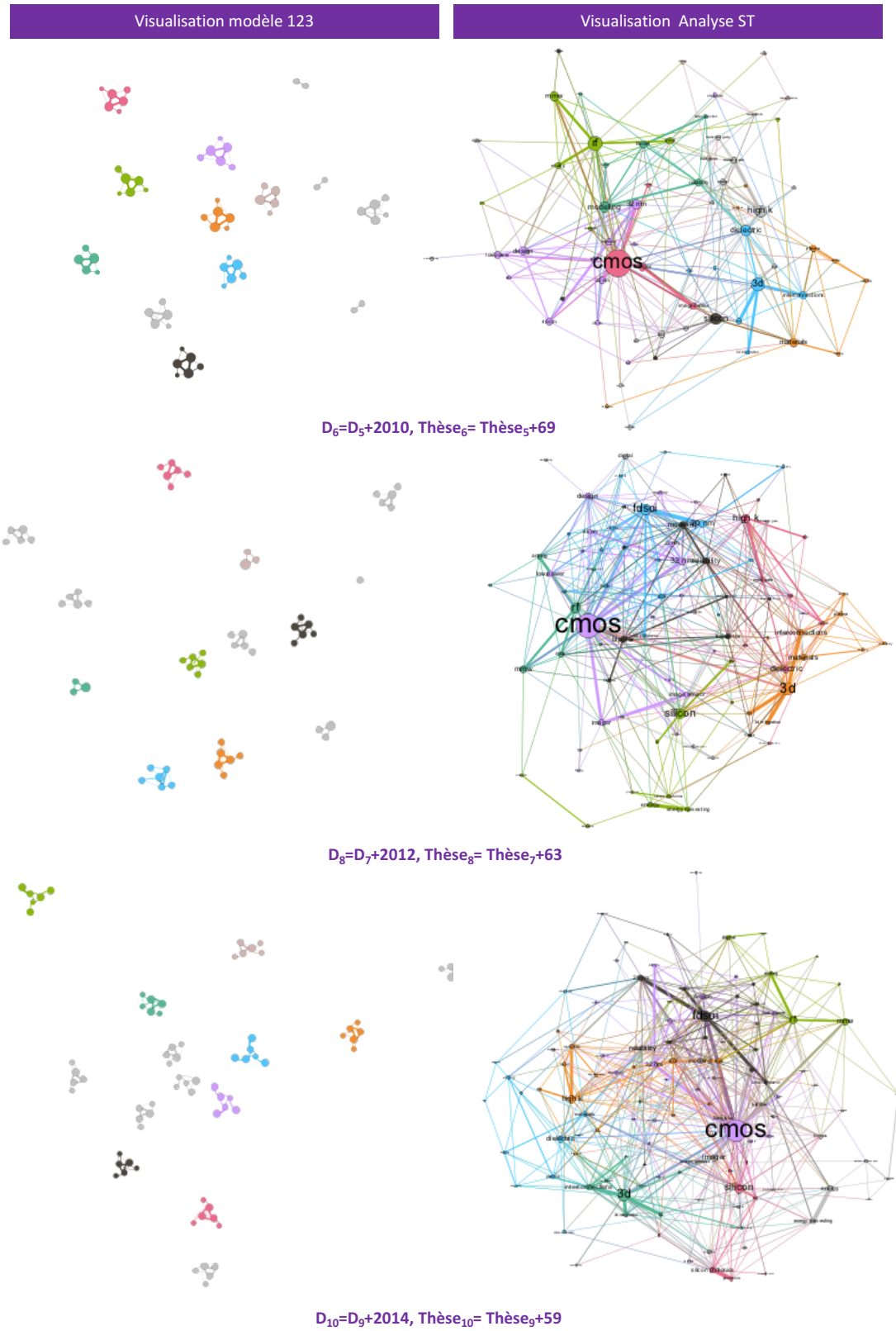


Figure 77 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 123 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2010-2014)

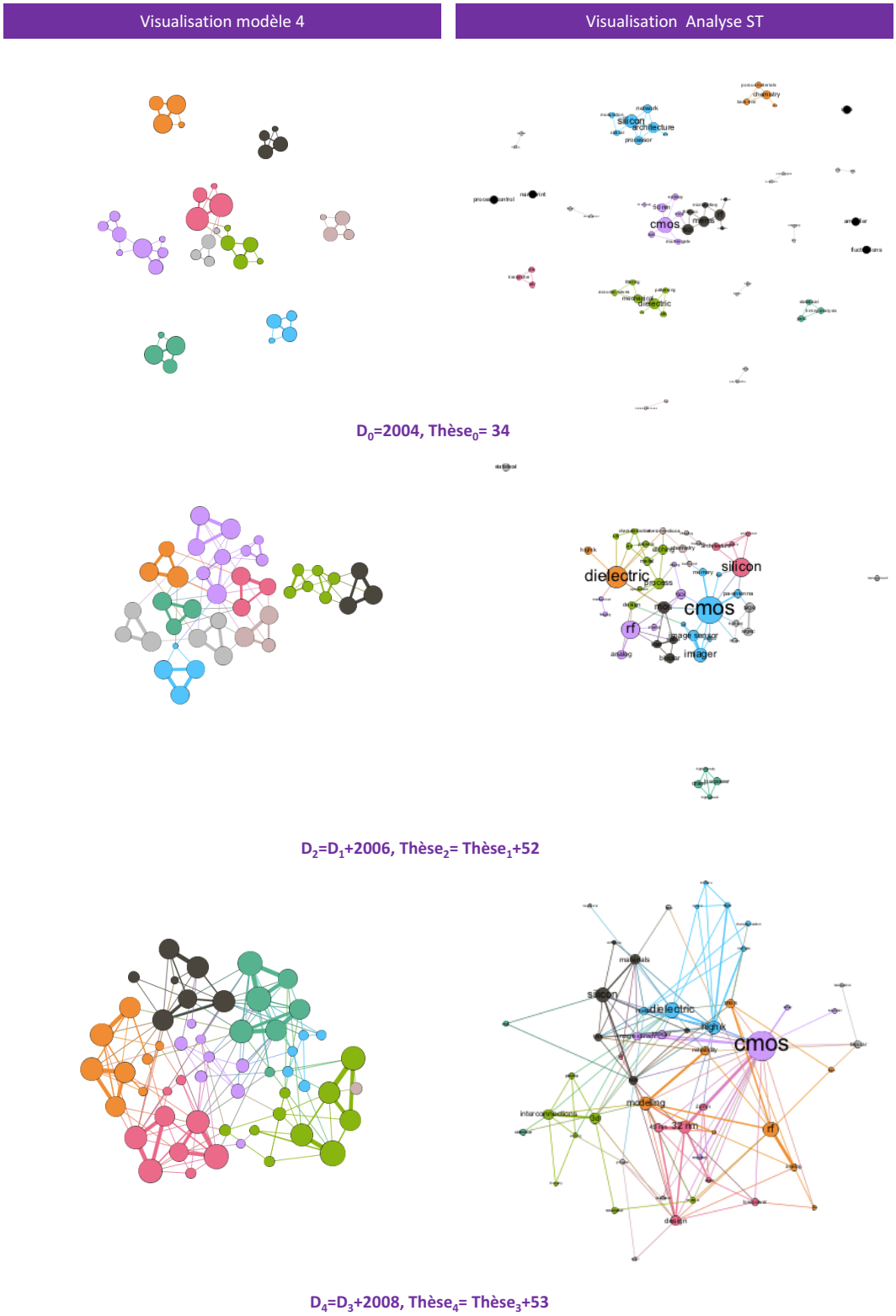


Figure 78 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 4 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2004-2008)

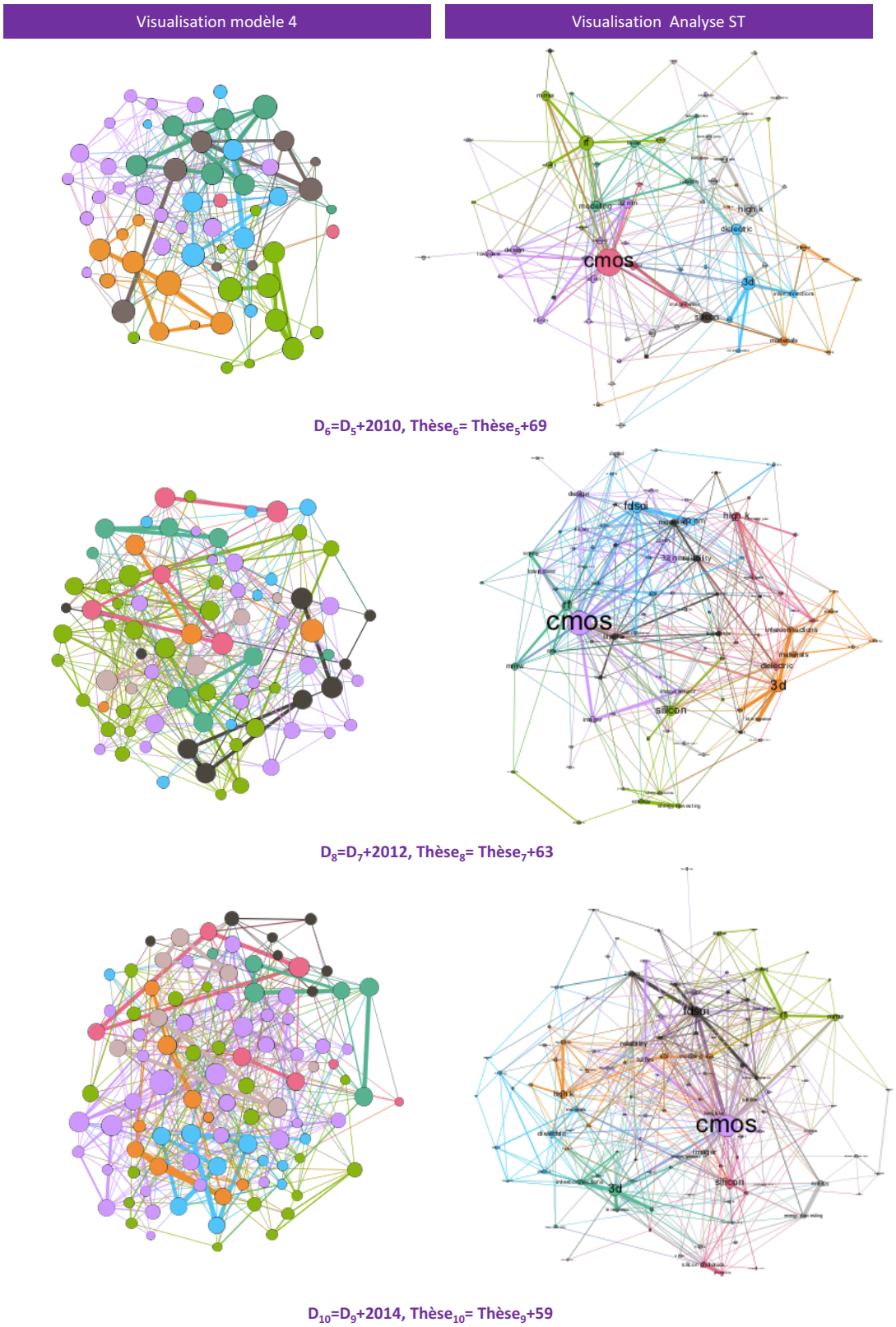


Figure 79 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 4 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2010-2014)

Cette analyse nous permet de confirmer les hypothèses que nous avions formulées, sur la base de notre enquête auprès des experts de STMicroelectronics :

- La création de nouveaux domaines d'expertise implique des modifications dans d'autres domaines d'expertise.
- Les domaines d'expertise sont interdépendants.

Ainsi, notre analyse empirique met en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature et d'infirmer chacune des caractéristiques qui détermine les formes et les dynamiques de l'émergence de l'expertise identifiées dans la littérature [Tableau 28].

	Modèle théorique ***(Modèle 123)***	**Analyse empirique chez STMicroelectronics**
Formes & dynamique de l'émergence de l'expertise	(12) L'émergence de nouvelles expertises s'effectue sans modification et sans réorganisation des structures d'expertises existantes. (13) Les champs d'expertise sont indépendants les uns par rapport aux autres : chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres.	(12) L'émergence de nouvelles expertises s'effectue avec modification et réorganisation des structures d'expertises existantes. (13) Les champs d'expertise sont interdépendants : chaque champ d'expertise évolue en interdépendance avec les autres champs d'expertise

Tableau 28 : Analyse du régime d'émergence d'expertise chez STMicroelectronics

D'autre part, après avoir identifié des modèles théoriques dans la littérature, nous avons proposé des modèles de simulation associés. Puis, nous avons cherché à comparer l'analyse empirique chez STMicroelectronics avec les différentes simulations de l'émergence de l'expertise. A l'aide de la théorie des graphes, nous avons cherché à visualiser les différents modèles d'émergence et à les caractériser par l'intermédiaire de données quantifiables (densité, modularité, etc.). Cette analyse nous permet de souligner que le modèle d'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics correspond à un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise (modèle 4).

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 7

Ce chapitre nous a permis de caractériser la nature et les formes de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics.

Premièrement, notre ambition fut de mettre en évidence les structures d'expertise au sein de l'organisation et d'en évaluer la nature de leurs dynamiques. **Aussi, nous avons proposé de représenter la structure des expertises sous forme de graphe.**
Deuxièmement, en nous appuyant sur les hypothèses formulées dans la première partie de cette thèse, nous avons proposé de mettre en évidence **deux classes de modèles d'émergence de l'expertise :**

- Une première classe de modèles d'émergence de l'expertise basé sur la préservation des structures d'expertise (régime d'émergence d'expertise isostructurel).
- Une seconde classe de modèles d'émergence de l'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise.

En se basant sur notre revue de littérature, nous avons proposé quatre modèles d'émergence d'expertise correspondant à la première classe de modèles :

- Modèle 1 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise.
- Modèle 2 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.
- Modèle 3 : modèle d'émergence de l'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise.
- Modèle 123 : combinaison des modèles 1, 2 et 3.

Puis, nous avons émis l'hypothèse d'un nouveau modèle d'émergence de l'expertise correspondant à la seconde classe de modèles : **un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise (Modèle 4).**
Pour chaque modèle nous avons proposé des simulations d'émergence d'expertise. Nous avons comparé les résultats de nos simulations avec l'analyse empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics. La comparaison entre les résultats des simulations et les résultats de notre analyse empirique nous a permis de conclure sur la nature de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics : **l'émergence de l'expertise chez ST correspond à un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise.**

Enfin, nous avons cherché à vérifier les deux principales caractéristiques correspondantes aux modèles théoriques. **Notre analyse empirique nous a permis d'infirmer chacune de ces caractéristiques et de mettre en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature :**
(12) L'émergence de nouvelles expertises s'effectue avec modification et réorganisation des structures d'expertises existantes.
(13) Les champs d'expertise sont interdépendants : chaque champ d'expertise évolue en interdépendance avec les autres champs d'expertise.

Après avoir identifié une anomalie concernant les théories de l'émergence de l'expertise (Partie III), nous allons maintenant proposer un modèle formel intégrateur (Partie IV) afin de rendre compte des différentes formes d'émergence de l'expertise et de répondre à la question de recherche suivante : comment modéliser l'émergence d'expertise et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?

PARTIE IV. – ELABORATION D'UN MODELE FORMEL DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE

Partie IV. – Elaboration d'un modèle formel de l'émergence de l'expertise 178

Chapitre 8 – Modèle formel de l'émergence d'expertises dans les organisations industrielles 203

Chapitre 9 – Emergence & recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics : le cas de l'expertise *FDSOI* et de la *photonique sur silicium*.... 231

CHAPITRE 8 – MODELE FORMEL DE L'EMERGENCE D'EXPERTISES DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

Chapitre 8 – Modèle formel de l'émergence d'expertises dans les organisations industrielles 203

1. Pourquoi & comment modéliser ? 205

1.1. Enjeux & objectifs de la modélisation 205

1.2. Méthodologie 205

2. Un modèle formel de l'émergence d'expertise basé sur la dynamique des structures d'expertises 205

2.1. Dynamique exogène de l'émergence de l'expertise & de l'innovation : entre progrès scientifique et opportunités de marché 206

2.2. Vers une dynamique endogène de l'émergence de l'expertise & de l'innovation : structure d'expertises & relations d'interdépendance 210

2.3. Eléments de théorie des matroïdes 211

***3.* Modèle théorique de la dynamique des structures d'expertises : entre *extension* & *co-extension* 215**

3.1. Un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 218

3.2. Un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 219

3.3. Un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 220

3.4. Un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 221

4. Régimes d'émergence d'expertise & enjeux managériaux 222

4.1. Enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise 223

4.2. Enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise 227

5. Synthèse du chapitre 8 230

L'analyse théorique et empirique de l'émergence d'expertises dans les organisations industrielles a soulevé la difficulté de comprendre les mécanismes d'émergence d'expertises ainsi que leurs influences sur le potentiel d'innovation des firmes. Dans la première partie de ce manuscrit, nous avons souligné les relations complexes entre expertise et innovation. Nous avons montré que la création de nouveaux produits ou technologies est directement reliée à la création de nouvelles expertises qui rendent ces créations possibles. D'autre part, nous avons aussi mis en évidence les limites d'un modèle de l'innovation fondé sur l'expertise. En effet, nous avons mis en exergue que dans les grandes organisations industrielles, la production d'expertise se limite généralement à l'amélioration continue des technologies et produits existants, *i.e.* production d'expertise dans le cadre d'un *dominant design.*

Ainsi, afin de résoudre le paradoxe selon lequel l'expertise renforce et inhibe l'innovation, nous avons introduit le concept de régime d'émergence de l'expertise. Ce concept a pour objectif de souligner la pluralité potentielle des formes d'émergence de l'expertise et leurs interdépendances aux modes de gouvernance de l'expertise. Nous avons fait l'hypothèse qu'il devait exister différentes formes d'émergence d'expertise et que ces différentes formes d'émergence avaient un impact différent en matière de potentiel d'innovation. Nous avions évoqué deux principaux cas : dans le premier cas, l'émergence de nouvelles expertises minimise la réorganisation des savoirs et des expertises existantes ; dans le second cas, l'émergence de nouvelles expertises provoque une restructuration des expertises et déstabilise les *dominant designs* existants. En outre, cette notion de régime d'émergence de l'expertise repose aussi sur le fait que les organisations ont pu adopter différentes formes de gouvernance d'expertise ou qu'elles les ont fait advenir.

Premièrement, notre revue de littérature nous a permis d'identifier trois régimes d'émergence de l'expertise associés à trois modèles de gouvernance de l'émergence de l'expertise. Si ces régimes se différencient selon plusieurs points, il n'en demeure pas moins qu'ils partagent une caractéristique commune fondamentale : ces trois régimes visent à préserver une partie des structures d'expertise et à favoriser une dynamique déterministe de ces structures. Il y a bien émergence de nouvelles expertises mais sans modification et sans réorganisation des expertises existantes.

Deuxièmement, notre analyse empirique de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics nous a permis d'identifier un quatrième régime d'émergence d'expertise basé sur la **restructuration des champs d'expertise impliquant la réorganisation des structures d'interdépendance des champs d'expertise, i.e. émergence de nouvelles expertises avec modification et restructuration profondes des champs d'expertise.**

Ainsi, l'enjeu de ce chapitre est de proposer un modèle théorique intégrateur afin de rendre compte de ces différentes formes d'émergence de l'expertise et de répondre à la question de recherche suivante : **Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?**

1. POURQUOI & COMMENT MODELISER ?

1.1. ENJEUX & OBJECTIFS DE LA MODELISATION

Notre ambition de modélisation repose sur une volonté de proposer une représentation simplifiée du fonctionnement et des mécanismes de l'émergence d'expertises au sein des organisations industrielles. Conformément à cet objectif, nous utilisons la notion de modèle à partir de la définition proposée par Varenne (2011) et largement inspiré de l'informaticien Minsky (1965) : Un modèle est *« un construit matériel – ou formel – qui permet de répondre à un certain nombre de questions au sujet d'un système cible réel, artificiel ou même imaginaire »*. (Varenne, 2011). Notre modèle a pour objectif de réaliser les fonctions épistémiques suivantes :

- Faciliter l'explication intelligible d'un mécanisme complexe en explicitant les interactions causales supposées au moyen de représentations symboliques.
- Faciliter la compréhension d'un phénomène en facilitant sa représentation conceptuelle ainsi que sa dynamique.
- Faciliter la première ébauche ou formulation d'une théorie en proposant des explorations conceptuelles hypothétiques (hypothèses théoriques).

1.2. METHODOLOGIE

La construction de notre modèle théorique repose sur une approche de type *theory building* (Eisenhardt, 1989 ; Eisenhardt & Graebner, 2007). Premièrement, nous avons identifié un phénomène, l'émergence d'expertise, qui rediscute les cadres théoriques existants : il s'agit de l'identification d'une anomalie ou d'un contre-exemple illustrant les limites de ces cadres théoriques (Siggelkow, 2007). L'approche de type *theory building*, quelles que soient ses variantes – *grounded theory* (Glaser & Strauss, 1967), *case study research* (Yin, 2009), *collaborative management research* (David & Hatchuel, 2007) – stipule que face à une lacune théorique, il est nécessaire de faire des « allers-retours » entre les données empiriques et une première formulation théorique afin d'atteindre un niveau de généralité supérieur à celui du cas isolé (Eisenhardt & Graebner, 2007 ; David, 2012). Nous nous basons sur un cas unique (STMicroelectronics) car nous estimons qu'il a été choisi et analysé avec précision et qu'il constitue une base solide à la constitution d'un « *free-standing model* », c'est-à-dire un modèle théorique qui paraît plausible en lui-même et pour lequel le cas sert à identifier les principaux paramètres (Siggelkow, 2007). En effet, le cas n'a pas été choisi pour sa représentativité étant donné qu'il ne vise pas à tester un modèle, mais parce qu'il remet en question le domaine de validité des théories existantes (Eisenhardt & Graebner, 2007).

2. UN MODELE FORMEL DE L'EMERGENCE D'EXPERTISE BASE SUR LA DYNAMIQUE DES STRUCTURES D'EXPERTISES

Comme nous l'avons précisé dans les chapitres introductifs, l'évolution de l'expertise dans les organisations peut difficilement s'interpréter en tant que simple processus contrôlé de production et de

création de connaissances. En effet, une telle vision ne permet pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence d'expertise. En outre, la production et la création de connaissances ne contribuent pas nécessairement à l'innovation et ne participent pas forcément à l'émergence de nouveaux champs d'expertise. Dans la littérature en management, la relation entre l'émergence d'expertises et l'innovation s'est principalement interprétée par des modèles reposant sur deux dynamiques distinctes et indépendantes : une dynamique de l'évolution de l'expertise et une dynamique de l'évolution des produits. D'un côté, l'expertise est considérée comme une ressource permettant d'apporter des améliorations significatives à des produits existants et de permettre d'apporter de nouvelles connaissances pour des produits futurs. D'un autre côté, la conception de produits a pour objectif de proposer des solutions innovantes en fonction des opportunités de marché et d'orienter le développement de l'expertise selon des besoins clairement identifiés. De plus, ces deux modèles partagent une caractéristique commune essentielle : une dynamique fondée sur des facteurs exogènes.

2.1. Dynamique exogene de l'emergence de l'expertise & de l'innovation : entre progres scientifique et opportunites de marche

En économie et en management, la vision orthodoxe de la dynamique de la technologie (i.e. dynamique de l'expertise et des produits) est résumée dans l'ouvrage de William Brian Arthur (2009) : *The nature of Technology. What it is and how it evolves.* Dans son ouvrage, Arthur (2009) définit la technologie comme un assemblage de pratiques scientifiques et de composants permettant de remplir une fonction précise : *"a technology, I said, is a mean to fulfill a purpose : a device, or method, or process. A technology does something. It executes a purpose."* (Arthur, 2009, p. 29). Ainsi, la dynamique des technologies se base sur l'invention de nouvelles fonctionnalités selon deux processus distincts : le premier consiste à découvrir et à maîtriser scientifiquement de nouveaux phénomènes physiques afin de créer de nouvelles briques technologiques (*« building blocks »*, i.e. des champs d'expertise), le second consiste à combiner et à assembler ces *« building blocks »* existant pour concevoir de nouvelles solutions innovantes (i.e. de nouveaux produits). Comme le souligne Le Masson et al. (2016), de façon quelque peu caricaturale, cette approche tend à considérer les champs d'expertise comme étant des briques de Lego qu'il est possible d'assembler de différentes manières afin de concevoir une variété de produits. Ainsi l'innovation s'interprète comme la création d'une nouvelle brique de Lego compatible avec les précédentes ou comme la création de nouvelles combinaisons de briques de Lego. Dans cette approche, les avancées de la recherche scientifique permettent la création de nouveaux *« building blocks »* et les nouvelles combinaisons de *« building blocks »* sont sélectionnées, notamment par le marché. **Ainsi, la dynamique des technologies est exclusivement contrôlée par des facteurs exogènes : la science ou le marché**. De façon plus ou moins implicite, ces principes sous-tendent les théories économiques évolutionnistes (Dosi et al., 1988 ; Saviotti & Metcalfe, 1991). Cette vision du changement économique a largement influencé les sciences de gestion comme en témoignent les nombreuses références aux concepts de *science push* et de *market pull* (Chidamber & Kon, 1994 ; Schmoch, 2007 ; Brem & Voigt, 2009 ; Peters et al., 2012 ; Di Stefano et al., 2012).

Le modèle *science push* ou *technology push* est apparu dans les années 1960 et suppose que le progrès scientifique est l'un des principaux facteurs de l'innovation. Ce modèle repose sur une approche séquentielle de l'innovation : production de nouvelles connaissances scientifiques puis valorisation de ces connaissances par de nouvelles applications. Dans un premier temps, les chercheurs et experts scientifiques sont en charge d'explorer de nouveaux sujets de recherche afin de créer de nouvelles connaissances, puis dans un second temps, d'autres acteurs de l'organisation (ingénieurs, concepteurs, marketing, commerciaux, etc.) ont pour objectif de valoriser ces nouvelles connaissances en améliorant les produits existants ou en concevant de nouveaux produits. Cependant, dans ce modèle, le risque est grand que les nouvelles connaissances et les inventions produites par les centres de recherche s'avèrent impossible à industrialiser ou difficilement intégrables dans des produits performants et innovants selon des conditions de coût et de délais acceptables.

A l'inverse, le modèle *market pull* ou *demand pull* suppose que les principaux déterminants de l'innovation sont les opportunités de marché (Schmookler, 1966 ; Mowery & Rosenberg, 1979 ; Peters et al., 2012). Dans ce modèle, le processus d'innovation est toujours séquentiel, cependant c'est la demande du marché qui guide les choix en matière d'innovation. La recherche est activée en fonction des besoins du marché qui ont été préalablement identifiés par l'organisation. Toutefois, compte tenu de la temporalité des activités de recherche et du temps nécessaire pour la constitution des compétences indispensables à la conception des innovations, ce modèle s'avère particulièrement risqué. En effet, les organisations ont de fortes chances d'arriver bien trop tard sur le marché.

Dans les années 1980, ces modèles et notamment le principe de l'autonomie de la recherche dans les organisations ont été vivement critiqués (Kline & Rosenberg, 1986 ; Hounshell, 1996). Pour ces auteurs, l'évolution du marché et la science sont des facteurs qui doivent être pris en compte simultanément. Ainsi, ils dénoncent l'approche séquentialiste de l'innovation (tant le modèle *science push* que le modèle *market pull*) et propose une nouvelle vision des processus d'innovation basée sur un modèle de *« liaisons en chaine »* (*chain-linked model*) [Figure 80]. Ce modèle est en rupture avec les modèles strictement linéaires et met en évidence la complexité des processus d'innovation basée sur des interactions et des rétroactions entre les différentes entités de l'organisation (recherche, marketing, conception, production, distribution, etc.).

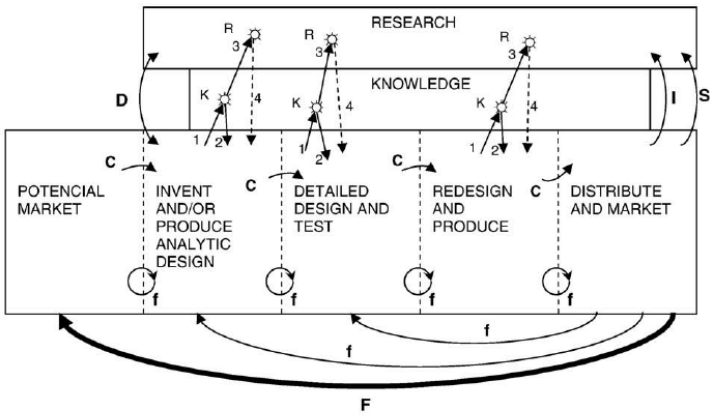


Figure 80 : Modèle de liaisons en chaine de Kline & Rosenberg (1986)

Bien que le modèle conceptuel de Kline & Rosenberg (1986) permet d'enrichir considérablement la compréhension des processus d'innovation, il ne remet pas en question le fait que la dynamique d'innovation résulte de facteurs exogènes : la science et le marché. En se basant à nouveau sur l'approche de la technologie proposée par Arthur (2009), le modèle de Kline & Rosenberg (1986) peut s'interpréter de la façon suivante : pour innover, les firmes doivent s'appuyer sur la science pour créer de nouveaux *« building blocks »* [Figure 81] et sur les opportunités de marchés pour proposer de nouvelles combinaisons de *« building blocks »* existants [Figure 82]. De plus, l'amélioration de produits existants peut s'interpréter comme la création de nouvelles relations en conservant les combinaisons et les *« building blocks »* existants [Figure 83].

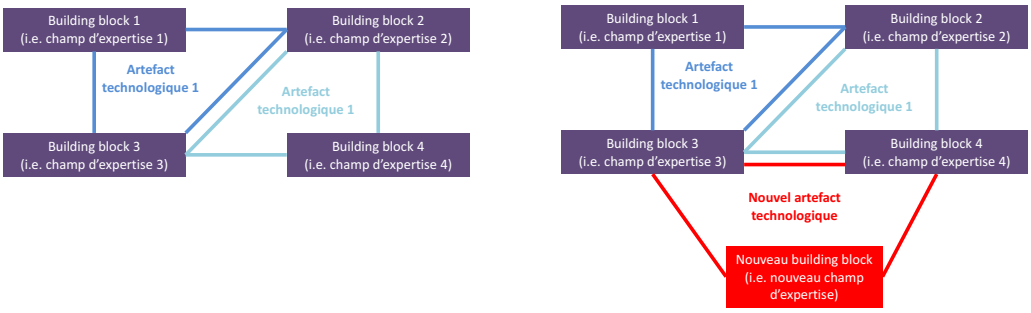


Figure 81 : Création d'un nouveau *« building blocks »*

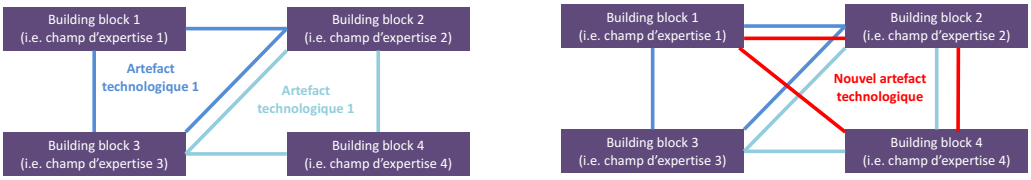


Figure 82 : Création de nouvelles combinaisons

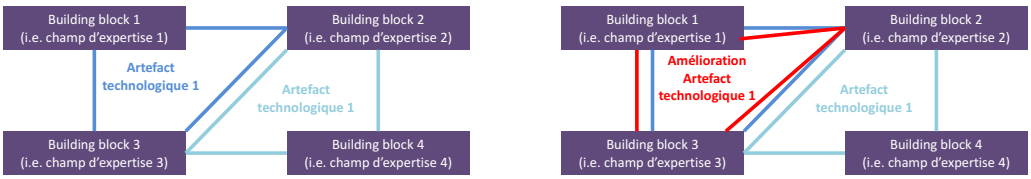


Figure 83 : Création de nouvelles relations en conservant les combinaisons et les *« building blocks »* existants

Dans ces trois cas – création de nouveaux *« building blocks »*, création de nouvelles combinaisons de *« building blocks »* existants et nouvelles relations – il y a bien émergence de nouvelles expertises mais sans modification et réorganisation des expertises existantes. De plus, les *« building blocks »* ou les champs d'expertise sont indépendants les uns des autres, de telle manière que chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres. Enfin, l'émergence de nouvelles expertises est conditionnée par des facteurs exogènes. Or, dans notre étude empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics, nous avons constaté plusieurs phénomènes contradictoires. Premièrement, l'émergence d'expertise s'effectue en provoquant de profondes modifications et d'importantes réorganisations des champs d'expertises. Deuxièmement, nous avons mis en évidence que les champs d'expertise ne sont pas indépendants mais bien interdépendants, de telle sorte que la modification d'un champ d'expertise entraîne de profondes modifications dans les autres champs d'expertise. Troisièmement, cette émergence d'expertise ne résulte ni purement d'avancées scientifiques, ni d'opportunités de marché préalablement identifiées. Ainsi, ces caractéristiques tendent à remettre en cause les modèles fondés sur une dynamique exogène de l'émergence de l'expertise et de l'innovation, qui se limitent à penser les processus d'innovation en tant qu'adaptation à de nouveaux besoins du marché ou en tant qu'intégration de nouvelles connaissances scientifiques.

D'autre part, en supposant qu'une opportunité de marché soit clairement identifiée, il est illusoire de penser qu'il existe une seule et unique solution technologique capable de satisfaire cette opportunité. En effet, pour une opportunité ou pour un type d'application, il existe un large spectre de technologies. C'est notamment ce que remarque le philosophe de la technique, Gilbert Simondon : *« Un même résultat peut être obtenu à partir de fonctionnements et de structures très différents : un moteur à vapeur, un moteur à essence, une turbine, un moteur à ressort ou à poids sont tous également des moteurs »* (Simondon, 1969). De la même manière, le progrès scientifique ne détermine pas forcément la nature des expertises, des technologies et des produits. La description de la formation du système technique électrique proposée par Caron (2000), illustre particulièrement notre propos. Comme le remarque l'auteur, la diffusion et la multiplication des usages de l'électricité n'est pas seulement le résultat d'une attente des utilisateurs et des consommateurs, ou d'une action concertée des producteurs pour la développer. Cette multiplication s'est aussi accompagnée de la formation d'un système électrotechnique cohérent. Les confrontations entre les différents systèmes techniques furent particulièrement intenses, notamment en ce qui concerne la rivalité entre les systèmes basés sur le courant continu et ceux sur le courant alternatif. En choisissant de concevoir des technologies basées sur le courant continu, la France prit un retard considérable et devint tributaire des technologies étrangères, basées sur le courant alternatif : *« Cet épisode illustre de manière frappante le rôle joué par les déterminants non économiques dans l'évolution et la différenciation des systèmes capitalistes »* (Caron, 2000). D'autre part, il est intéressant de noter qu'en sciences de gestion et en sciences de la conception, de nouveaux travaux, en particulier ceux de Le Masson et al. (2006, 2016), d'Aït-El-Hadj & Boly (2009) et de Boldrini (2011), s'interrogent sur des lois d'évolution internes aux objets afin d'expliquer la dynamique et le rythme de l'innovation. Ces travaux esquissent ainsi une nouvelle vision basée sur une dynamique endogène de l'émergence de l'expertise et de l'innovation, dont les enjeux porteraient sur l'évolution des structures techniques internes des objets et suggérant ainsi que l'émergence de systèmes techniques ne serait pas le résultat de la volonté de forces externes.

2.2. Vers une dynamique endogene de l'emergence de l'expertise & de l'innovation : structure d'expertises & relations d'interdependance

Dans le chapitre 3 de cette thèse, nous avons introduit les notions de structure d'expertise et de relations d'interdépendance précisément pour penser l'émergence d'expertise en tenant compte d'une dynamique endogène. La notion de dynamique endogène vise à mettre en évidence les processus de transformation et de renouvellement de l'expertise à travers l'évolution des structures d'expertises et en tenant compte de leurs rapports à la générativité de nouveaux concepts innovants, et cela indépendamment des logiques de marché ou des progrès scientifiques. Ce projet s'inscrit directement dans la lignée des travaux du Centre de Gestion Scientifique de Mines ParisTech sur les théories de la conception (Hatchuel et al., 2002, 2011 ; Hatchuel & Weil, 2003, 2009 ; Le Masson et al., 2006, 2014). En effet, ces recherches visent à modéliser les processus génératifs de produits et de services par des processus endogènes, non aléatoires, d'expansion de concepts et de connaissances.

Dans cette perspective, nous avons introduit le concept d'émergence d'expertise pour désigner les processus de formation de nouveaux champs d'expertise et les transformations des relations d'interdépendances entre les différents champs d'expertise. Etant donné qu'un champ d'expertise est un ensemble structuré d'éléments interconnectés (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique), nous avons considéré que chaque champ d'expertise était doté d'une structure propre et spécifique : **la structure du champ d'expertise**. D'autre part, dans les organisations industrielles les champs d'expertise ne sont pas isolés les uns des autres. Chaque champ d'expertise est nécessairement en relation avec les autres champs. Ils sont des éléments constitutifs d'un ensemble construit et organisé, faisant de cet ensemble un tout homogène et interdépendant que nous avons nommé **structure d'interdépendances des champs d'expertises.** La structure d'interdépendances des champs d'expertises décrit de manière générale, la façon dont l'organisation de différents champs d'expertises constitue un système cohérent, représentant un stade plus ou moins stable de l'évolution des champs d'expertises et de leurs interdépendances.

Cette vision de l'émergence de l'expertise se basant sur les notions de structure et de relations d'interdépendances se différencie très clairement de l'approche adoptée par Arthur (2009). En effet, dans notre perspective les champs d'expertises ne sont plus des *« building blocks »* indépendants les uns des autres. La dynamique de l'émergence de l'expertise et de l'innovation ne se réduit plus à la création de nouveaux *« building blocks »* indépendants qu'il suffirait de connecter aux champs d'expertises existants ou à la constitution de nouvelles combinaisons et relations entre des champs d'expertises existants. Notre approche s'intéresse à la dynamique de l'ensemble de la structure de l'expertise (structure du champ d'expertises et structure des relations d'interdépendances des champs d'expertises) et de son influence sur le potentiel d'innovation. Dans notre approche, les champs d'expertises ne sont pas seulement définis par leurs structures internes mais par leurs « comportements » vis-à-vis des autres champs d'expertise. Suivant un tel point de vue, un champ d'expertise est défini par sa manifestation au sein d'une structure d'expertise. Etant donné que nous considérons qu'une structure d'interdépendances de l'expertise peut s'incarner et se matérialiser à la fois dans une technologie, mais aussi dans un produit, un système, un

sous-système, un composant, un procédé, un service, etc., notre approche nous permet de traiter simultanément la dynamique des produits et la dynamique des expertises. En effet, les artéfacts technologiques (produits, technologies, procédés, etc.) sont nécessairement des systèmes complexes composés de plusieurs champs d'expertise, mais non réductible à la somme des champs d'expertise. Ainsi, il devient possible de lever le paradoxe entre expertise et innovation. L'expertise est un frein à l'innovation de rupture lorsque la dynamique de sa structure est isostructurelle, c'est-à-dire que la structure d'expertise est faiblement générative de nouveaux concepts d'artefacts technologiques. Dans ce cas, le potentiel d'innovation de la structure d'expertise est limité à de l'innovation incrémentale. A l'inverse, l'expertise est un moteur de l'innovation de rupture lorsque la dynamique de sa structure se base sur des restructurations majeures, c'est-à-dire que la structure d'expertise est fortement générative de nouveaux concepts d'artefacts technologiques (i.e. futurs produits concevables). Dans ce cas, le potentiel d'innovation de la structure d'expertise est important car il permet la déstabilisation des *dominant designs* et l'innovation de rupture.

Notre ambition est maintenant de proposer un modèle formel qui rend compte des notions de structure et d'interdépendance. Notre objectif est de caractériser la structure des expertises uniquement par des relations de dépendances et d'interdépendances. D'autre part, ce modèle doit nous permettre de mettre en évidence le potentiel de générativité de la structure d'expertises. Dans cette perspective, nous proposons un modèle formel, qui s'appuie sur la théorie des matroïdes. En mathématiques, la théorie des matroïdes consiste en une généralisation de la notion de dépendance et d'indépendance linéaires. Ainsi, nous proposons d'utiliser la théorie des matroïdes afin de représenter des structures d'expertises ainsi que leurs dynamiques. En effet, les structures matroïdales permettent de caractériser des structures d'expertises uniquement à travers des relations d'indépendances et d'interdépendances (Le Masson et al., 2015, 2016 ; El Qaoumi, 2016).

2.3. ELEMENTS DE THEORIE DES MATROÏDES

Notre travail de recherche n'a pas pour vocation de discuter de la théorie des matroïdes[69]. Nous souhaitons seulement expliquer pourquoi nous avons choisi de mobiliser cette théorie.

La notion de matroïde a été introduite en 1935 par l'américain Whitney pour l'étude axiomatique des propriétés de l'indépendance linéaire (Albar, 2010). Un matroïde, dont le terme dérive de *« matrice »*, est une structure combinatoire définie à partir des principales propriétés ensemblistes de la dépendance linéaire (Gioan & Alfonsín, 2013). La théorie des matroïdes généralise la théorie des graphes orientés, constitue une abstraction combinatoire de l'algèbre linéaire et consiste en une généralisation de la notion de dépendance et d'indépendance linéaires (Oxley, 2006 ; Neel & Neudauer, 2009 ; Welsh, 2010 ; Gioan & Alfonsín, 2013). Plusieurs objets caractéristiques sont associés à un matroïde, parmi lesquels l'ensemble des indépendants, des circuits, des bases, la fonction rang, etc. Les principales définitions associées à la théorie des matroïdes sont exposées ci-dessous.

[69] Pour plus de détail, Cf. les références suivantes : Bruter, C. P. (1970). *Les matroïdes : nouvel outil mathématique*. Dunod et Bruter, C. P. (1974). *Eléments de la Théorie des Matroïdes*. Springer.

Définition 1. Un matroïde M est un couple (E, $\mathcal{J}$) où E est un ensemble fini et $\mathcal{J}$ est une famille de parties de E (appelé ensemble des indépendants) tel que :

- (P1) $\mathcal{J} \neq \emptyset$
- (P2) Si $A' \subseteq A$ et $A \in \mathcal{J}$, alors $A' \in \mathcal{J}$ *(propriété d'hérédité)*
- (P3) Si A, B $\in \mathcal{J}$ et $|A| < |B|$, alors $\exists b \in B \setminus A$ tel que $A \cup \{b\} \in \mathcal{J}$ *(propriété d'échange des indépendants)*

Définition 2. Un couple (E, $\mathcal{J}$) où E est un ensemble fini et $\mathcal{J}$ est une famille de parties de E tel que $\mathcal{J}$ vérifie (P1) et (P2) est appelé système héréditaire.

Définition 3. *(Dépendants, circuits et bases d'un système héréditaire)*

- L'ensemble des dépendants $\mathcal{D}$ est l'ensemble complémentaire de l'ensemble des indépendants.
- L'ensemble des circuits $\mathcal{C}$ est l'ensemble qui contient tous les dépendants minimaux pour l'inclusion.
- L'ensemble des bases $\mathcal{B}$ est l'ensemble qui contient tous les indépendants maximaux pour l'inclusion

Définition 4. *(Fonction de rang)*
Soit M = (E, $\mathcal{J}$) un système héréditaire.
La fonction de rang r de M est la fonction de P(E) dans $\mathbb{N}$ telle que :
$r(A) = \max \{|B| \mid B \subseteq A \text{ et } B \in \mathcal{J}\}$

Dans la théorie des graphes, les relations d'interdépendances se définissent à partir des arêtes ou des sommets. Dans la théorie des matroïdes, la notion de sommet n'existe pas [Figure 84].

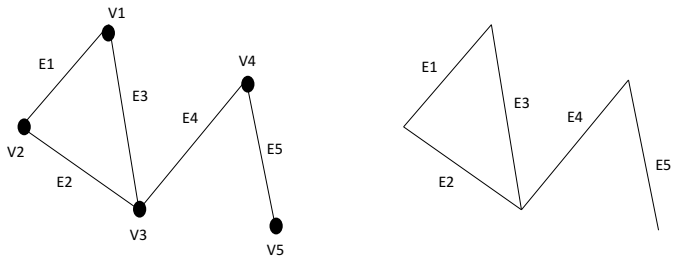


Figure 84 : Représentation graphique d'un graphe et d'un matroïde

Dans ce manuscrit, nous illustrons nos résultats avec des représentations graphiques des matroïdes. Cependant, il est important de préciser que les matroïdes ne sont pas tous représentables graphiquement. Par ailleurs, nous souhaitons apporter quelques commentaires supplémentaires sur la théorie des matroïdes. Premièrement, la dépendance et l'indépendance en théorie des matroïdes ne sont pas les propriétés d'un élément, mais elles sont les propriétés d'un sous-ensemble d'éléments. Deuxièmement, nous tenons à souligner que l'axiomatique de la théorie des matroïdes semble particulièrement restrictive. Toutefois, nous estimons que ce formalisme est un gage de rigueur pour aborder les notions de dépendances et d'indépendances des structures d'expertise, avec la même rigueur que l'on parle d'indépendance dans les espaces vectoriels.

Afin de clarifier les définitions concernant la théorie des matroïdes, nous souhaitons illustrer graphiquement les objets caractéristiques qui sont associés à un matroïde.

Soit G= (V,E) un graphe[70] et I la collection des ensembles d'arêtes ne formant pas de cycles, alors (E,I) est un matroïde qu'on appelle matroïde graphique. Cette proposition se démontre en vérifiant les propriétés de la **définition 1,** introduite précédemment (Albar, 2010). Ainsi, un ensemble indépendant ne forme pas de cycle. A l'inverse, un ensemble dépendant constitue un cycle. Si l'on considère le graphe donné par la figure ci-dessous [Figure 85], alors les indépendants du matroïde sont {1,2,3,4,12,13,23,24,34}.

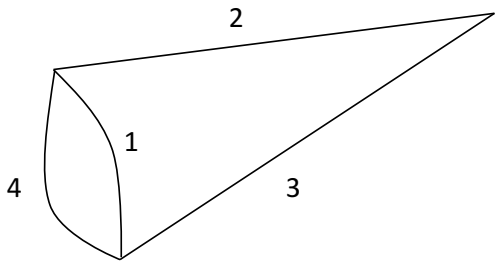


Figure 85 : Exemple de graphe

Nous allons maintenant donner une interprétation des composantes (indépendants, bases, circuits, etc.) d'un matroïde graphique (M(G)) en termes de graphe (G) :

- Les indépendants sont les forêts[71] de G.
- Les bases sont les forêts couvrantes maximales de G.
- Les circuits sont les cycles de G.

Ces propriétés s'illustrent de la manière suivante [Figure 86] :

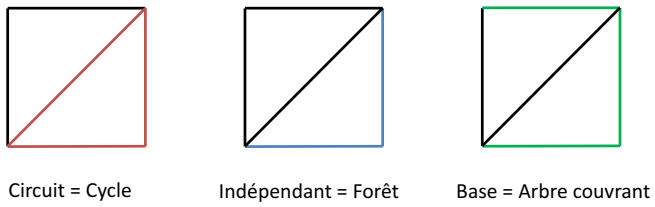


Figure 86 : Interprétation des éléments du matroïde dans un graphe (Albar, 2010)

[70] V (sommets) et E (arêtes)
[71] Un graphe simple non orienté A = (V,E) est un arbre s'il est connexe et sans cycle. Une forêt est un graphe simple non orienté dont chaque composante connexe est un arbre.

Le rang d'un matroïde r(M) correspond au cardinal des bases de M et peut s'exprimer de la façon suivante r(M(G)) = |V(G)|-1[72] [Figure 87] :

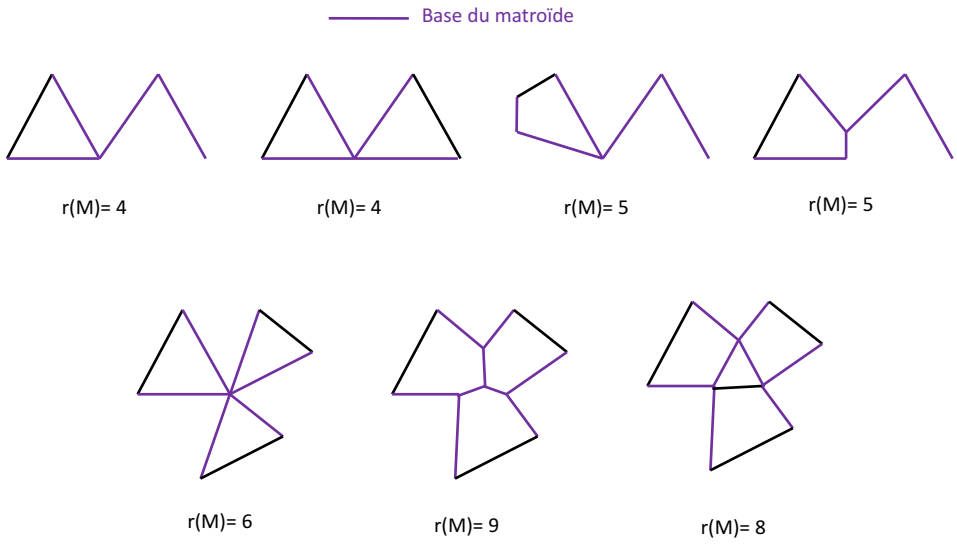


Figure 87 : Matroïdes et leurs rangs r(M)

L'évolution dynamique d'un matroïde s'appuie sur quatre opérations permettant la construction de nouveaux matroïde : *deletion* (suppression d'éléments), *contraction*, *extension* et *co-extension* [Figure 88].

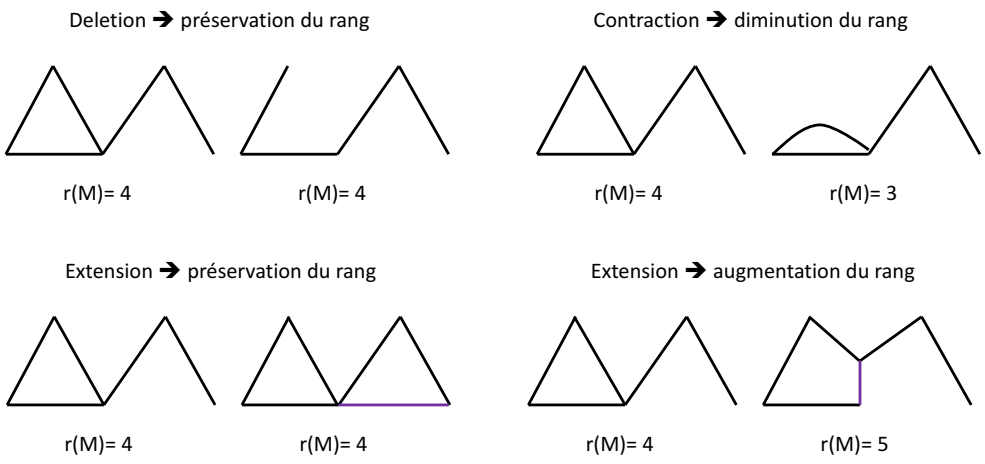


Figure 88 : Différentes opérations sur un matroïde (Oxley, 2006)

Etant donné que nous cherchons à modéliser l'émergence de nouvelles structures, nous nous intéressons plus particulièrement aux opérations d'*extension* et de *co-extension*. En outre, il est important de souligner que l'opération d'*extension* préserve le rang d'un matroïde alors que l'opération de *co-extension* augmente le rang du matroïde [Figure 89].

[72] V(G) exprime le nombre de sommets dans un graphe.

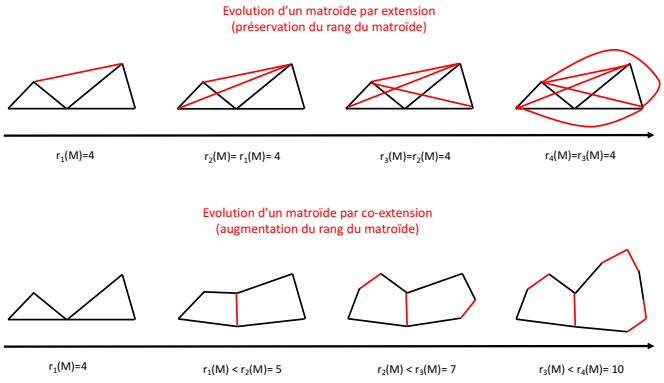


Figure 89 : Evolution du rang et de la structure d'un matroïde en fonction des opérations d'extension et de co-extension

3. MODELE THEORIQUE DE LA DYNAMIQUE DES STRUCTURES D'EXPERTISES : ENTRE *EXTENSION* & *CO-EXTENSION*

Etant donné que nous avons défini un champ d'expertise comme étant un ensemble structuré d'éléments interdépendants (connaissances, savoirs et savoir-faire de nature scientifique et technique), nous proposons de représenter un champ d'expertise par une structure matroïdale. Chaque arête (*edge*) du matroïde représente une connaissance, un savoir ou savoir-faire scientifique et technique. Chaque sous-ensemble est uniquement défini selon des relations de dépendance ou d'indépendance. D'autre part, les champs d'expertise ne sont pas isolés les uns des autres. L'ensemble des champs d'expertise présents dans l'organisation est nécessairement en relation, constituant ainsi une structure d'interdépendances de champs d'expertise que nous représentons aussi par une structure matroïdale. Dans ce contexte, chaque artéfact technologique (produit, technologie, sous-système, etc.) peut s'interpréter comme un ensemble de champs d'expertise dépendants, c'est-à-dire un circuit dans la théorie des matroïdes [Figure 90 & Tableau 29]. Cette modélisation nous permet de traiter simultanément la dynamique des expertises et des produits.

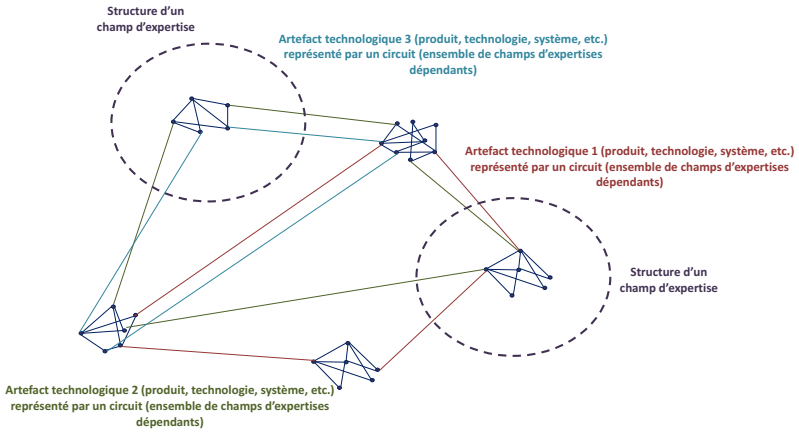


Figure 90 : Schéma conceptuel de la structure de l'expertise dans une entreprise industrielle

Structures d'expertise	Théorie des matroïdes	Illustration graphique
Connaissance, savoir ou savoir-faire scientifique et technique	Un élément d'un matroïde (une arête)	
Structure d'un champ d'expertises (ensemble de connaissances, de savoirs et de savoir-faire définis par leurs relations de dépendance ou d'indépendance)	Un matroïde	
Structure d'un champ d'expertises interdépendant avec d'autres champs d'expertises	Un matroïde	
Artefact technologique (ensemble de champs d'expertises dépendants)	Un circuit	

Tableau 29 : Structures d'expertises et représentation matroïdale

Afin de modéliser la dynamique des structures d'expertises, nous nous appuyons sur les deux principaux opérateurs de la théorie des matroïdes : *extension* et *co-extension*. Premièrement, ces opérateurs ont pour objectif de caractériser la nature de l'émergence d'expertises. Deuxièmement, l'enjeu est de relier, par l'intermédiaire de ces deux opérateurs, la nature de l'émergence d'expertise et le potentiel d'innovation. **Le potentiel d'innovation caractérise la relation entre la dynamique de la structure d'expertise et sa capacité à générer une large variété de nouveaux artefacts technologiques.** Nous défendons donc l'idée selon laquelle la dynamique des structures d'expertise peut être plus ou moins générative :

- Dans le cas d'une dynamique par extension, il y a bien émergence de nouvelle expertise (nouvelle arête) mais sans modification des structures d'expertise (conservation du rang du matroïde). Ainsi, le potentiel d'innovation, c'est-à-dire la générativité de la structure d'expertise, est limité. En effet, le potentiel de nouveaux artefacts technologiques n'a pas augmenté car le nombre de potentielles nouvelles liaisons entre les structures des champs d'expertise est resté constant [Figure 91 & Tableau 30].

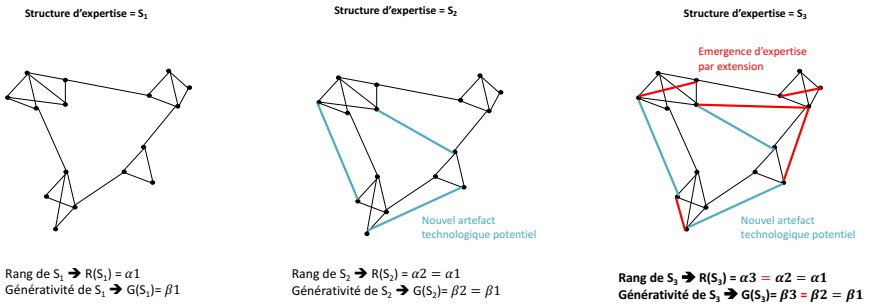


Figure 91 : Structure d'expertise, dynamique par extension & générativité

- Dans le cas d'une dynamique par co-extension, il y a bien émergence de nouvelle expertise (nouvelle arête) mais avec modification des structures d'expertise (augmentation du rang du matroïde). Ainsi, le potentiel d'innovation est augmenté, c'est-à-dire la générativité de la structure d'expertise est expansive. En effet, le potentiel de nouveaux artefacts technologiques a augmenté car le nombre de potentielles nouvelles liaisons entre les structures des champs d'expertise s'est amplifié [Figure 92 & Tableau 30].

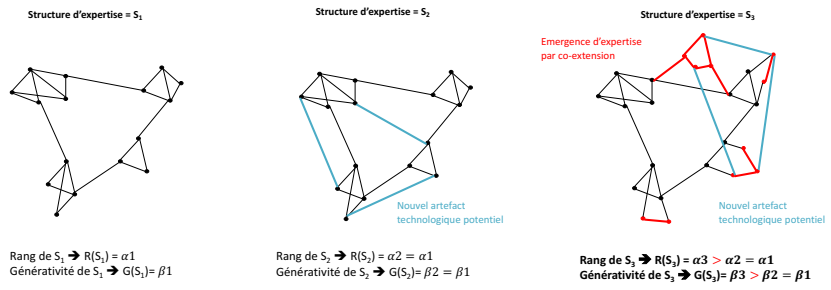


Figure 92 : Structure d'expertise, dynamique par co-extension & générativité

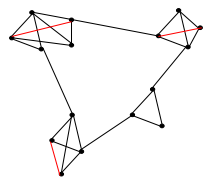
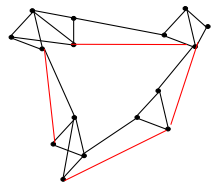
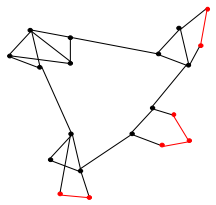
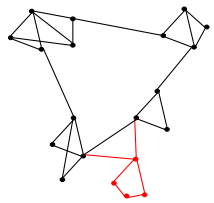
Dynamique des structures d'expertise	Théorie des matroïdes	Illustration graphique	Potentiel d'innovation
Emergence d'expertise sans modification et sans réorganisation des structures des champs d'expertise	*Extension* des structures des champs d'expertise		Préservation des rangs des matroïdes ➔ générativité limitée
Emergence d'expertise sans modification et sans réorganisation des structures d'interdépendance des champs d'expertise	*Extension* des structures d'interdépendances des champs d'expertise		Préservation des rangs des matroïdes ➔ générativité limitée
Emergence d'expertise avec modification et réorganisation des structures des champs d'expertise	*Co-extension* des structures des champs d'expertise		Augmentation des rangs des matroïdes ➔ générativité expansive
Emergence d'expertise avec modification et réorganisation des structures d'interdépendance des champs d'expertise	*Co-extension* des structures d'interdépendances des champs d'expertise		Augmentation des rangs des matroïdes ➔ générativité expansive

Tableau 30 : Relations entre la dynamique des expertises et la théorie des matroïdes

A partir de cette modélisation, nous obtenons quatre modèles d'émergence de l'expertise se différenciant selon la dynamique de leurs structures d'expertise et de leur générativité (i.e. nombre de nouvel artefact technologique potentiellement concevable) [Figure 93].

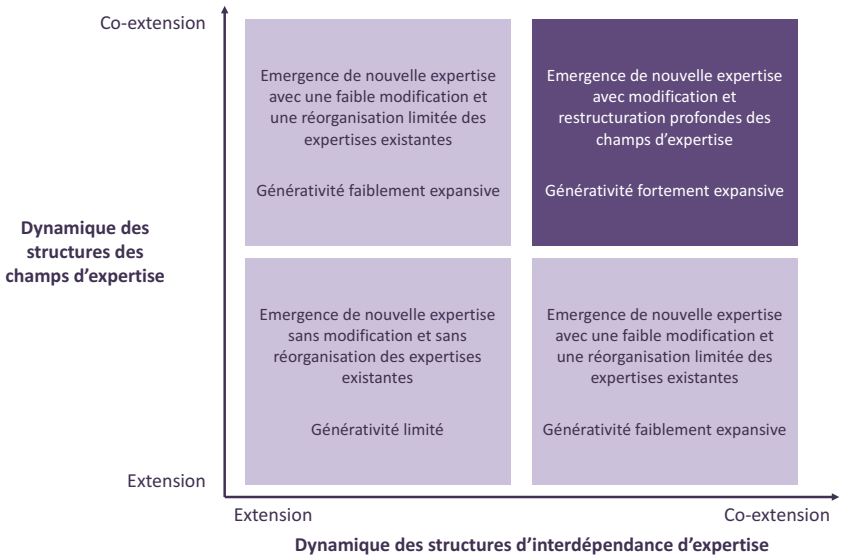


Figure 93 : Modèles d'émergence de l'expertise selon la dynamique des structures d'expertise

3.1. Un modele d'emergence base sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdependances des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise, il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie par l'ensemble des structures d'expertise [Figure 94]. Il s'agit d'une amélioration continue apportée à un ensemble cohérent et structuré de connaissances, savoirs et savoir-faire spécialisés. Dans un tel modèle d'émergence de l'expertise, la générativité de la structure d'expertise est limitée.

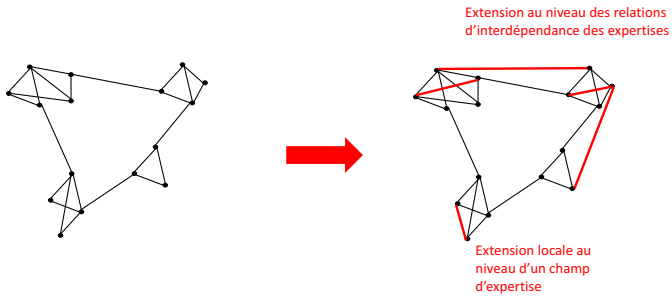


Figure 94 : Extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise

Dans cette forme d'émergence, le progrès résulte d'un processus d'apprentissage se basant sur un principe d'accumulation du savoir. Ainsi, il n'y a pas de changement dans les fondamentaux des métiers, des compétences, des architectures de produits, des modèles économiques et les relations entre champs d'expertise sont inchangées. L'émergence d'expertise s'effectue en préservant les structures des champs d'expertise existants ainsi que leurs relations d'interdépendance, et vise à confirmer des règles et des principes généraux dans les phénomènes particuliers. **On retrouve ainsi les caractéristiques d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise** [Figure 95].

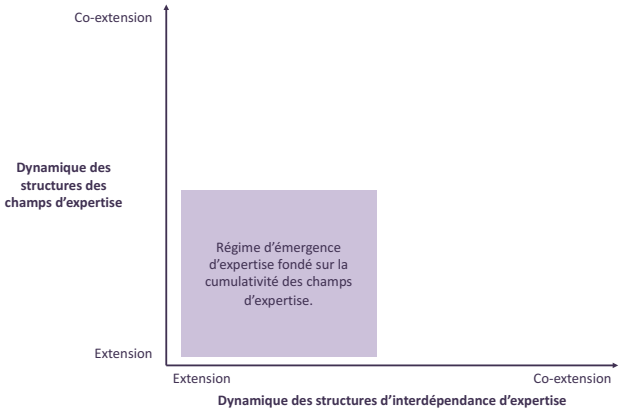


Figure 95 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise

3.2. Un modele d'emergence base sur la co-extension des structures des champs d'expertise et l'extension des structures d'interdependances des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise, la reconfiguration des relations entre champs d'expertise permet de faire émerger de nouveaux artefacts technologiques [Figure 96]. Ces nouveaux artefacts ne sont pas seulement de simples améliorations des précédents mais bien de nouvelles relations d'interdépendance de champs d'expertise inconnues auparavant. Chacune de ces relations peut correspondre à de nouvelles technologies ou à de nouveaux produits qui satisfont des applications différenciées. Dans un tel modèle d'émergence de l'expertise, la générativité de la structure d'expertise est faiblement expansive dans la mesure où les champs d'expertise doivent être identifiés et stabilisés dans l'organisation.

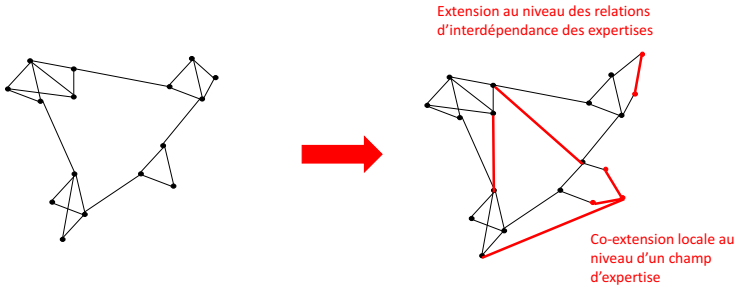


Figure 96 : Co-extension des structures des champs d'expertise et extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise

La valorisation de ces champs d'expertise s'effectue par l'intermédiaire d'un mécanisme combinatoire. Pour cela, les champs d'expertise doivent être connus, existants et stables. Quelles que soient leurs origines et leurs caractéristiques, les champs d'expertise doivent être combinés pour la conception de nouveaux artefacts technologiques. C'est cette recherche de nouvelles *« combinabilités »* des champs d'expertise qui constitue le potentiel d'innovation. **On retrouve ainsi les caractéristiques d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise** [Figure 97].

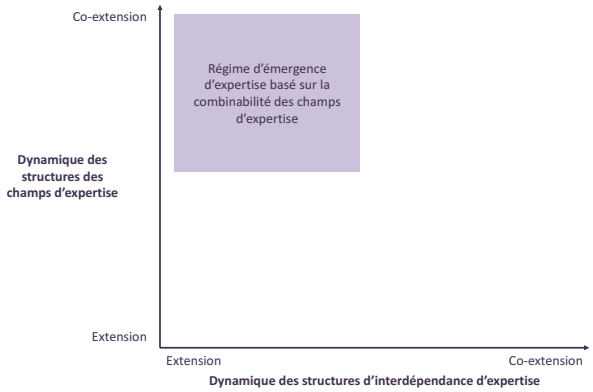


Figure 97 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise

3.3. Un modele d'emergence base sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdependances des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise, c'est l'émergence par intégration ou absorption de nouveaux champs d'expertise, qui permet d'assurer une grande variété de fonctionnalités et d'applications [Figure 98]. Pour cela, les relations, les interfaces et les interactions entre champs d'expertise doivent être connues, fixées et stabilisées. Dans un tel modèle d'émergence de l'expertise, la générativité de la structure d'expertise est faiblement expansive dans la mesure où les interfaces entre les champs d'expertise doivent être identifiées et stabilisées dans l'organisation.

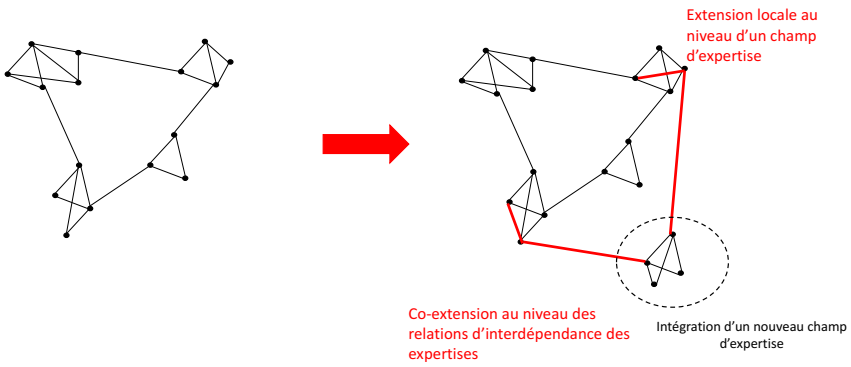


Figure 98 : Extension des structures des champs d'expertise et co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise

Les interfaces définissent les caractéristiques relationnelles entre chaque champ d'expertise et incarnent des règles spécifiant la manière dont les champs d'expertise peuvent interagir. A cet égard, la structure d'interdépendance d'expertise est dite modulaire car les interfaces sont parfaitement découplées (c'est-à-dire qu'une modification sur l'un des champs d'expertise n'entraîne pas de changement sur les autres champs d'expertise auquel il est relié), et parfaitement standardisées (c'est-à-dire qu'elles acceptent la connexion d'une grande variété de champs d'expertise). **On retrouve ainsi les caractéristiques d'un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise** [Figure 99].

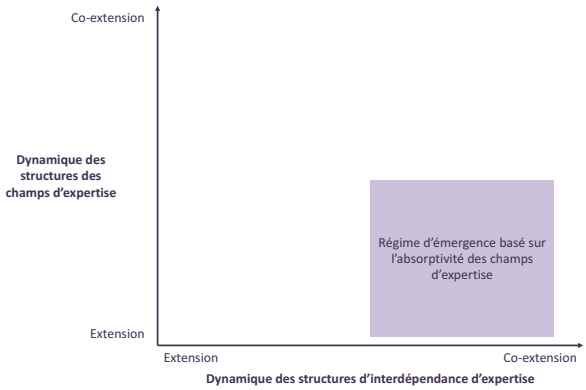


Figure 99 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise

3.4. Un modele d'emergence base sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdependances des champs d'expertise

Dans un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise, l'émergence de nouveaux champs d'expertise et la réorganisation des structures d'interdépendance d'expertise contribuent à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants [Figure 100]. Cette émergence d'expertise contribue à des expansions conceptuelles fortes et vise à introduire des ruptures dans l'identité des artéfacts technologiques. Dans un tel modèle d'émergence de l'expertise, la générativité de la structure d'expertise est fortement expansive dans la mesure où la réorganisation profonde des structures d'expertise augmente la variété et le nombre d'artéfacts technologiques potentiellement concevables.

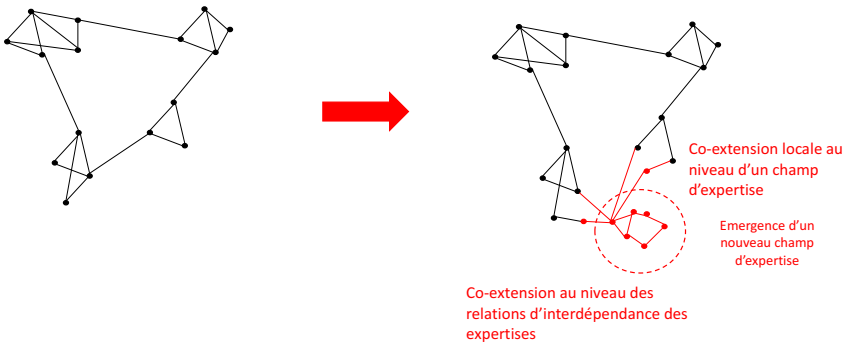


Figure 100 : Co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise

L'émergence d'expertise s'effectue en provoquant des ruptures dans les structures d'expertise existantes. Cette émergence modifie radicalement la nature des champs d'expertise et engendre des réorganisations profondes des relations entre champs d'expertise : obsolescence, recomposition, nouvelles interdépendances, nouvelles disciplines, nouvelles relations phénoménologiques, etc. **On retrouve ainsi les caractéristiques d'un modèle d'émergence d'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise** [Figure 101]. Par extension, nous parlerons de **régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.**

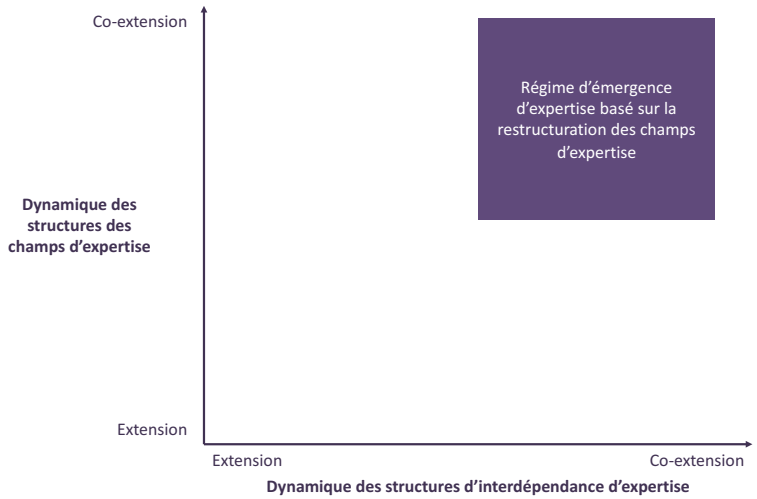


Figure 101 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise

4. Regimes d'emergence d'expertise & enjeux managerialux

En modélisant l'émergence de l'expertise par la dynamique des structures d'expertise, nous avons mis en évidence quatre régimes d'émergence d'expertise en fonction des deux opérateurs de la théorie des matroïdes : *extension* et *co-extension*. Ces opérateurs, nous permettent de caractériser simultanément la nature de la dynamique de l'émergence de l'expertise et son influence sur le potentiel d'innovation. Dans une **stratégie d'innovation basé principalement sur l'extension des structures d'expertise** (régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise, régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise et régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise), il y a bien émergence d'une nouvelle expertise (nouvelle arête) mais avec une faible réorganisation des structures d'expertise (le rang du matroïde augmente faiblement). Ainsi, le potentiel d'innovation, c'est-à-dire la générativité de la structure d'expertise, est faiblement expansive. En effet, le potentiel de nouveaux artefacts technologiques (potentiel de nouveaux circuits) a augmenté mais le nombre de potentielles nouvelles liaisons entre les structures des champs d'expertise est resté relativement faible. A l'inverse, dans une **stratégie d'innovation basée principalement sur la co-extension des structures d'expertise** (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise), il y a bien émergence d'une nouvelle expertise (nouvelle arête) mais avec une forte réorganisation des structures d'expertise (le rang du matroïde augmente fortement). Ainsi, le potentiel

d'innovation, c'est-à-dire la générativité de la structure d'expertise, est fortement expansive. En effet, le potentiel de nouveaux artefacts technologiques (potentiel de nouveaux circuits) a fortement augmenté car le nombre de potentielles nouvelles liaisons entre les structures des champs d'expertise s'est amplifié. Ainsi, l'objectif de cette partie est de déterminer les enjeux managériaux propre à chaque régime d'émergence d'expertise [Tableau 31].

Régimes d'émergence d'expertise		**Modèle d'émergence de l'expertise**	**Potentiel d'innovation des structures d'expertise**	**Enjeux managériaux**
Régime d'émergence d'expertise isostructurel ou Régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise	**Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise**	Emergence basée sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise	Générativité faiblement expansive	?
	Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.	Emergence basée sur la co-extension des structures des champs d'expertises et l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise		
	Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise	Emergence basée sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise		
Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise	**Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise**	Emergence basée sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise	Générativité fortement expansive	?

Tableau 31 : Régimes d'émergence d'expertise et potentiel d'innovation

4.1. Enjeux managériaux d'un régime d'emergence d'expertise base sur l'extension des structures d'expertise

Dans un régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise, l'enjeu est de préserver les structures d'expertise tout en permettant la création de nouveaux artefacts technologiques. C'est pourquoi, la gestion de projet et les stratégies de plateforme sont des modèles de coordination et d'actions collectives qui ont pour objectif d'organiser les activités de conception, tout en contrôlant les processus d'émergence d'expertise. Sans les nommer, ces modèles organisationnels visent à contrôler les relations d'interdépendance entre expertises afin de piloter et d'organiser l'évolution dynamique des structures d'expertise, qui sont consubstantielles des processus de conception. Ainsi, les enjeux d'émergence de nouvelles expertises et de gouvernance de l'expertise sont indissociables de la gestion des structures d'interdépendances des expertises.

Dans un **régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise**, c'est la reconfiguration des relations entre les champs d'expertise qui permet de faire émerger de nouveaux artéfacts technologiques. C'est donc l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise qui détermine le potentiel d'innovation. Il existe bien des co-extensions au niveau des structures des champs d'expertise, mais elles sont déterminées par la volonté d'établir de nouvelles relations entre champs d'expertise. Chacune de ces relations peut correspondre à de nouvelles technologies ou à de nouveaux produits qui satisfont des applications différenciées. Aussi, la dynamique d'émergence d'expertise par extension prédomine sur la dynamique par co-extension : les co-extensions locales doivent permettre l'extension des structures d'interdépendance [Figure 102].

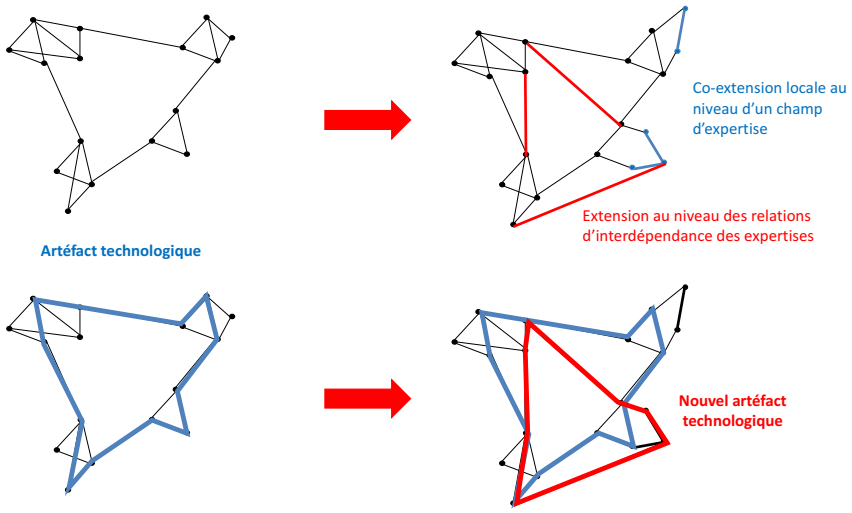


Figure 102 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur la combinabilité des champs d'expertise

La valorisation des champs d'expertise s'effectue par l'intermédiaire d'un mécanisme combinatoire. Quelles que soient leurs origines et leurs caractéristiques, les champs d'expertise doivent être combinés pour la conception de nouveaux artefacts technologiques. C'est cette recherche de nouvelles *« combinabilités »* des champs d'expertise qui constitue le potentiel d'innovation. Cette recherche de nouvelles *« combinabilités »* est assurée par un chef de projet qui pilote un **processus d'innovation centré sur la conception et le développement de nouveaux artefacts technologiques.** Pour cela, les champs d'expertise doivent être connus, existants et stables. Ainsi, l'enjeu est d'organiser **la gestion de la préservation des structures d'expertises :** il ne s'agit pas de rediscuter l'identité des champs d'expertise. D'autre part, les experts ont pour mission de **gérer la création de nouvelles connaissances dans un champ d'expertise déterminé.** Aussi, la coordination, **la collaboration et la gestion de l'action collective des experts s'effectue au sein d'un même domaine d'expertise.**

Dans un **régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise**, c'est l'intégration ou l'absorption de nouveaux champs d'expertise qui permet de faire émerger de nouveaux artéfacts technologiques. En intégrant un nouveau champ d'expertise, il y a bien co-extension des structures d'interdépendance des champs expertises. Cependant, étant donné que ce nouveau champ

d'expertise préexiste à l'extérieur de l'entreprise, cette dynamique d'émergence d'expertise par co-extension s'apparente davantage à une dynamique par extension où l'enjeu est de faire émerger de nouveaux artéfacts technologiques à partir d'un nouveau champ d'expertise préexistant. Finalement, comme dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise, c'est l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise qui détermine le potentiel d'innovation [Figure 103].

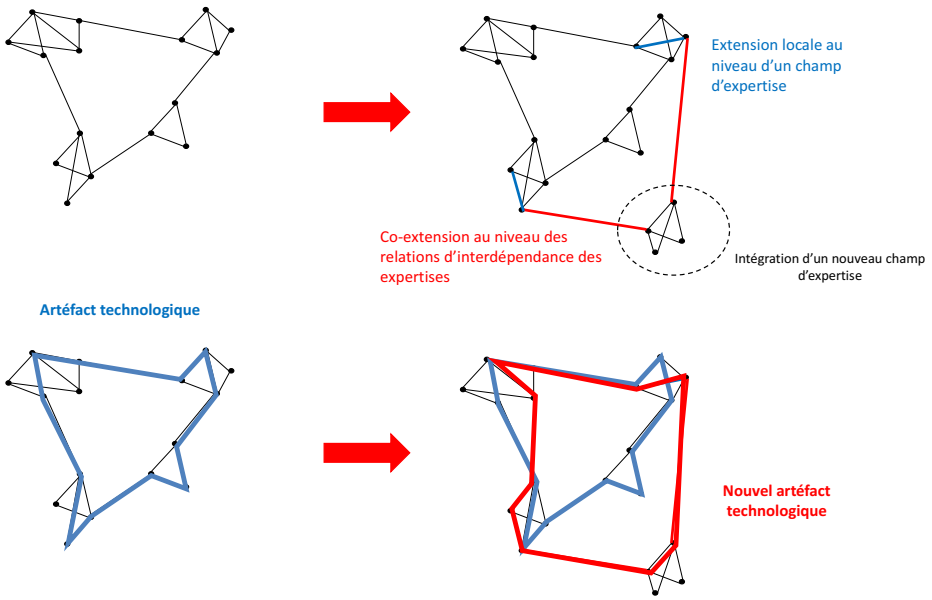


Figure 103 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur l'absorptivité des champs d'expertise

La valorisation des champs d'expertise s'effectue par l'intermédiaire d'un mécanisme d'intégration ou d'absorption de champs d'expertise. C'est donc l'intégration ou l'absorption de nouveaux champs d'expertise qui constitue le potentiel d'innovation. Cependant, les interfaces définissant les interactions entre champs d'expertise doivent être connues, fixées et stabilisées. Ces interfaces définissent les caractéristiques relationnelles entre chaque champ d'expertise et incarnent des règles spécifiant la manière dont les champs d'expertise peuvent interagir. Le processus d'innovation se base sur un ensemble de modules et d'interfaces constituant une structure commune, à partir de laquelle il est possible de concevoir et de développer des artéfacts technologiques. Ainsi le **processus d'innovation est centré sur la conception et le développement de nouveaux artefacts technologiques :** on absorbe un nouveau champ d'expertise pour concevoir un nouvel artéfact technologique. Pour cela, les champs d'expertise doivent être connus, existants et stables. Ainsi, comme pour un régime basé sur la combinabilité des champs d'expertise, l'enjeu est d'organiser **la gestion de la préservation des structures d'expertises.** En outre, les experts ont pour objectif de **gérer la création de nouvelles connaissances dans un champ d'expertise déterminé.** De plus, la coordination, **la collaboration et la gestion de l'action collective des experts s'effectuent au sein d'un même domaine d'expertise.**

Ces deux régimes d'émergence d'expertise visent à préserver une partie des structures d'expertise et à favoriser une dynamique déterministe de ces dernières [Tableau 32]. En effet, dans la gestion de projet et dans les stratégies de plateforme, les champs d'expertise sont identifiables et stabilisés dans l'organisation. Dans le management de projet, il y a bien création de nouvelles expertises, mais l'émergence de nouvelles expertises ne modifie pas la nature des champs d'expertise : le régime d'émergence d'expertises est isostructurel. D'autre part, dans les stratégies de plateforme, il y a bien émergence de nouveaux champs d'expertise mais les interfaces, définissant les interactions entre les champs d'expertise, sont connues et stabilisées : le régime d'émergence d'expertises est isostructurel. La gestion de projet ou les stratégies de plateforme sont des modèles organisationnels qui permettent la conception d'une grande variété de produits, à condition que ceux-ci soient limités à un *dominant design* (Abernathy & Utterback, 1978). La coordination entre les acteurs repose sur la division en sous-ensembles et sur des interfaces spécifiées avec un nombre restreint de paramètres. On reste donc dans le cadre d'un régime de conception réglé systématique. En outre, dans ces régimes d'émergence d'expertise, la stratégie d'innovation repose principalement sur l'exploration de champs d'innovation orientés produits. En effet, le processus de conception innovante se focalise essentiellement sur l'identité de l'objet « en tant que produit ».

<table>
<tr><th colspan="2">Régimes d'émergence d'expertise</th><th>Modèle d'émergence de l'expertise</th><th>Enjeux managériaux</th><th>Gouvernance de l'émergence de l'expertise</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Régime d'émergence d'expertise isostructurel
ou
Régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise</td><td>Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise</td><td>Emergence basée sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise</td><td rowspan="3">Pilotage de l'innovation centré sur le développement d'artéfacts technologiques.
Gestion de la préservation des structures d'expertises.
Gestion de la création de connaissances dans un champ d'expertise déterminé.
Coordination, collaboration et gestion de l'action collective des experts au sein d'un même domaine d'expertise.
Reconnaissance du statut d'expert dans l'organisation.</td><td>Laboratoire industriel, double échelle, expert ressource</td></tr>
<tr><td>Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.</td><td>Emergence basée sur la co-extension des structures des champs d'expertises et l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise</td><td>Gestion de projet, triple échelle, expert ressource</td></tr>
<tr><td>Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise</td><td>Emergence basée sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise</td><td>Plateformes technologiques, architecture modulaire, communautés épistémiques, open dual ladder</td></tr>
</table>

Tableau 32 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise & enjeux managériaux

4.2. Enjeux managériaux d'un regime d'emergence d'expertise base sur la co-extension des structures d'expertise

Précédemment, nous avons mis en évidence plusieurs régimes d'émergence d'expertise en fonction de modèles d'émergence de l'expertise et de modèles de coordination et d'actions collectives. Cependant, ces régimes d'émergence d'expertise visent à préserver une partie des structures d'expertise et à favoriser une dynamique déterministe de ces dernières. Pour sortir des *dominant designs* et, potentiellement concevoir des innovations de rupture, il faut donc un autre modèle de gouvernance de l'expertise capable d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus : c'est-à-dire un modèle de gouvernance capable de soutenir **les enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.** Toutefois, avant d'envisager de conceptualiser un nouveau modèle de gouvernance, nous souhaitons souligner les enjeux managériaux mis en évidence par notre modèle formel.

Dans un **régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise**, l'émergence de nouveaux champs d'expertise et la réorganisation des structures d'interdépendance d'expertise contribuent à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants. Cette émergence d'expertise contribue à des expansions conceptuelles fortes et vise à introduire des ruptures dans l'identité des artéfacts technologiques. Dans un tel modèle d'émergence de l'expertise, la générativité de la structure d'expertise est fortement expansive dans la mesure où la réorganisation profonde des structures d'expertise augmente la variété et le nombre d'artéfacts technologiques potentiellement concevables [Figure 104].

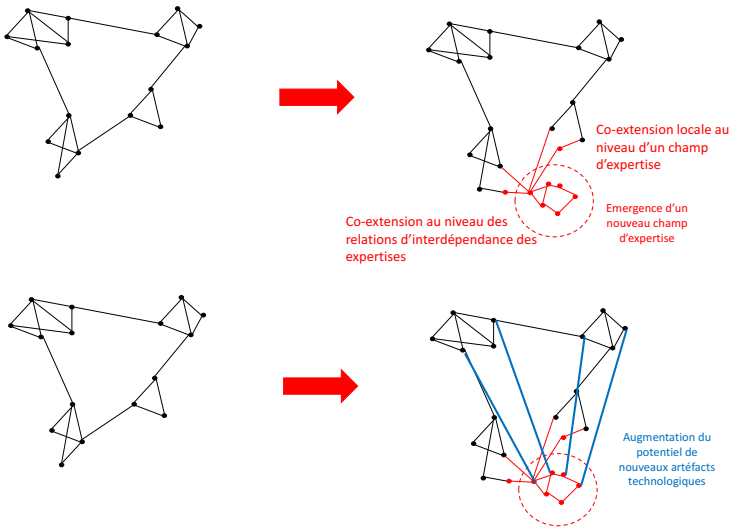


Figure 104 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur la co-extension des champs d'expertise

Par conséquent, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise, l'enjeu n'est pas d'organiser une stratégie d'innovation centrée sur un artéfact technologique ou une lignée de produits, mais **d'explorer un champ d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertises à fort potentiel génératif**. Plus une structure d'expertise est générative, plus il est possible

de concevoir de nouveaux produits à partir de celle-ci. Par exemple, le champ d'innovation *« nouvelle architecture de transistor pour continuer la loi de Moore »* vise précisément à rediscuter une structure d'expertise afin d'augmenter la générativité de celle-ci. L'enjeu n'est pas d'anticiper des opportunités de marchés ou des nouveaux usages mais de concevoir une structure d'expertise suffisamment générique pour servir de base à la conception d'une variété importante de produits, quelle que soit l'évolution du marché. Par ailleurs, comme nous l'avons vu précédemment, il s'agit bien de distinguer la notion d'identité de l'objet en tant que champ d'expertise (intangible, générique, interdépendant) et en tant que produit (tangible, spécifique à un marché, consistant).

D'autre part, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise, l'enjeu est **d'explorer un champ d'innovation afin de faire émerger de nouveaux champs d'expertise dans l'organisation**. En effet, d'après notre modèle, la co-extension suppose nécessairement la création d'un nouveau champ d'expertise. La création d'un nouveau champ d'expertise, d'une **proto-expertise**, s'interprète comme le résultat d'une double co-extension : une co-extension locale au niveau d'un champ d'expertise et une co-extension au niveau des relations d'interdépendances des expertises. Dans notre modèle, la création d'un nouveau champ d'expertise est une condition nécessaire pour l'augmentation de la générativité des structures d'expertise. D'autre part, **la création d'une proto-expertise nécessite le support de dispositifs managériaux susceptibles de légitimer institutionnellement et de valoriser l'émergence de nouveaux domaines d'expertises dans l'organisation**, alors même que celle-ci ne découle d'aucunes stratégies de produits, d'aucunes opportunités de marché et d'aucunes avancées technologiques planifiées.

Par ailleurs, **l'enjeu ne se circonscrit plus à organiser une stratégie d'exploration propre à chaque domaine d'expertise**, indépendamment des autres domaines. Il ne s'agit pas de piloter le développement d'expertise par capitalisation au sein de domaines d'expertise existants et identifiés dans les organisations. Au contraire, étant donné la nature des structures d'interdépendance des expertises, **l'enjeu est de réorganiser et de redéfinir les relations d'interdépendances entre les expertises, notamment pour provoquer la rupture des *dominant designs*.** En effet, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise, l'émergence de nouveaux champs d'expertise et la réorganisation des structures d'interdépendance d'expertise contribuent à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants. Cette émergence d'expertise contribue à des expansions conceptuelles fortes et vise à introduire des ruptures dans l'identité des artéfacts technologiques. L'émergence d'expertise s'effectue en provoquant des ruptures des structures d'expertise existantes. Cette émergence modifie radicalement la nature des champs d'expertise et engendre des réorganisations profondes des relations d'interdépendance entre les champs d'expertise : obsolescence, recomposition, nouvelles interdépendances, nouvelles disciplines, nouvelles relations phénoménologiques, etc. Dans ce contexte, **les modèles de coordination et d'action collective se doivent de permettre la collaboration entre des experts de différents domaines d'expertise**. L'enjeu est de permettre la collaboration entre les experts alors même que leurs domaines d'expertise sont potentiellement différents et éloignés. Cette collaboration vise deux principaux objectifs : permettre la réorganisation et la redéfinition des relations d'interdépendances entre les expertises et **contrôler le degré de transformation et de réorganisation des structures d'expertises**. En effet, la transformation ou la

création d'un champ d'expertise peut impliquer une modification plus ou moins importante dans les autres domaines d'expertise. Les experts se doivent alors de **contrôler et d'anticiper le degré de transformation des structures d'expertises afin de maintenir une certaine cohérence entre les différentes expertises** [Figure 105].

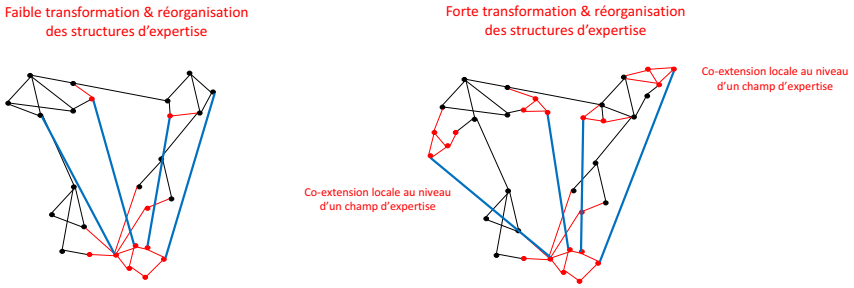


Figure 105 : Transformation & réorganisation des structures d'expertise

Enfin, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise, le rôle et les missions des experts ne peuvent se limiter à une vision classique de l'expertise selon laquelle l'expert produit de la connaissance dans son domaine d'expertise et intervient en tant que ressource pour le décisionnaire. Dans un régime basé sur la co-extension, **les experts ont un rôle stratégique et ont pour missions de reconcevoir les structures d'expertise afin d'augmenter le potentiel d'innovation (i.e. la générativité des structures d'expertise).** Enfin, les experts **se doivent de gérer l'ensemble des ressources nécessaires pour l'exploration organisée d'un champ d'innovation ayant pour objectif de faire émerger de nouveaux champs d'expertise** [Tableau 33].

Régimes d'émergence d'expertise		**Modèle d'émergence de l'expertise**	**Enjeux managériaux**	**Gouvernance de l'émergence de l'expertise**
Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise	**Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise**	Emergence basée sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise	Pilotage d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif. Gestion d'une exploration d'un champ d'innovation ayant pour vocation de faire émerger de nouveaux champs d'expertise. Pilotage de processus de légitimation institutionnelle visant à valoriser l'émergence de proto-expertises dans l'organisation. Gestion des réorganisations des structures d'expertise. Coordination, collaboration des experts de différents domaines d'expertises. Gestion et anticipation des degrés de transformation des structures d'expertise. Reconnaissance du rôle stratégique des experts. Gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation.	**(Partie V)**

Tableau 33 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise & enjeux managériaux

5. SYNTHESE DU CHAPITRE 8

Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle théorique intégrateur afin de rendre compte des différentes formes d'émergence de l'expertise et de répondre à la question de recherche suivante : **Comment modéliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ?** Notre ambition de modéliser a reposé sur une volonté de proposer une représentation simplifiée du fonctionnement et des mécanismes de l'émergence d'expertises au sein des organisations industrielles.

Dans un premier temps, nous avons présenté la vision orthodoxe de la dynamique de la technologie. **Nous avons mis en évidence que celle-ci se base essentiellement sur des facteurs exogènes : progrès scientifique et opportunités de marché.** Dans cette perspective, il y a bien émergence de nouvelles expertises mais sans modification et sans réorganisation des expertises existantes. De plus, les *« building blocks »* ou les champs d'expertise sont indépendants les uns des autres, de telle manière que chaque champ d'expertise évolue indépendamment des autres.

Cependant, dans notre étude empirique de l'émergence de l'expertise**, nous avons constaté plusieurs phénomènes contradictoires.** Premièrement, l'émergence d'expertise s'effectue en provoquant de profondes modifications et d'importantes réorganisations des champs d'expertises. Deuxièmement, nous avons mis en évidence que les champs d'expertise ne sont pas indépendants mais bien interdépendants, de telle manière que la modification d'un champ d'expertise entraîne de profondes modifications dans les autres champs d'expertise. Troisièmement, cette émergence d'expertise ne résulte ni purement d'avancées scientifiques, ni d'opportunités de marché préalablement identifiées. **Ainsi, ces caractéristiques tendent à remettre en cause les modèles fondés sur une dynamique exogène de l'émergence de l'expertise et de l'innovation, qui se limitent à penser les processus d'innovation en tant qu'adaptation à de nouveaux besoins du marché ou en tant qu'intégration de nouvelles connaissances scientifiques.**

A partir des notions de structure d'expertise, nous avons proposé de penser l'émergence d'expertise en tenant compte d'une dynamique endogène. La notion de dynamique endogène vise à mettre en évidence les processus de transformation et de renouvellement de l'expertise à travers l'évolution des structures d'expertises et en tenant compte de leurs rapports à la générativité de nouveaux concepts innovants, et cela indépendamment des logiques de marché ou des progrès scientifiques. Pour cela, **nous nous sommes basés sur la théorie des matroïdes afin de représenter des structures d'expertise ainsi que leurs dynamiques.** Afin de modéliser la dynamique des structures d'expertises, nous nous sommes appuyés sur les deux principaux opérateurs de la théorie des matroïdes : ***extension* et *co-extension.*** Premièrement, ces opérateurs ont pour objectif de caractériser la nature de l'émergence d'expertises. Deuxièmement, l'enjeu est de relier, par l'intermédiaire de ces deux opérateurs, la nature de l'émergence d'expertise et le potentiel d'innovation. Le potentiel d'innovation caractérise la relation entre la dynamique de la structure d'expertise et sa capacité à générer une large variété de nouveaux artefacts technologiques. Nous avons donc défendu l'idée selon laquelle la dynamique des structures d'expertise peut être plus ou moins générative. **Nous avons proposé quatre modèles de l'émergence de l'expertise qui se différencient selon la dynamique de leurs structures d'expertise et de leur générativité.** Enfin, nous avons terminé ce chapitre en mettant en évidence **les enjeux managériaux** d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.

Après avoir présenté notre modèle formel, le chapitre suivant a pour objectif de l'illustrer par l'intermédiaire de deux études de cas chez STMicroelectronics.

CHAPITRE 9 – EMERGENCE & RECOMPOSITION DES STRUCTURES D'EXPERTISE CHEZ STMICROELECTRONICS : LE CAS DE L'EXPERTISE *FDSOI* ET DE LA *PHOTONIQUE SUR SILICIUM*

Chapitre 9 – Emergence & recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics : le cas de l'expertise *FDSOI* et de la *photonique sur silicium*.... 231

1. Le FDSOI : une rupture technologique majeure pour la poursuite de la miniaturisation des circuits électroniques 232

1.1. Enjeux et motivations de la technologie FDSOI 233

1.2. Processus d'émergence de l'expertise FDSOI & réorganisation des structures d'expertise 234

1.2.1. De multiples alternatives technologiques pour la réorganisation des structures de l'expertise..... 234

1.2.2. Rupture technologique & structure d'interdépendance des expertises 237

1.3. Acteurs et collectifs pour organiser la réorganisation des structures d'expertise 241

***2.* La *photonique sur silicium :* l'émergence d'une nouvelle expertise 242**

2.1. Exploration d'un champ d'innovation nouveau : optique, interconnexions & silicium..... 242

2.2. Une exploration organisée pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise..... 246

2.3. Processus d'émergence de l'expertise *photonique sur silicium* & réorganisation des structures d'expertise 248

3. Synthèse du chapitre 9 249

Ce chapitre a pour vocation d'illustrer notre modèle formel par l'intermédiaire de deux études de cas, qui illustrent **des processus d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise**. En outre, nous souhaitons mettre en évidence les enjeux managériaux que nous avons déduits de notre modèle formel et que nous avons présenté précédemment. La première étude de cas s'intéresse à l'émergence de l'expertise *FDSOI* chez STMicroelectronics durant les années 2000. L'expertise *FDSOI* ou par extension la technologie *FDSOI* caractérise une nouvelle architecture de transistor ayant pour objectif de satisfaire la loi de Moore ; c'est-à-dire de poursuivre la miniaturisation des transistors afin d'améliorer les performances des circuits tout en réduisant le coût unitaire de production. La seconde étude de cas s'intéresse à l'émergence de l'expertise *photonique sur silicium* chez STMicroelectronics depuis les années 2010.

1. Le FDSOI : une rupture technologique majeure pour la poursuite de la miniaturisation des circuits electroniques

Le 14 mai 2014, STMicroelectronics et Samsung annonçaient un partenariat stratégique portant sur la technologie FDSOI (Fully Depleted Silicon On Insulator). Cet accord de fonderie et de licence avait pour objectif d'assurer la disponibilité multi-sources de la technologie FDSOI en 28 nm afin de réaliser des circuits intégrés plus rapides, plus simples et à consommation d'énergie plus faible. Cet accord de licence permet donc aux futurs clients de bénéficier de nouvelles solutions de fabrication de circuits, produites dans les installations 300 mm de Samsung, tout en assurant à l'ensemble de l'industrie une capacité de production en grand volume. Dans le communiqué de presse annonçant le partenariat, Jean-Marc Cherry (COO de ST) s'exprimait ainsi : *« Capitalisant sur les solides relations nouées par ST et Samsung dans le cadre de l'International Semiconductor Development Alliance (ISDA), cet accord renforce davantage notre coopération en l'étendant à la technologie FDSOI en 28 nm, tout en élargissant l'écosystème et en augmentant la capacité de production pour ST, mais également pour l'ensemble de l'industrie électronique. De plus, cet accord confirme et renforce la dynamique commerciale que connaît cette technologie depuis plusieurs trimestres auprès de nombreux clients à travers les projets engagés au sein de notre activité dédiée aux solutions de traitement embarquées »*. Pour ST, cette annonce fût capitale. En effet, elle illustrait la reconnaissance, par une partie de l'industrie, de l'importance de la technologie FDSOI portée par ST. En outre, cet accord permet de proposer une option multi-sources pour les produits réalisés en technologie FDSOI 28 nm, complétant ainsi les moyens de production dont disposait ST sur son site de production de Crolles. La technologie FDSOI est aujourd'hui la technologie phare de ST, notamment pour la conception de circuit électronique à basse consommation d'énergie pour les applications de l'Internet des objets (IoT[73]).

La technologie FDSOI résulte d'une activité de recherche et développement, ayant débuté fin des années 90 chez France Telecom et ayant été poursuivie, dans les années 2000, au sein du pôle technologique grenoblois regroupant ST, le CEA-Leti, Soitec ainsi que d'autres partenaires. A cette époque, le MOSFET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) ou transistor MOS (Metal Oxide Semiconductor) est le composant le plus important et le plus répandu dans l'industrie de la microélectronique. C'est en 1920 que le physicien et inventeur allemand, Julius Edgar Lilienfeld, proposa

[73] Internet of Things.

pour la première fois le modèle théorique du transistor à effet de champ (Field Effect Transistor). Bien que l'invention de Lilienfeld fût brevetée dans les années 1930[74], la fabrication d'un tel transistor n'a pu être envisagé qu'à partir de 1960 (dans les laboratoires Bell aux Etats-Unis) et n'apparût dans les circuits qu'à partir de 1963[75]. Cependant, l'histoire retiendra l'invention du transistor bipolaire en 1948 par les américains John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley (prix Nobel de physique de 1956), comme étant le point de départ de l'industrie de la micro-électronique. En 1965, le physicien Gordon Moore (futur co-fondateur de l'entreprise Intel) publia un article de quatre pages dans l'Electronics, Vol. 38, N°8, 19 avril 1965, prédisant le doublement, chaque année, du nombre de transistors sur un circuit. A partir de 1975, cette prédiction fût réévaluée en posant que le nombre de transistors sur une puce de silicium allait doubler tous les deux ans. Bien que cette loi fût émise à partir de résultats d'extrapolations empiriques, elle s'avéra particulièrement exacte et allait surtout devenir l'un des éléments les plus structurant de l'industrie de la micro-électronique. Ainsi, l'évolution de l'industrie de la micro-électronique s'est matérialisée par une diminution de la dimension des transistors, par une augmentation de la performance des circuits et par une diminution des coûts de production. Cependant, il est important de remarquer que cette évolution ne s'est pas réalisée de façon continue, mais comme une succession de paliers ou de générations (nœuds technologiques), notamment définis par l'International Technology Roadmap for Semiconductor (ITRS).

1.1. Enjeux et motivations de la technologie FDSOI

Depuis les années 60, le transistor MOS (composant électronique) et la technologie de conception de circuits intégrés CMOS (Complementary MOS) ont largement dominé l'industrie de la microélectronique[76]. Le transistor MOS [Figure 106] a été breveté en 1933 par les laboratoires Bell aux Etats-Unis, et fut disponible à la fabrication en 1960.

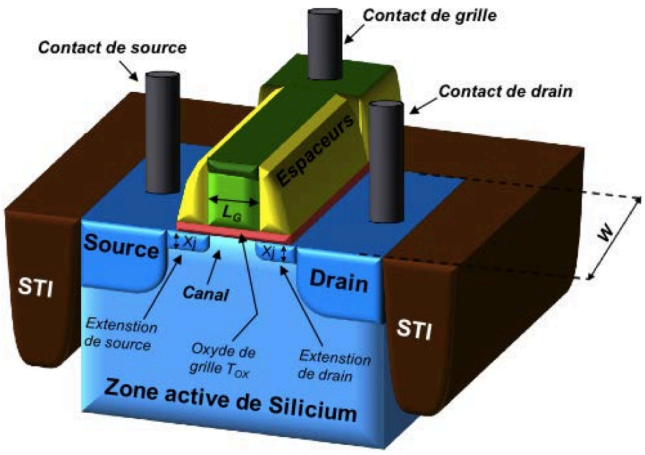


Figure 106: Vue en 3D d'un transistor MOS (Huguenin, 2006)

[74] Brevets : U.S. 1745175 (28/01/1930), U.S. 1900018 (7/03/1933), U.S. 1877140 (13/09/1932), U.S. 2113564 (3/09/1935)

[75] Fenouillet-Béranger, C. (2013). *Le FDSOI de la physique du dispositif à l'intégration d'une technologie compétitive.* Mémoire HDR. Université de Grenoble, 138 p.

[76] Pour plus de précision, Cf. Annexe Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor.

Le passage d'un nœud technologique à un autre a principalement été motivé par la demande croissante en circuits intégrés puissants, denses et à faible consommation d'énergie. Cette réduction de la taille des transistors (« *scaling* ») est aussi le résultat d'une stratégie de recherche et de développement, organisée autour de la « loi de Moore ». Ainsi, le modèle de croissance de cette industrie a été piloté par des efforts en matière de miniaturisation. Cependant, lorsque la taille d'un transistor est inférieure à 100 nanomètres, il devient de plus en plus difficile de contrôler industriellement le comportement électrique du transistor. En effet, la réduction des dimensions entraine un certain nombre de dégradations des performances intrinsèques des transistors[77]. De nouvelles expertises technologiques sont donc nécessaires afin de contourner les limitations physiques liées à la réduction des dimensions du transistor. D'autre part, il s'agit de concevoir une nouvelle plateforme technologique capable de supporter la conception de circuits intégrés de hautes performances, tout en étant confronté à la nécessité d'assurer la faible consommation d'énergie de ces mêmes circuits. C'est dans ce contexte que le processus de l'émergence de l'expertise FDSOI a démarré.

Ces premiers éléments nous permettent de souligner que l'enjeu du développement de la technologie FDSOI n'est pas de concevoir une stratégie ayant pour objectif d'identifier de nouvelles opportunités de marché, ou de valoriser une technologie existante via de nouvelles applications. Les enjeux stratégiques sont liés aux structures de l'expertise. Il s'agit de **faire émerger une nouvelle expertise afin d'obtenir une nouvelle structure d'expertise à fort potentiel génératif, capable de contourner les limitations physiques liées à la miniaturisation**. En outre, l'enjeu est aussi de provoquer une **déstabilisation et une révision du *dominant design* des architectures de transistors**, tout en constituant des portefeuilles de brevets afin d'assurer des droits de propriété intellectuelle.

1.2. Processus d'emergence de l'expertise FDSOI & reorganisation des structures d'expertise

1.2.1. De multiples alternatives technologiques pour la réorganisation des structures de l'expertise

Le point commun des différentes générations des transistors MOS est l'utilisation d'un substrat de silicium massif monocristallin (appelé *Bulk* en anglais). Dans les années 80, des universitaires et chercheurs démontrèrent l'intérêt d'utiliser un film mince de silicium (*Thin Body*) en lieu et place d'un matériau massif de silicium (*Bulk*). Cette solution améliore le contrôle électrostatique du transistor et il devient possible de retrouver le bénéfice de la réduction des dimensions des transistors, en termes de performance (vitesse) et d'efficacité énergétique. Toutefois, il existe plusieurs solutions pour la réalisation de transistors sur film mince de silicium. Parmi l'ensemble des solutions, on peut principalement distinguer deux grandes familles : les transistors planaires 2D et les transistors 3D [Figure 107].

[77] Pour plus de précision sur les dégradations des performances intrinsèques des transistors, Cf. Annexe Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor.

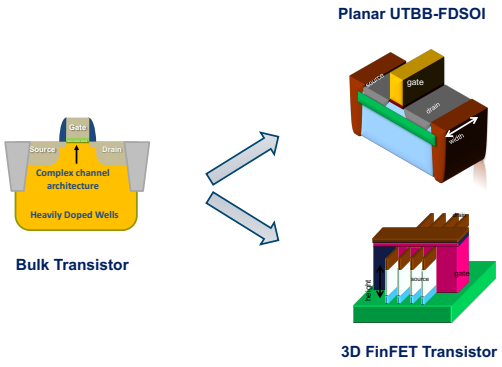


Figure 107 : Transistor planaire 2D (FDSOI) & transistor 3D (FinFET)

La transformation de l'expertise *« architecture transistor »* ne se limite pas à une seule et unique solution [Figure 108]. Il s'agit alors d'être en capacité de pouvoir comparer et d'évaluer les différentes solutions techniques selon un large ensemble de critères (performances technologiques, investissements financiers, propriété intellectuelle, différenciation technique vis à vis de la concurrence, etc.).

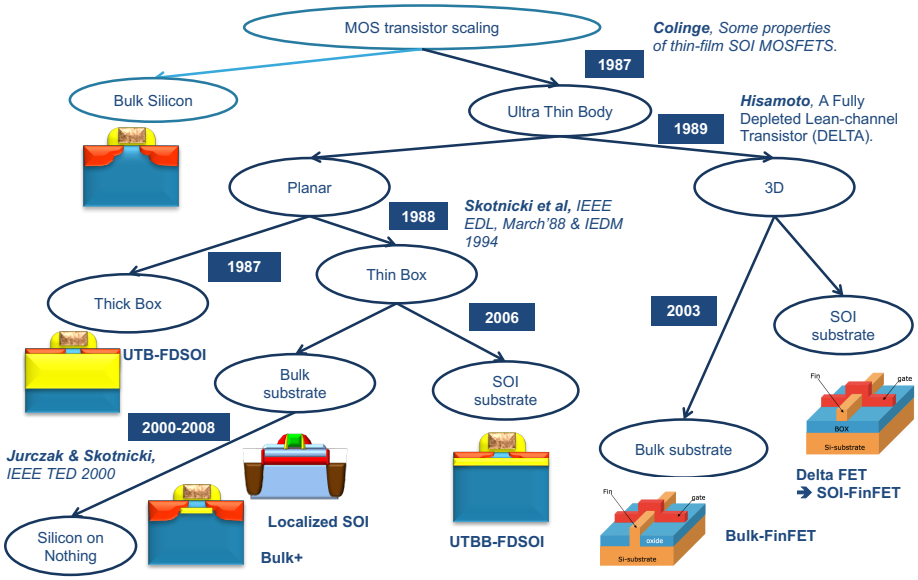


Figure 108 : Différents concepts d'architecture de transistors

D'autre part, chaque alternative technique implique inévitablement de profonds bouleversements sur l'ensemble des expertises de l'entreprise et des différents acteurs de l'industrie (concurrents, fournisseurs, partenaires, clients, etc.). Il s'agit de faire émerger une nouvelle expertise d'architecture de transistor tout en considérant l'ensemble des relations d'interdépendance avec les autres champs d'expertise (processus de conception et de fabrication, méthodes de fabrications et d'industrialisation, équipements des usines, conception de circuit, etc.). Ainsi, le processus d'émergence d'une nouvelle expertise s'effectue en provoquant des ruptures dans les structures d'expertise existantes. **Cette émergence modifie radicalement la nature des champs d'expertise et engendre des réorganisations profondes des relations entre champs d'expertise.** Afin de mettre en évidence la réorganisation des

structures d'expertise, nous proposons de nous appuyer sur notre analyse des sujets de thèse chez STMicroelectronics. La figure ci-dessous [Figure 109] illustre la recomposition de la structure des expertises chez STMicroelectronics. Le rond vert correspond à l'expertise FDSOI et la couleur rouge met en évidence l'évolution des relations d'interdépendance entre l'expertise FDSOI et les autres expertises de l'organisation. Nous pouvons constater que l'expertise FDSOI n'émerge pas de façon isolée. Au contraire, elle émerge à partir d'expertises existantes et va transformer, au cours du temps, l'ensemble des structures d'expertise de l'organisation. D'autre part, **cette réorganisation repose principalement sur la volonté des experts à collaborer et à se coordonner, quels que soit leurs domaines d'expertise respectifs.**

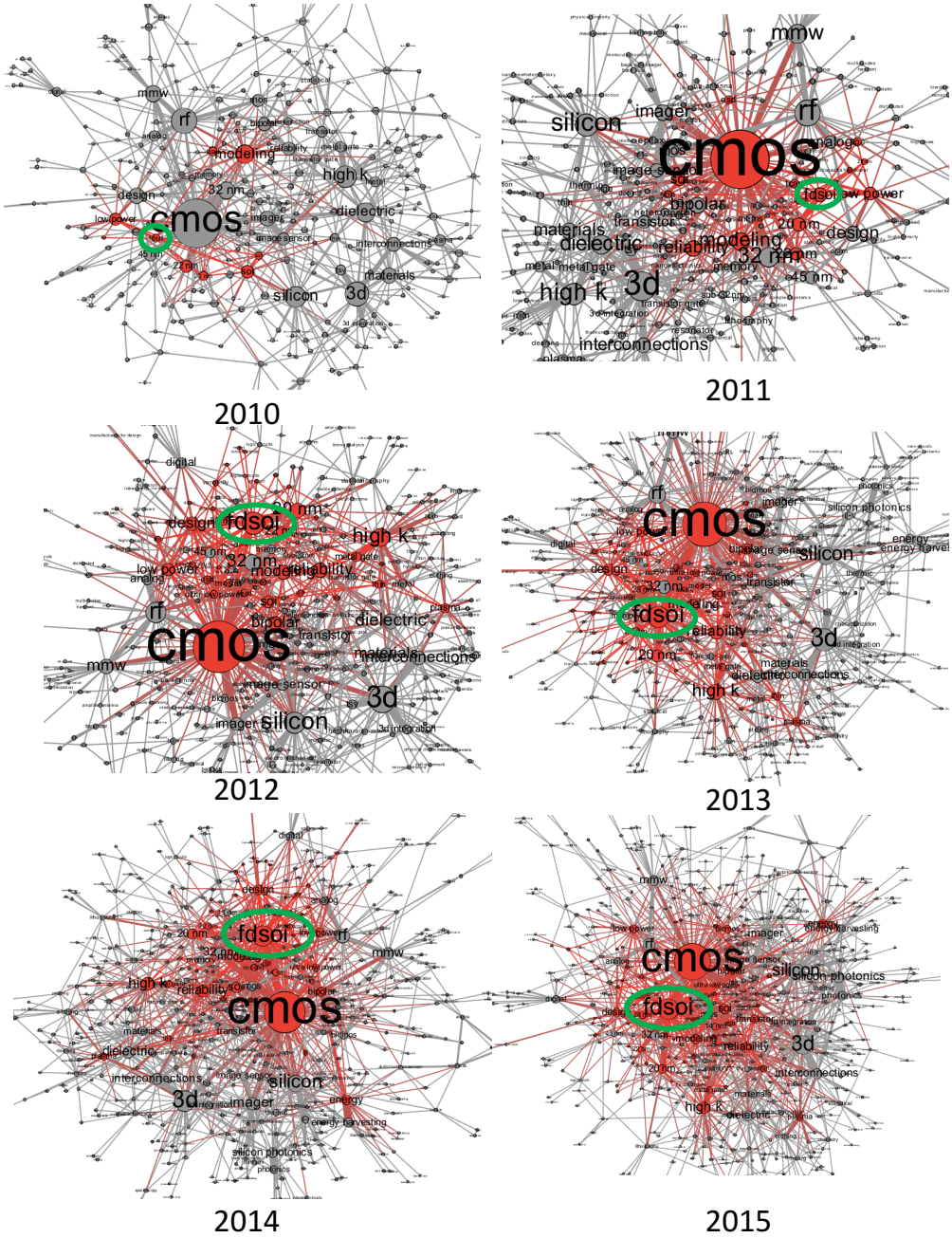


Figure 109 : Relations entre l'expertise FDSOI & les autres domaines d'expertise de l'organisation

1.2.2. Rupture technologique & structure d'interdépendance des expertises

Le principe de la technologie planaire consiste à la réalisation de transistors sur un substrat de silicium ultra mince (*Ultra Thin Body*) reposant sur un isolant (oxyde). Dans les années 90, des résultats de recherche permirent de démontrer l'intérêt technologique d'utiliser un oxyde enterré mince (*Thin Box*). L'idée était alors d'utiliser un substrat de type SOI (*Silicon-On-Insulator*) pour remplacer le substrat de silicium massif monocristallin (*Bulk*). Le substrat SOI était déjà utilisé pour la conception de transistors pour des applications spatiales et militaires. En effet, le substrat SOI permettait de protéger les transistors des radiations ionisantes propre à l'environnement spatiale. Cependant, dans les années 2000, il n'existait pas encore de substrat SOI à oxyde enterré mince [Figure 110].

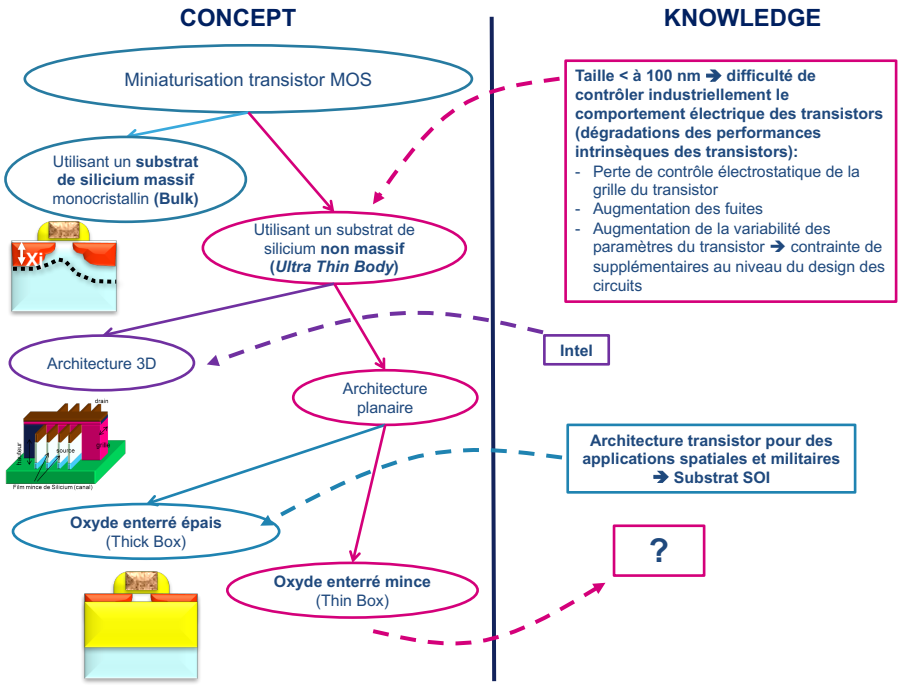


Figure 110 : Illustration du raisonnement de conception des architectures de transistor en utilisant le formalisme CK (1)

Aussi, l'équipe modules avancés (R&D avancée de STMicroelectronics) développa la technologie Silicon On Nothing (SON) afin de concevoir l'implémentation technologique de l'oxyde enterré mince dans un substrat *Bulk*. L'équipe modules avancés de ST fut la première à démontrer conceptuellement et technologiquement l'intérêt de l'oxyde enterré mince (*Ultra Thin Body and Box).* Parallèlement, le laboratoire public CEA-Leti (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information) travaillait sur le développement de solutions à film mince de silicium, en utilisant les substrats SOI déjà existants. A partir de 2005, des accords entres ST, le CEA-Leti et Soitec (fabricant français de plaque de silicium sur isolant) permirent d'accélérer le développement des premiers substrats SOI à oxydes enterrés minces. Suite à cet accord, il a été décidé d'orienter l'activité de recherche et de développement vers des solutions UTBB (*Ultra Thin Body and Box)* sur substrat SOI. La technologie Fully-Depleted-Silicon-On-Insulator ou FDSOI permet donc de réaliser un nouveau type de transistor sur un substrat de silicium ultra mince,

isolé par un isolant enterré, lui aussi très mince. Contrairement à l'architecture planaire 2D (FDSOI), l'approche 3D (FinFET ou Trigate) consiste à fabriquer le film mince de silicium de manière orthogonale au plan du substrat. Le processus de conception de ces architectures est illustré dans la figure ci-dessous, par l'intermédiaire du formalisme de la théorie CK [Figure 111].

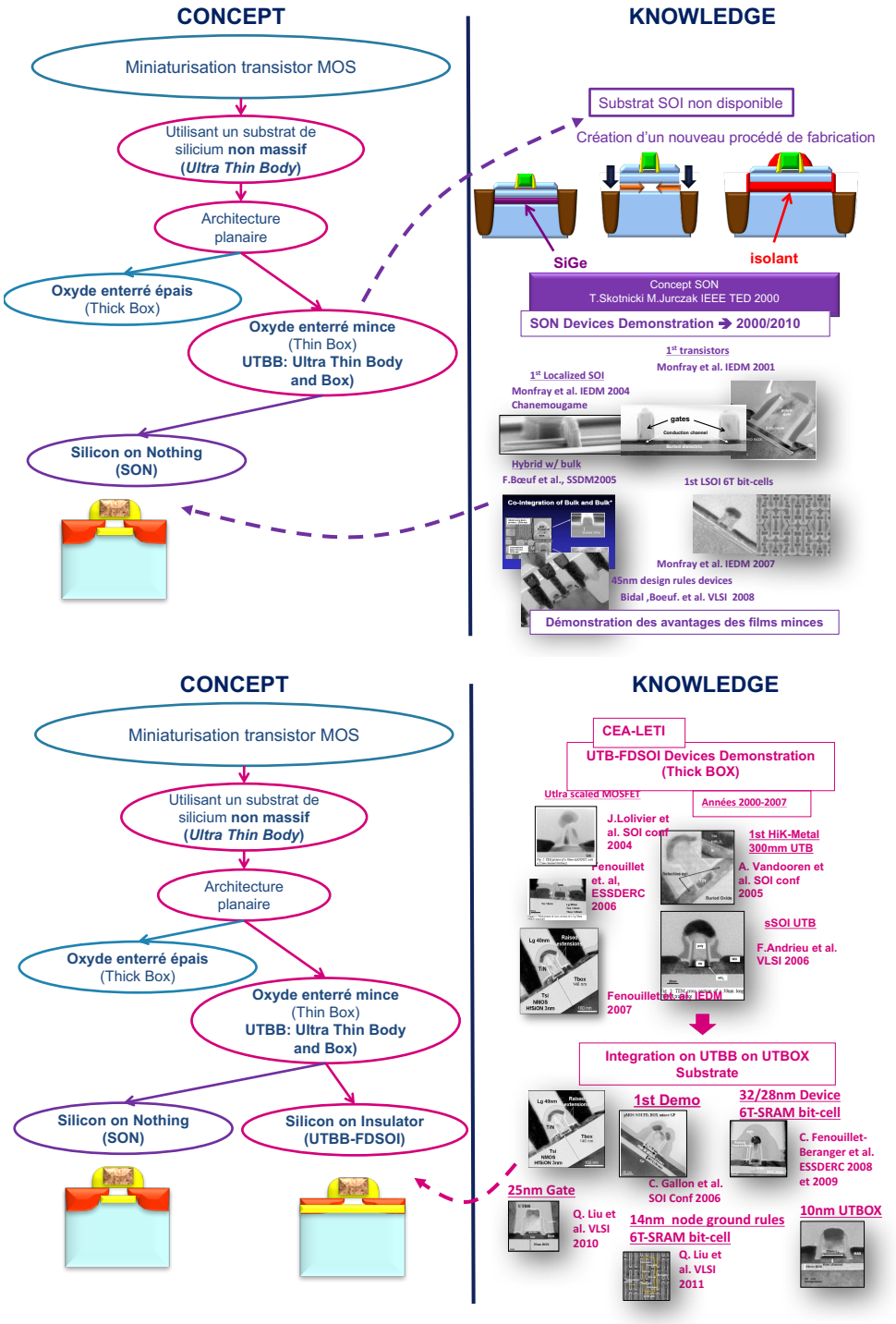


Figure 111 : Illustration du raisonnement de conception des architectures de transistor en utilisant le formalisme CK (2)

Comme nous l'avons souligné précédemment, la transformation de la structure d'expertise *« architecture transistor »* ne se limite pas à une seule et unique solution. En effet, on peut constater deux choix technologiques distincts : le FinFET (architecture 3D) soutenue par Intel et le FDSOI (architecture planaire ou 2D) soutenue par STMicroelectronics. Pourtant, le raisonnement de conception permettant d'aboutir à ces nouvelles structures d'expertise semble suivre un chemin similaire : conception d'une structure d'expertise à fort potentiel génératif pour la miniaturisation des transistors, avec émergence de nouveaux champs d'expertise et avec une réorganisation des structures d'expertise [Figure 112].

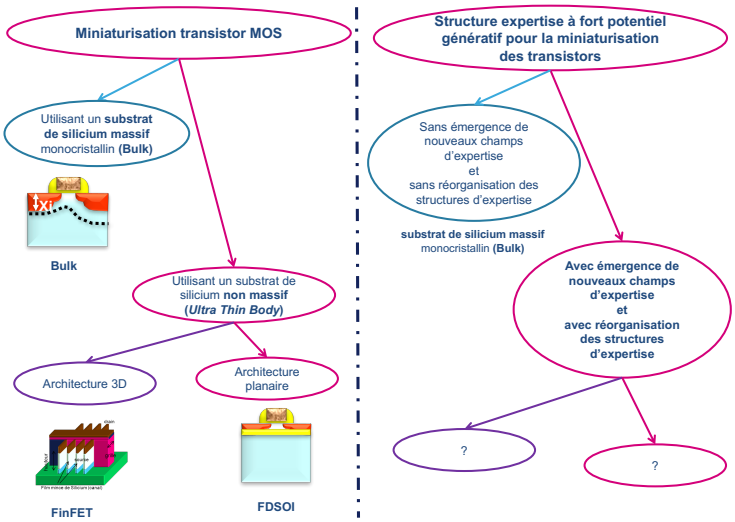


Figure 112: Raisonnement de conception de nouvelles structures d'expertise d'architectures de transistor chez Intel & STMicroelectronics (1)

Cependant, en se basant sur une architecture 3D, la technologie FinFET impose de transformer radicalement l'ensemble des procédés de fabrications et utilisés pour les technologies conventionnelles de type *Bulk*. D'autre part, la technologie FinFET implique une importante réorganisation et transformation de l'expertise sur les procédés de conception des circuits intégrés [Figure 113].

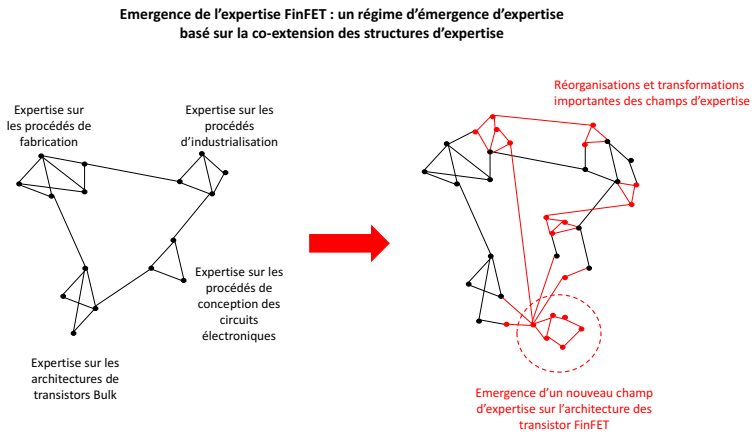


Figure 113: Emergence de l'expertise FinFET

Si la technologie FinFET semble plus performante sous certaines conditions, ce n'est pas la solution qui a été retenue par ST et par l'ensemble de l'écosystème grenoblois (CEA-Leti, Soitec, laboratoires universitaires, etc.). En effet, les principales motivations qui ont guidé cette décision **stratégique reposent principalement sur l'analyse des effets, qu'implique cette nouvelle expertise, sur les transformations de l'ensemble des autres champs d'expertise.** Premièrement, les procédés de fabrication de la technologie FDSOI sont très proches des techniques utilisées par les technologies conventionnelles de type *Bulk*. Il est donc possible de réutiliser les procédés de fabrications des précédentes technologies, ce qui rend la fabrication de la technologie FDSOI plus facile à maîtriser. Deuxièmement, l'architecture planaire du FDSOI n'impose pas une refondation complète des méthodes de conception des circuits intégrés. D'autre part, l'architecture planaire FDSOI permet d'utiliser « l'effet *back-bias* » qui s'avère particulièrement attractif pour des applications qui requièrent simultanément un haut niveau de performance et une faible consommation d'énergie. Enfin, le choix du substrat SOI s'appuie essentiellement sur les avancées technologiques de l'entreprise Soitec, qui a très tôt décidé de développer un substrat spécifiquement dédié à la production de puces FDSOI [Figure 114].

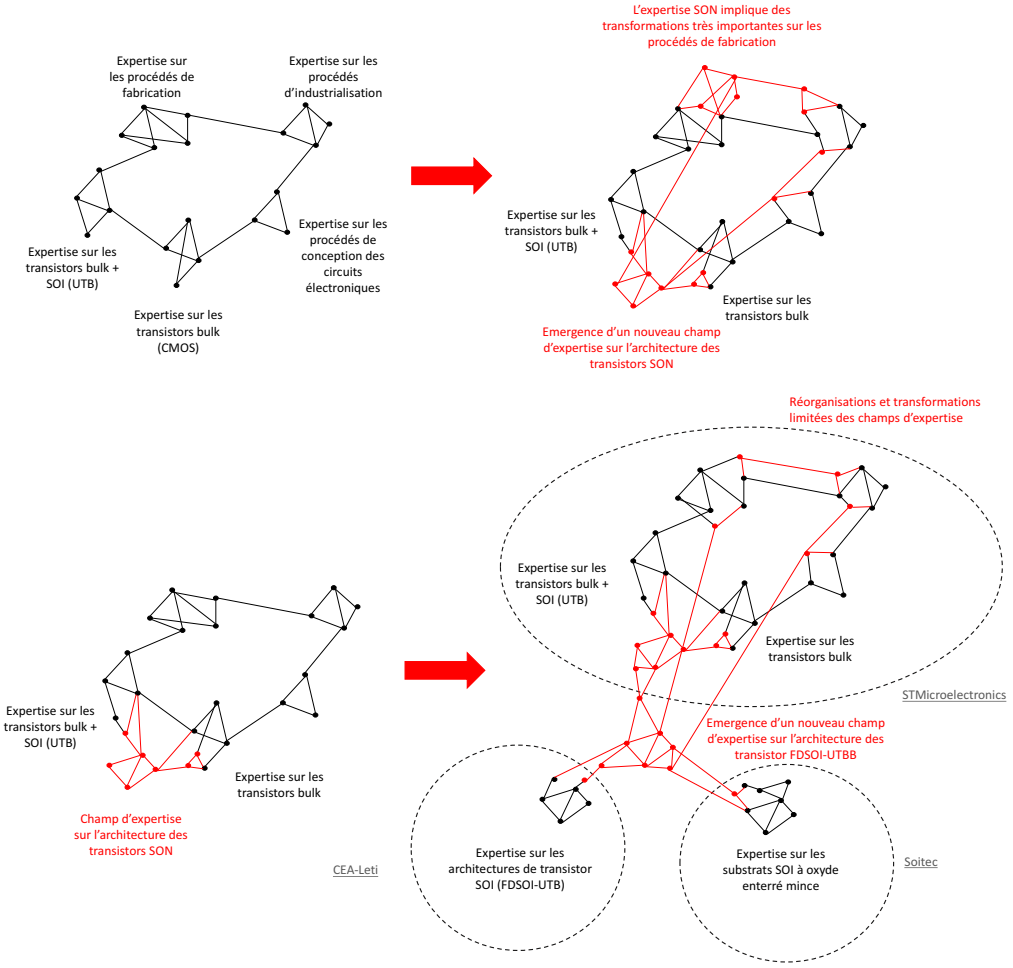


Figure 114: Emergence de l'expertise FDSOI-UTBB

Ainsi, la performance intrinsèque d'une nouvelle technologie ne permet pas d'expliquer, à elle seule, les avantages d'une innovation de nature technologique. La nature pervasive des expertises impose de prendre en compte les modifications et les restructurations de l'ensemble des champs d'expertise, ainsi que le degré de transformation des différents champs d'expertise. **Les experts ont donc pour mission de gérer et d'anticiper les degrés de transformation des structures d'expertise afin de maintenir une certaine cohérence entre les différentes expertises de l'organisation** [Figure 115].

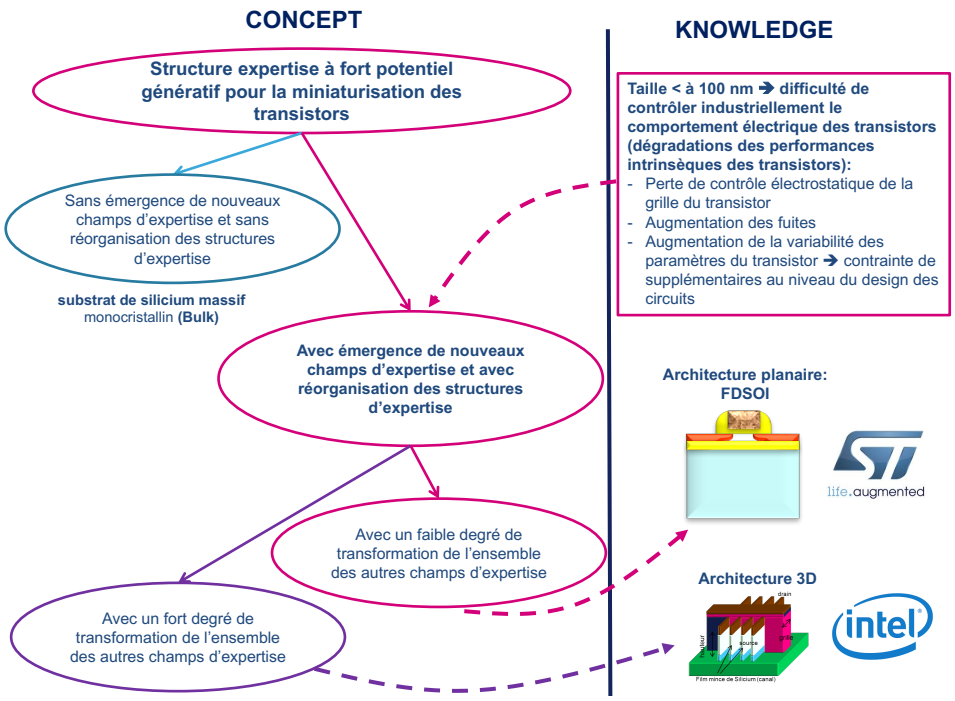


Figure 115: Raisonnement de conception de nouvelles structures d'expertise d'architectures de transistor chez Intel & STMicroelectronics (2)

1.3. Acteurs et collectifs pour organiser la reorganisation des structures d'expertise

C'est à partir de 2010 que la technologie FDSOI devient officiellement un élément stratégique pour l'*executive management* de ST. Cependant, dès les années 2000, les équipes de la R&D avancée de STMicroelectronics (équipes composées d'experts techniques et de doctorants) avaient déjà mis en évidence le besoin de développer de nouvelles méthodes afin d'améliorer les performances des transistors conventionnels. Ainsi, l'ensemble de la stratégie d'émergence de l'expertise FDSOI a été organisée par les experts techniques du pôle technologique grenoblois regroupant principalement ST, le CEA-Leti, Soitec et des laboratoires universitaires. Pendant 10 années, **les équipes d'experts techniques se sont efforcées de légitimer le développement d'une nouvelle expertise d'architecture de transistor, de démontrer la faisabilité technique du FDSOI et de prouver la possibilité de hisser cette nouvelle technologie à un niveau industriel.** D'autre part, dès 2003, l'ensemble des travaux de recherche et de développement ont fait l'objet d'évaluations et de discussions dans le cadre de la définition des *roadmaps* de

l'International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS). Afin d'apporter des solutions aux nouveaux enjeux technologiques de l'industrie des semi-conducteurs, l'ITRS est une organisation qui a pour mission de faciliter la coordination et la coopération entre les différents acteurs de cette industrie (Schaller, 2004). Les *roadmaps* technologiques sont ainsi la formalisation des différentes stratégies technologiques pensées et élaborées par les différents experts techniques du secteur industriel (Cogez, Le Masson et Weil, 2010). Ainsi, l'identification et la préparation des choix techniques, qui peuvent avoir pour effet la transformation et la réorganisation des champs d'expertise, et donc un impact fondamental sur la stratégie technique de l'entreprise, s'effectuent par les différents experts techniques de l'écosystème industriel. En possédant une connaissance précise et transverse de nature scientifique, **l'expert technique illustre la nature des acteurs (expert stratège) capables de conduire des stratégies basées sur la transformation et la réorganisation des champs d'expertise.** Il revient alors au senior management de choisir parmi ces alternatives, comme ce fut le cas lorsque le développement du FDSOI fut retenu comme une des composantes majeures de la stratégie de ST. D'autre part, l'ITRS illustre aussi une nouvelle forme de collectif inter-entreprises, où l'enjeu n'est pas d'échanger sur les perspectives de l'évolution économique du secteur mais d'apporter des informations et des connaissances descriptives et normatives sur la transformation et la réorganisation de l'ensemble des structures d'expertise de l'industrie.

2. LA *PHOTONIQUE SUR SILICIUM :* L'EMERGENCE D'UNE NOUVELLE EXPERTISE

2.1. EXPLORATION D'UN CHAMP D'INNOVATION NOUVEAU : OPTIQUE, INTERCONNEXIONS & SILICIUM

Notre société contemporaine fait actuellement face à une explosion des demandes de calculs, de stockage et de communication. Aujourd'hui, la plupart des individus échangent des informations sur Internet, créent des pages Web, mettent en ligne des photos et des vidéos, etc. En 2011, il a été créé 1,8 zettaoctets (1 800 milliards de giga-octets)[78]. Ramené à un exemple plus imagé, cela représente environ le volume de 200 milliards de DVD : il faudrait à un humain 47 millions d'années pour en visionner l'intégralité. Ce volume d'informations produit en une année est aussi neuf fois supérieur à ce qui a été produit en 2005. D'autre part, avec l'avènement de l'Internet des objets, ce volume pourrait atteindre 4,4 zettaoctets en 2020[79]. Dans ce contexte, les infrastructures permettant la circulation de l'information représentent un enjeu considérable, depuis les liaisons à grande distance à travers le monde, les liens dans les datacenters, jusqu'aux interconnexions puce à puce et intra-puces. Afin de permettre l'obtention de gains importants en termes de bande passante, de consommation énergétique et de densité, le défi serait de remplacer les liaisons électriques par des liaisons optiques[80]. L'idée d'utiliser la lumière comme vecteur de l'information n'est pas nouvelle. Depuis la fin des années 1970, la conception et le développement de systèmes optiques permirent des avancées considérables en matière de télécommunications, notamment

[78] Crestin, M. & Dhelin, H (2012). *Les données massives du big data, un nouvel or noir*. La Jaune et la Rouge, revue de l'association des anciens de l'école Polytechnique.
[79] Etude IDC pour EMC – Digital Universe 2014 : https://france.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-digital-universe-2014.pdf
[80] Fulbert et al. (2014). La photonique intégrée sur silicium. *Photoniques*, numéro 72, pp. 47-51

grâce à deux technologies majeures : le *laser semi-conducteur* (pour la génération d'un faisceau de lumière directionnel et monochromatique) et la *fibre optique en verre* (pour la transmission de la lumière sur des longues distances). Ainsi, dès 1977, le premier réseau de télécommunications à fibres optiques vit le jour à Chicago. Ce nouveau système technique permet le transfert d'informations haut débits sur de longue distance, à moindre coût [Figure 116].

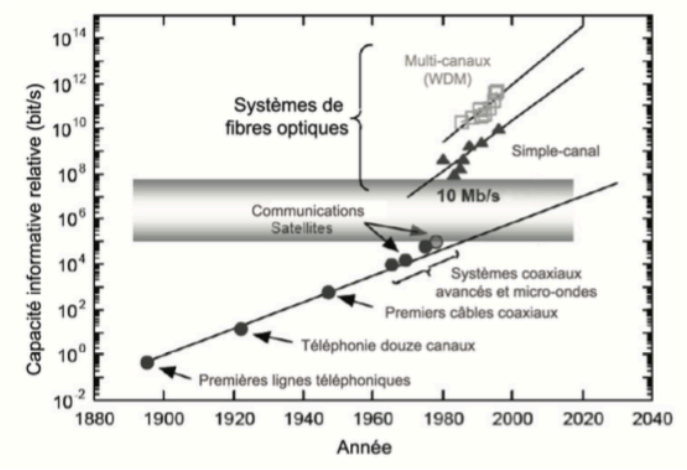


Figure 116 : Evolution du débit des systèmes de télécommunication en fonction du temps[81]

Aujourd'hui, les liaisons de télécommunications longues distances sont optiques. En Corée du Sud et au Japon, le réseau optique couvre presque la totalité des territoires (FTTH : *Fiber To The Home*). En France, le FTTH est en cours de déploiement. Néanmoins, l'avènement de la société de l'information ne repose pas seulement sur les systèmes de télécommunications (systèmes permettant l'échange de l'information). En effet, c'est l'essor combiné des systèmes de télécommunications et de la microélectronique (systèmes permettant le traitement de l'information) qui a permis le développement des technologies numériques dans notre société. Aujourd'hui, le très haut niveau de performances des microprocesseurs crée un goulot d'étranglement d'informations au niveau des interconnexions entre les différentes unités de calculs. Il existe plusieurs types d'interconnexions, de la puce du microprocesseur aux réseaux de télécommunications transnationaux [Figure 117].

[81] MIT Microphotonics Center Industry Consortium (2005). *Communications Technology Roadmap*. http://mph-roadmap.mit.edu

Figure 117 : Types d'interconnexions en fonction de la longueur du lien et de la bande passante nécessaire (Dupont, 2011)

Dans le domaine des réseaux de télécommunications (WAN et MAN)[82], le remplacement des connexions électriques par des connexions optiques est déjà enclenché. La raison principale repose sur le fait que les signaux électriques subissent de fortes pertes par effet Joule lorsque le débit augmente. Ces pertes par effet Joule impliquent une atténuation du signal limitant alors la distance de portée de l'information. A l'inverse, les pertes de propagation des signaux optiques sont très faibles. Dans le domaine du data-com, les interconnexions - reliant plusieurs unités de calculs et de stockage (SAN et LAN)[83] - sont plus courtes et beaucoup moins gourmandes en bande passante. Dans ce domaine, le déploiement de réseaux optiques représente un enjeu technologique et économique important (en 2014, le marché des plates-formes et des infrastructures intégrées pour les datacenters atteignait 34% de croissance)[84]. Dans le domaine du computer-com, les interconnexions sont multiples et variées entre les différentes puces électroniques et les connexions intra-puces [Figure 118]. Dans un microprocesseur, on peut compter jusqu'à un milliard d'interconnexions de quelques microns de long. Il est aussi important de souligner que le nombre d'interconnexions dans un microprocesseur augmente de façon exponentielle en fonction de la réduction de la taille de la puce. Cependant, si les systèmes photoniques dominent dans les interconnexions longues distances, les systèmes électriques résistent dans les interconnexions courtes distances. En effet, aujourd'hui, les technologies photoniques ne sont rentables que pour les longues distances, notamment à cause du coût des connecteurs électro-photoniques (Dupont, 2011).

[82] WAN : Wide Area Network, MAN : Metropolitan Area Network
[83] SAN : Storage Area Network, LAN : Local Area Network.
[84] Lagane, C. (2014). *Datacenter : croissance considérable pour les systèmes intégrés.* Silicon.fr. Disponible sur : http://www.silicon.fr/datacenter-croissance-considerable-les-systemes-integres-97021.html#RySxX2g8d1EvS0Vs.99

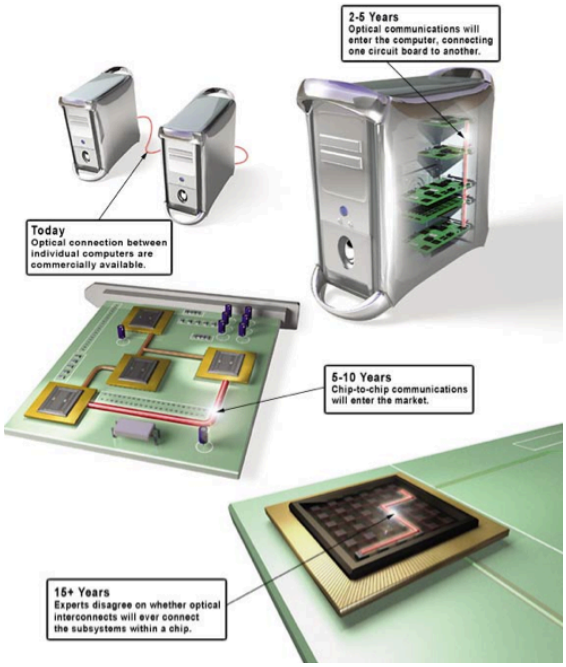


Figure 118 : Roadmap des interconnexions optiques (source : IEEE spectrum)

Néanmoins, les experts s'accordent sur le fait que la conception de nouvelles technologies devrait permettre, dans un futur relativement proche, de proposer de nouvelles solutions innovantes susceptibles de réduire les coûts. Face à ce défi, l'un des enjeux est d'appliquer les technologies de fabrication de l'industrie de la microélectronique à la fabrication de circuits photoniques : c'est l'objectif de la *photonique sur silicium.* Ainsi, la photonique intégrée sur silicium vise à intégrer des fonctions photoniques avec des circuits électroniques à l'échelle du wafer. Bien que la loi de Moore ne puisse pas s'appliquer à la photonique[85], l'objectif est d'augmenter la densité d'intégration pour réduire les coût de production et augmenter la performance des dispositifs : l'intégration des composants optiques sur puce réduit les tailles et le coût des dispositifs, favorise la fabrication de masse et améliore la performance. En tant que leader dans l'industrie des semi-conducteurs, la photonique sur silicium représente pour ST une opportunité considérable, lui permettant ainsi de valoriser son expertise en silicium et en électronique. Aujourd'hui, la photonique sur silicium a acquis un intérêt croissant chez ST et chez les industriels des semi-conducteurs, néanmoins de nombreux challenges technologiques restent encore à relever :

- *« Construction d'un environnement de conception complet interfacé avec les outils de CAO (conception assistée par ordinateur) standards de la microélectronique.*

- *Développement de fonctions élémentaires génériques pouvant être utilisées pour un large éventail d'applications : sources laser, modulateurs optiques, photodétecteurs, guides d'ondes.*

- *Intégration des fonctions photoniques avec des fonctions électroniques pour fabriquer des dispositifs complexes.*

[85] D'un point de vue technique, la taille des composants est limitée par la longueur d'onde. Il est donc difficilement envisageable de diviser la taille des dispositifs comme c'est le cas pour les dispositifs électronique.

– *Mise en œuvre de moyens de test et de techniques de packaging à faible coût prenant en compte des contraintes optiques, électriques et thermiques. » (Fulbert et al., 2014)*

Face à ces enjeux, des experts de ST ont décidé à partir de 2010 de piloter et d'organiser l'exploration d'un champ d'innovation focalisé sur l'émergence d'une **nouvelle structure d'expertise désirable** : la *photonique sur silicium.* Comme pour l'expertise FDSOI, l'objectif affiché n'est pas d'identifier de nouvelles opportunités de marché, ou de valoriser une technologie existante via de nouvelles applications. En réalité, le challenge est d'explorer un champ d'innovation afin **de faire émerger un nouveau champ d'expertise** susceptible de provoquer une restructuration des expertises, afin notamment **d'augmenter la générativité de la structure des expertises de l'organisation.** En effet, l'expertise *photonique sur silicium* est potentiellement générative d'un large ensemble de nouveaux concepts d'artefacts technologiques, c'est-à-dire de futurs produits concevables.

2.2. Une exploration organisee pour l'emergence d'un nouveau champ d'expertise

Faces à ces défis technologiques, une équipe pluridisciplinaire d'experts (électronique, conception de circuits, science des matériaux, optique, photonique, etc.) s'est constituée afin d'élaborer une stratégie d'exploration ayant pour objectif de faire émerger un nouveau champ d'expertise à partir deux domaines d'expertise existants : l'électronique et la photonique. L'enjeu de cette union est de **faire émerger une nouvelle proto-expertise capable d'augmenter le potentiel d'innovation**, c'est-à-dire le potentiel génératif de la structure d'expertise. En effet, une telle proto-expertise est susceptible d'offrir de nouvelles opportunités : augmentation des débits des interconnexions, réduction de la consommation d'énergie et de l'échauffement des puces, nouvelles fonctions hybrides (Dupont, 2011). D'autre part, l'expertise *photonique sur silicium* laisse penser qu'elle peut adresser une large gamme d'applications (marchés de l'informatique, de l'environnement, de la santé) permettant ainsi de servir de substrat technique à la conception de nouvelles applications dans de nouveaux domaines émergeants.

Chez STMicroelectronics, la stratégie d'exploration s'est principalement organisée de la façon suivante :

- Développement d'une expertise sur les composants de base caractérisant les briques élémentaires permettant la transmission de l'information optique : laser (source de photon émettant un faisceau de lumière à une longueur d'onde choisie), modulateur (dispositif permettant de traduire l'information électrique digitale en impulsions lumineuses), multiplexeur (dispositif permettant de combiner plusieurs faisceaux en un seul portant l'information sur plusieurs canaux), guide d'onde (dispositif permettant de transmettre la lumière sur une puce), fibre optique (dispositif permettant de transporter la lumière au-delà de la puce), démultiplexeur (dispositif permettant de séparer les différents canaux), photo-détecteur (dispositif permettant de convertir l'information optique en information électrique).
- Développement d'une expertise sur l'intégration et la convergence des circuits optiques et électroniques [Figure 119].

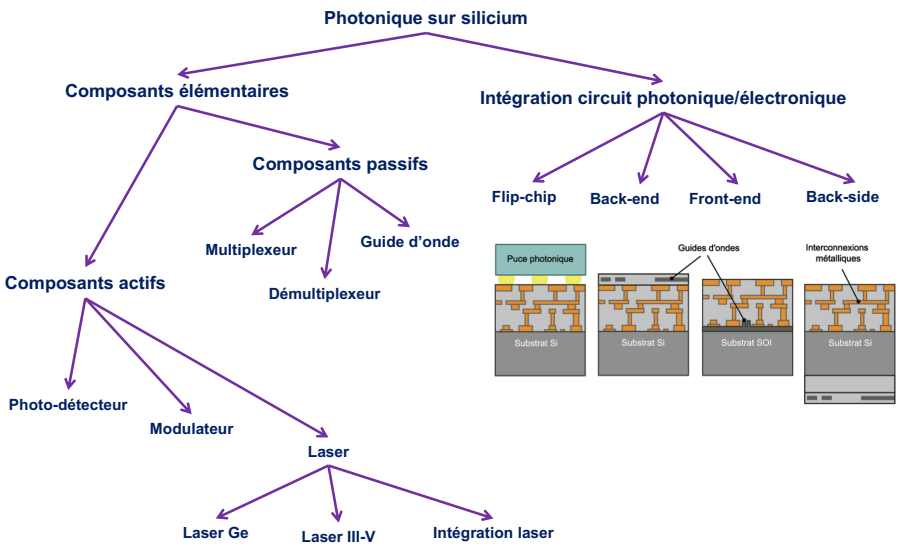


Figure 119 : Concepts projecteurs de la stratégie d'exploration pour l'émergence de la proto-expertise *photonique sur silicium*

Par ailleurs, comme le montre le tableau ci-dessous [Tableau 34], les principales ressources ayant permis aux experts d'organiser l'exploration de ce champ d'innovation sont les thèses CIFRE. En effet, pour chaque concept projecteur, une ou plusieurs thèses CIFRE, encadrées par un expert, ont été lancées.

Années	Sujets de thèse	Concepts projecteurs
2010-2013	Silicon photonics model and characterization	Composants élémentaires
2011-2014	Coupleur 2D pour Si-Photonics	Multiplexeur/Démultiplexeur
2011-2014	Développement de photodiodes à avalanche en Ge sur Si pour la détection faible signal et grande vitesse	Photo-détecteur
2012-2015	Design, fabrication and characterization of a hybrid III-V on silicon transmitter for high-speed communications	Modulateur/Laser
2012-2015	Injection électrique pour un laser en germanium contraint	Laser/Laser Ge
2013-2016	Contacts Ohmiques faible budget thermique pour laser III-V intégré sur plateforme photonique	Laser/ laser III-V
2013-2016	Contribution au développement de composants passifs innovants en technologie photonique afin d'adresser le WDM	Composants passifs
2013-2016	Intégration de procédés en face arrière pour amélioration du couplage circuits photoniques	Intégration circuit photonique/électronique
2013-2016	Silicon photonic to WDM optical link	Composants passifs
2014-2017	Nouveaux procédés d'intégration pour les prochaines générations de circuits intégrés en photonique sur silicium	Intégration circuit photonique/électronique
2014-2017	2D&3D CMOS process monitoring strategy applied to Hybrid Silicon Photonics for yield purpose	Intégration circuit photonique/électronique
2014-2017	Intégration et modélisation RF des interconnexions 3D pour l'interposer photonique	Intégration circuit photonique/électronique
2015-2018	Evaluation of Silicon Photonics techno for the development of innovative 40 Gbs wireless link a	Composants élémentaires
2015-2018	Intégration d'un 2ème niveau de guidage photonique par dépôt de SiN au-dessus du SOI traditionnel	Composants passifs / Intégration circuit photonique/électronique
2015-2018	Contribution aux développements de circuits de qualification pour une plateforme photonique	Composants élémentaires
2015-2018	Epitaxie de semi-conducteurs III-V pour une intégration sur une plateforme Photonique-Silicium	Composants élémentaires

Tableau 34 : Sujets de thèse en fonction & concepts projecteurs de la stratégie d'exploration

2.3. Processus d'emergence de l'expertise *photonique sur silicium* & reorganisation des structures d'expertise

L'émergence d'un nouveau champ d'expertise ne s'effectue pas indépendamment des champs d'expertise existants. Premièrement, l'émergence de l'expertise *photonique sur silicium* s'appuie sur les expertises existantes. Deuxièmement, elle contribue à **réorganiser les structures d'expertises de l'organisation en modifiant la nature des champs d'expertises et leurs relations d'interdépendance**. Ces caractéristiques sont illustrées par la figure ci-dessous [Figure 120]. Le cercle vert représente la nouvelle expertise au sein de la structure des expertises chez STMicroelectronics. Les nœuds et les liens bleus représentent l'évolution des relations d'interdépendance de l'expertise *photonique sur silicium* avec les autres domaines d'expertise de l'organisation.

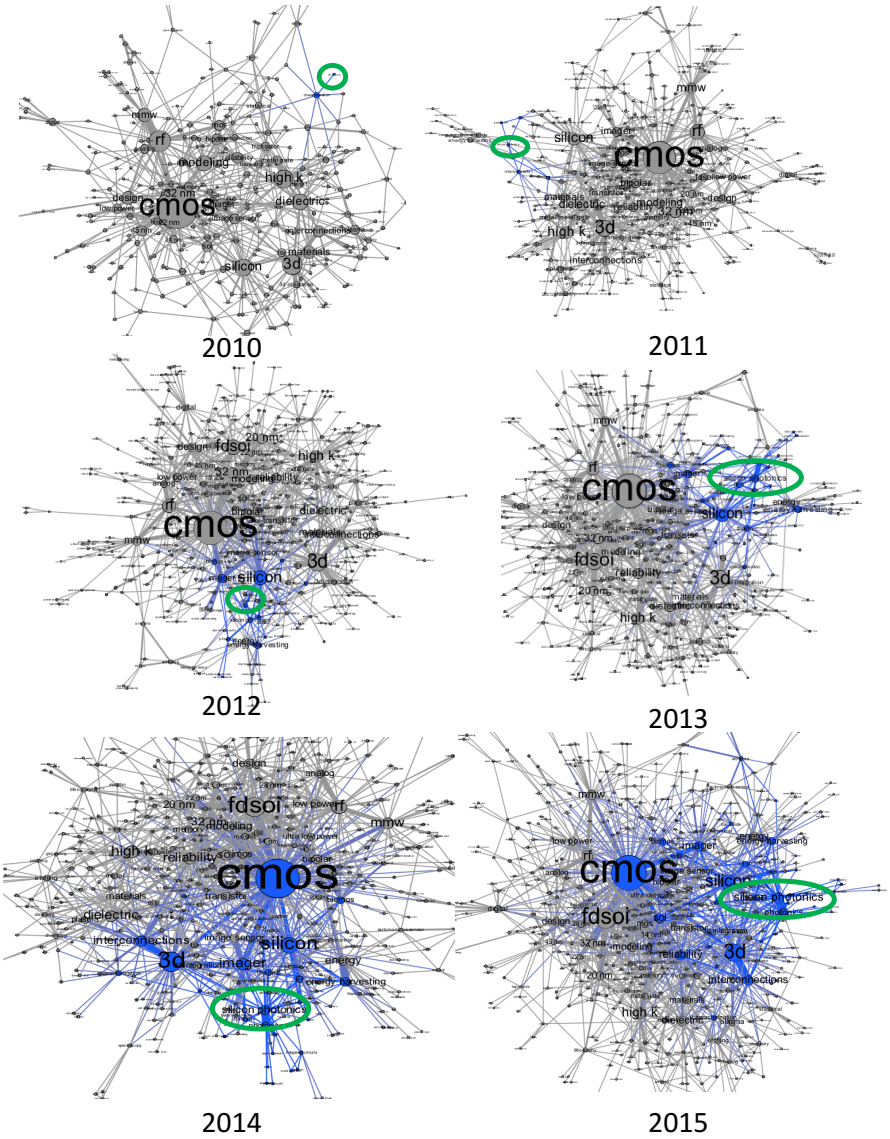


Figure 120 : Relations entre l'expertise *photonique sur silicium* & les autres domaines d'expertise de l'organisation

3. SYNTHESE DU CHAPITRE 9

Dans ce chapitre nous avons illustré les processus d'émergence et de recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics. Premièrement, **nous avons choisi de présenter l'émergence de l'expertise FDSOI** qui est considérée, par l'industrie, comme ayant permis une rupture technologique majeure pour la poursuite de la miniaturisation des circuits électroniques. Deuxièmement, **nous avons présenté l'émergence de l'expertise photonique sur silicium**. Par ailleurs, ces études de cas visent aussi à illustrer le modèle formel que nous avons présenté dans le chapitre précédent. Enfin, nous avons particulièrement insisté sur les enjeux managériaux qui résultent **d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise.**

Dans notre première étude de cas, nous avons mis en évidence que l'enjeu est de faire émerger une nouvelle expertise et de réorganiser les structures d'expertise afin de contourner les limitations physiques liées à la miniaturisation. En outre, l'enjeu est aussi de provoquer une déstabilisation et une révision du *dominant design* des architectures de transistors, tout en constituant des portefeuilles de brevets afin d'assurer des droits de propriété intellectuelle. D'autre part, nous avons souligné que la transformation de l'expertise *« architecture transistor »* ne se limite pas à une seule et unique solution technique. Chaque alternative technique implique inévitablement de profonds bouleversements sur l'ensemble des expertises de l'entreprise et des différents acteurs de l'industrie (concurrents, fournisseurs, partenaires, clients, etc.). **Il s'agit ainsi de faire émerger une nouvelle expertise d'architecture de transistor tout en considérant l'ensemble des relations d'interdépendance avec les autres champs d'expertise de l'organisation** (processus de conception et de fabrication, méthodes de fabrications et d'industrialisation, équipements des usines, conception de circuit, etc.). Ainsi, le processus d'émergence d'une nouvelle expertise s'effectue en provoquant des ruptures dans les structures d'expertise existantes. **Cette émergence modifie radicalement la nature des champs d'expertise et engendre des réorganisations profondes des relations entre champs d'expertise**.

Dans notre seconde étude de cas, **nous avons mis en évidence les enjeux de pilotage et d'organisation d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur l'émergence d'une nouvelle structure d'expertise désirable : la *photonique sur silicium***. Nous avons montré que l'objectif affiché n'est pas d'identifier de nouvelles opportunités de marché, ou de valoriser une technologie existante via de nouvelles applications. En réalité, le challenge est d'explorer un champ d'innovation afin de faire émerger un nouveau champ d'expertise susceptible de provoquer une restructuration des expertises, afin notamment d'augmenter la générativité de la structure des expertises de l'organisation. En effet, l'expertise *photonique sur silicium* est potentiellement générative d'un large ensemble de nouveaux concepts d'artefacts technologiques, **c'est-à-dire de futurs produits concevables.** Enfin, nous avons terminé en mettant en évidence le rôle des thèses CIFRE en tant que principale ressource pour l'exploration d'un champ d'innovation ayant pour vocation de faire émerger de nouveaux champs d'expertise dans l'organisation.

Dans cette partie du manuscrit (Partie IV), nous avons proposé un modèle théorique de l'émergence de l'expertise, identifié et modélisé un régime d'émergence d'expertise impliquant la réorganisation des structures d'expertise et nous avons mis en évidence de nouveaux enjeux managériaux que supposent un tel régime. Par conséquent, la partie suivante (Partie V) a pour objectif de proposer un modèle de gouvernance susceptible de favoriser, de systématiser et de rationaliser l'émergence de nouvelles expertises permettant la réorganisation des structures d'expertise pour la révision des *dominant designs* et l'augmentation de la générativité.

PARTIE V. – INGENIERIE DE LA GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE FACE A L'INNOVATION INTENSIVE : PRINCIPES D'ORGANISATION & MODELES DE GOUVERNANCE

Partie V. – Ingénierie de la gouvernance de l'émergence de l'expertise face à l'innovation intensive : principes d'organisation & modèles de gouvernance 251

Chapitre 10 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise basée sur la co-extension des structures d'expertise : vers le concept de société proto-épistémique d'experts 253

Chapitre 11 – Institutionnalisation d'une nouvelle gouvernance de l'émergence de l'expertise : l'exemple du *Technical Staff College* chez STMicroelectronics 279

Chapitre 12 – Exemples de projets entrepris par le *Technical Staff College* : la cas de la *méthode FMEA* & le cas de l'expertise *energy harvesting* 301

CHAPITRE 10 – GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE BASEE SUR LA CO-EXTENSION DES STRUCTURES D'EXPERTISE : VERS LE CONCEPT DE SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS

Chapitre 10 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise basée sur la co-extension des structures d'expertise : vers le concept de société proto-épistémique d'experts 253

1. Phénoménologie des enjeux d'interdépendance de l'expertise dans la littérature en sciences de gestion 255

1.1. Le concept de pervasivité des technologies 255

1.2. Le concept de *convergence* des technologies 257

1.3. Le concept de *confluence* des technologies 257

2. Réorganisation des structures d'expertise : les limites d'une logique communautaire..... 258

2.1. Le paradoxe du concept de communauté 258

2.2. Communauté et société : deux idéaux-types 259

***3.* Des communautés épistémiques d'experts à la société proto-épistémique d'experts : organiser l'émergence d'expertises pour provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs*..... 262**

3.1. Experts & communautés de savoirs dans les organisations 262

3.2. Le concept de *société proto-épistémique d'experts* dans les organisations 263

3.3. La *société proto-épistémique d'experts* : un modèle de gouvernance pour un régime d'émergence de l'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise 265

4. Gouvernance de l'émergence de l'expertise & gouvernance de l'entreprise : rôle & légitimité de la *société proto-épistémique d'experts* dans la gouvernance des organisations industrielles 268

4.1. Légitimité de la *société proto-épistémique d'experts* dans la gouvernance de l'entreprise 268

4.2. Emergence d'expertise & gouvernance de l'entreprise : les proto-expertises en tant qu'inconnus communs non appropriables 270

4.3. L'émergence de *sociétés proto-épistémiques d'experts* dans les organisations industrielles : le signe d'un nouveau tournant fayolien ? 274

5. Synthèse du chapitre 10 278

Précédemment, nous avons proposé un modèle formel intégrateur afin de rendre compte des différents modèles d'émergence de l'expertise. Nous avons identifié et modélisé un régime d'émergence d'expertise impliquant la réorganisation des structures d'interdépendance des champs d'expertise. Dans ce régime, l'émergence de nouvelles expertises engendre des modifications et des restructurations profondes des champs d'expertise. Ce régime d'émergence de l'expertise, basé sur la co-extension des champs expertise, est fondamental pour les enjeux d'innovation de rupture. En effet, il permet de provoquer la déstabilisation des *dominant designs* et d'augmenter la générativité des structures d'expertise.

A partir de notre modèle formel, nous avons mis en évidence de nouveaux enjeux managériaux que supposent un tel régime d'émergence de l'expertise. Premièrement, nous avons souligné les besoins d'organiser des stratégies d'exploration de champs d'innovation, non pas centrées sur la création de produits, mais sur **la conception de nouvelles structures d'expertise désirables,** afin notamment d'augmenter le potentiel génératif de ces structures. Deuxièmement, étant donné la nature des structures d'interdépendance des expertises, il devient indispensable d'instituer, de gérer et de piloter les **réorganisations des relations d'interdépendances entre les expertises** pour provoquer la rupture des *dominant designs*. Ainsi, il ne s'agit plus de constituer des stratégies d'exploration propre à chaque domaine d'expertise, indépendamment des autres domaines. Il est donc nécessaire de recourir à des dispositifs de gestion capables de permettre **la coordination, la collaboration et l'action collective des experts quels que soient leurs domaines d'expertise respectifs**. Troisièmement, ces dispositifs doivent permettre la gestion de processus visant l'émergence **de nouvelles proto-expertises dans l'organisation,** tout en permettant de contrôler **le degré de transformation des structures d'expertises afin de maintenir une certaine cohérence entre les différentes expertises.** Par ailleurs, il s'agira de justifier et de légitimer institutionnellement le rôle de l'expert dans ces processus, ainsi que l'émergence de nouvelles proto-expertises dans l'organisation. Enfin, les experts se doivent **de gérer et d'assurer la disponibilité d'un ensemble de ressources** permettant l'exploration organisée de champs d'innovation pour l'émergence de nouvelles proto-expertises.

A travers l'analyse et l'étude de deux cas illustrant des processus d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise chez STMicroelectronics (*FDSOI* et *photonique sur silicium*), nous avons illustré empiriquement ces nouveaux enjeux managériaux. Cependant, ces études de cas illustrent des moments singuliers et exceptionnels de la vie de l'organisation. Force est de constater qu'il n'existe pas de modèle de gouvernance susceptible de favoriser, de systématiser et de rationaliser l'émergence de nouvelles expertises permettant la réorganisation des structures d'expertises contribuant à la révision des *dominant designs* et à l'augmentation de la générativité des structures d'expertise. Ainsi, l'enjeu de ce chapitre est de proposer un modèle de gouvernance pour l'émergence de l'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertises et de répondre à la question de recherche suivante : **Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive : stratégies, dispositifs de gestion & modèles d'organisation ?**

1. PHENOMENOLOGIE DES ENJEUX D'INTERDEPENDANCE DE L'EXPERTISE DANS LA LITTERATURE EN SCIENCES DE GESTION

Avant de s'interroger sur la nature des modèles de coordination et d'action collective, sur celle des modèles de gestion des ressources humaines et sur celle des rôles des experts susceptibles d'accompagner un régime d'émergence d'expertise capable de contribuer à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants, nous souhaitons mettre en exergue certains concepts illustrant la dynamique de la structure des expertises. Dans la littérature en management, la notion d'interdépendance technologique souligne précisément le fait que chaque technologie entretient des relations de dépendances avec d'autres technologies (Kapoor & Adner, 2007 ; Bailey et al., 2010 ; Adner & Kapoor, 2010). Ces relations d'interdépendances ont ainsi un impact important en matière d'organisation et de coordination du travail.

> *"the concept of interdependence beyond its focus on task to include technology defining technology interdependence as technologies' interaction with dependence on one another in the course of carrying out work. With technologies increasingly aiding knowledge work, understanding technology interdependence may be as important as understanding task interdependence for theories of organizing, but the literature has yet to develop ways of thinking about technology interdependence or its impact on the social dynamics of work." (Bailey et al., 2010)*

Pour Bailey et al. (2010), la littérature en management et en théorie des organisations a principalement mis l'accent sur les enjeux de coordination des acteurs au détriment de l'analyse des relations d'interdépendance entre les technologies, c'est-à-dire les interactions et les relations de dépendance entre technologies. Or, cette interdépendance entre les technologies influe considérablement sur les activités de conception et de production : *"This interdependence among technologies affects production outcomes so strongly that assuring that the output from one technology can be effortlessly used as input for the next one is now essential in countless manufacturing settings" (Bailey et al., 2010).* Le concept d'interdépendance technologique vise à souligner les problèmes de coordination dans les activités de conception et de production au niveau des interfaces entre différentes technologiques. Dans leurs travaux, les chercheurs Kapoor et Adner (2007, 2010) s'intéressent à la structure des interdépendances technologiques. A partir d'une étude sur l'évolution des technologies de lithographie[86] dans l'industrie du semi-conducteur, ils montrent que l'analyse du changement technologique requiert de prendre en compte l'évolution de l'ensemble de l'écosystème technologique dont chaque technologie est nécessairement dépendante. Chaque technologie co-évolue en fonction des progrès réalisés dans l'ensemble des technologies dont elle est interdépendante.

1.1. LE CONCEPT DE PERVASIVITE DES TECHNOLOGIES

Pour illustrer l'effet systémique d'une technologie sur l'espace des techniques et pour défendre l'idée selon laquelle la performance intrinsèque d'une nouvelle technologie ne permet pas d'expliquer, à elle seule, les avantages d'une innovation de nature technologique, nous avons introduit le concept de

[86] Technique de base pour la conception de circuits semi-conducteurs, qui consiste à altérer une résine sensible par une source à travers un masque.

pervasivité (Cabanes et al., 2015). La nature pervasive d'une technologie impose de prendre en compte les modifications sur l'ensemble de l'environnement technique, ainsi que le degré de transformation des différentes technologies. Ce concept permet d'exprimer la faculté d'une invention technique à transformer et à réorganiser d'autres technologies ainsi que sa capacité à se diffuser à travers un large ensemble de technologies. Le concept de pervasivité peut s'exprimer de deux façons. Premièrement, il exprime la capacité d'une invention technique à se diffuser à travers un large ensemble de technologies (i.e. la transformation d'une technologie implique la modification d'autres technologies). Deuxièmement, il exprime le degré de transformation et de réorganisation qu'implique une invention technique sur les autres technologies (i.e. la transformation d'une technologie reconfigure de façon plus ou moins importante une autre technologie). Aussi, une stratégie basée sur la pervasivité des technologies vise à augmenter la pervasivité fondée sur les relations d'interdépendances entre technologies (i.e. transformer le plus de technologies possibles) tout en contrôlant le degré de transformation des différentes technologies (i.e. une transformation trop radicale d'une technologie peut ne pas être supportée par l'acteur concerné ; par exemple, un investissement trop important). Ainsi une stratégie technologique basée sur la pervasivité des technologies permet d'illustrer de nouveaux enjeux stratégiques concernant la conception de nouvelles technologies.

D'une certaine manière, la notion de pervasivité des technologies fait écho aux travaux portant sur l'étude des techniques et sur l'analyse de l'histoire des techniques (Leroi-Gourhan, 1973 ; Ellul, 1977 ; Gille, 1978, 1979). En s'appuyant sur les notions de système et de technique, Bertrand Gille est le premier à introduire une définition des systèmes techniques.

> *« A la limite, en règle très générale, toutes les techniques sont à des degrés divers, dépendantes les unes des autres, et il faut nécessairement entre elles une certaine cohérence : cet ensemble de cohérences aux différents niveaux de toutes les structures de tous les ensembles et de toutes les filières compose ce qu'on peut appeler un système technique » (Gille, 1978)*

Dans cette définition, Bertrand Gille reprend l'idée d'Ellul (1977) selon laquelle un système est un ensemble d'éléments en relation les uns avec les autres de telle façon que toute évolution de l'un implique un bouleversement de l'ensemble et que toute modification de l'ensemble réagit sur chacun des éléments (Gille, 1979). Gille (1979) revendique deux types d'analyse des systèmes techniques : une analyse statique et une analyse dynamique. L'étude statique d'un système technique correspond à l'analyse interne du système et cherche à expliquer les équilibres, dans la mesure où elle laisse aussi une place à l'examen des possibles déséquilibres et mutations internes au système. L'étude dynamique des systèmes se traduit par l'analyse du rôle des inventions qui introduisent des déséquilibres et impliquent la réorganisation et la recherche d'une nouvelle cohérence au sein d'un système technique. Enfin, ces systèmes techniques ne sont pas fermés sur eux-mêmes, mais directement ouverts aux autres systèmes et souvent interdépendants les uns des autres. Aussi, un changement radical d'un système technique peut entraîner la transformation et la réorganisation de plusieurs systèmes techniques.

1.2. LE CONCEPT DE *CONVERGENCE* DES TECHNOLOGIES

D'autre part, dans le rapport *The third revolution : The convergence of the life sciences, physical sciences, and engineering* (Sharp et al., 2011), des chercheurs du MIT[87] introduisent le concept de *convergence* afin de caractériser la réunion (la *convergence*) et les interactions entre certaines disciplines indépendantes, parmi lesquelles l'ingénierie, la physique et les sciences de la vie. Ils définissent le concept de *convergence* comme la fusion de technologies, de disciplines ou de dispositifs distincts, en un ensemble unifié capable de générer de nouvelles opportunités. Pour les auteurs, le concept de *convergence* est un *« blueprint for innovation »* et marque un changement de paradigme dans la façon de faire de la recherche.

> *"The convergence revolution is a paradigm shift, but not just, in Thomas Kuhn's terms, a paradigm shift within a discipline. Convergence means a broad rethinking of how all scientific research can be conducted, so that we capitalize on a range of knowledge bases, from microbiology to computer science to engineering design. In other words, the convergence revolution does not rest on a particular scientific advance but on a new integrated approach for achieving advances." (Sharp et al., 2011)*

Dans leur rapport adressé à l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), les auteurs défendent l'idée selon laquelle le paradigme de *convergence* implique la collaboration entre différents groupes de recherche, et plus particulièrement, l'intégration des approches disciplinaires qui ont été initialement considérées comme séparées et distinctes. Cette fusion des technologies, des procédés, des disciplines et des dispositifs en un tout unifié créera de nouvelles voies et de nouvelles possibilités de changement et d'évolution scientifique et technologique. Le rapport se focalise particulièrement sur la biomédecine, un champ qui est déjà transformé, selon eux, par le principe de *convergence*. Au MIT par exemple, les scientifiques utilisent des nanoparticules pour transporter des médicaments anticancéreux directement vers les cellules cancéreuses, développant ainsi des médicaments qui combattent les maladies sans endommager les tissus et les cellules saines. D'autre part, le rapport propose des recommandations parmi lesquelles la création d'un écosystème de recherche afin de créer des liens entre différents organismes de recherche dont les disciplines sont différentes, de réformer les processus de *peer-reviewing* pour favoriser les projets de recherche interdisciplinaire et d'axer la formation et l'éducation sur des programmes interdisciplinaires afin de soutenir les prochaines générations de chercheurs. Nous retrouvons ainsi les enjeux d'interdépendance de l'expertise au cœur du concept de *convergence*.

1.3. LE CONCEPT DE *CONFLUENCE* DES TECHNOLOGIES

Enfin, en management de la technologie et de l'innovation et sur la base de la notion de *convergence*, des chercheurs tels que Utterback, Thomas et Maine (Maine et al., 2014) introduisent le concept de *confluence* afin de mettre en évidence de nouvelles stratégies pour la création d'innovations radicales. Pour les auteurs, la *confluence* des technologies est définie comme de nouvelles combinaisons de technologies précédemment indépendantes. La *confluence* des technologies émerge lorsque des chercheurs de plusieurs disciplines travaillent ensemble à l'intersection de plusieurs technologies et lorsque des produits basés sur ces intersections de technologies commencent à émerger.

[87] Massachusetts Institute of Technology

> *"A confluence of technologies is defined as a new combination of previously distinct technologies, and evolves when researchers begin to work at the intersection of two or more technology streams, and when products based on this intersection of technology begin to emerge." (Maine et al., 2014)*

Les auteurs soutiennent que trois stratégies de management de l'innovation sont au cœur du développement d'innovations radicales à partir de la *confluence* des technologies :

(1) *Importing ideas from broad networks :* importation d'idées et de concepts à partir de vastes réseaux de recherche pluridisciplinaire afin de permettre la synthèse de concepts provenant de technologies disparates.
(2) *Creating environments which allow for deep collaboration* : collaboration approfondie et interactive entre les différentes équipes de R&D où *"each group makes an essential contribution to different stages of the research process"* (Rafols & Meyer, 2007).
(3) *Technology-market matching :* reconnaissance et hiérarchisation des solutions technologiques les plus prometteuses en fonction des applications et des marchés potentiels.

2. REORGANISATION DES STRUCTURES D'EXPERTISE : LES LIMITES D'UNE LOGIQUE COMMUNAUTAIRE

Si les concepts de pervasivité, de *convergence*, et de *confluence* mettent en évidence les enjeux d'interdépendance des structures d'expertise, paradoxalement, peu de travaux se sont intéressés aux formes de coopérations, de GRH et aux modèles d'action collective permettant d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus : **Comment des acteurs avec des expertises différentes peuvent-ils développer des technologies complexes alors que les architectures sont inconnues, que les champs d'expertise sont incertains et que la coordination à travers la hiérarchie est impossible ?** Le problème est amplifié lorsque les processus de conception nécessitent des connaissances diverses et spécialisées que possèdent différentes communautés (Tuertscher et al., 2014).

Dans la littérature en management et en théorie des organisations, les lieux et les processus de création de connaissance dans les organisations sont généralement représentés à travers le concept de communauté de savoir, notamment les communautés de pratique (Brown & Duguid, 1991 ; Lave & Wenger, 1991) et les communautés épistémiques (Hass, 1992 ; Cowan et al., 2000 ; Cohendet et al., 2006). La principale différence entre les deux notions réside sur le fait que les communautés épistémiques sont orientées vers la création de nouvelles connaissances alors que les communautés de pratique sont orientées vers la réussite d'une activité (Cohendet et al., 2003).

2.1. LE PARADOXE DU CONCEPT DE COMMUNAUTE

Le concept de communauté ne se limite cependant pas qu'aux communautés de pratique et épistémiques. La thématique et la notion de communauté sont de plus en plus importantes dans le champ des sciences de gestion et en particulier dans les études sur le management de l'innovation. Un nombre

important de nouveaux concepts, basés sur la notion de communauté, ont vu le jour : *epistemic communities* (Hass, 1992), *hierarchical communities* (Cohendet et al., 2003), *technology communities* (Lynn et al., 1997), *open source communities* (West & O'mahony, 2008), *user communities* (Morriso et al., 2000 ; Von Hippel, 2005), *supplier communities* (Doel, 1999), et *innovation communities* (Fichter & Beucker, 2012 ; Bansemir, 2013). Dans la plupart des cas, l'importance croissante de la notion de communauté est liée à la part supposée de plus en plus importante de ce type de collectif dans les changements radicaux dans la plupart des secteurs industriels (Castells, 2011). De plus, cet intérêt peut également s'expliquer par le rôle primordial de ces communautés dans la stimulation de l'innovation au sein et en dehors des organisations (Adler, 2001 ; Benkler, 2006 ; Adler et al., 2008).

Cependant, l'utilisation grandissante du concept de communauté dans les études sur l'innovation rend urgente la résolution d'un paradoxe théorique. Premièrement, comme le remarque Brint (2001), West & Lakhani (2008), Amin & Roberts (2008), et Adler (2015), la plupart des études sur le rôle des communautés dans les processus d'innovation ont tout simplement ignoré de caractériser précisément et de définir théoriquement le concept de communauté. En effet, le terme de communauté est principalement utilisé pour désigner tous types de collectif, sans considérations sur les limites théoriques et phénoménologiques de ce concept. Par conséquent, si une communauté est un collectif, tout collectif ne devrait pas forcément être une communauté.

> *"many discussions of community's role in innovation simply ignore the need to characterize community theoretically, using the term simply to designate any collectivity" (Adler, 2015)*

> *"the use of the term has become imprecise, having strayed far from the original definition" (Amin & Roberts, 2008)*

Deuxièmement, comme le montre Adler (2015), il est particulièrement difficile de lier le rôle présumé de la communauté en matière d'innovation avec la définition standard du concept de communauté. En effet, la forme paradigmatique du concept communauté, définie par Tönnies (1957) et utilisée par Ouchi (1980) dans les études sur les organisations, est essentiellement uniforme, traditionaliste et conservatrice ; ce qui n'est pas vraiment propice à l'innovation et en particulier à l'innovation de rupture.

> *"It is difficult to reconcile the purported role of community as an antecedent to innovation with the standard accounts of community. The paradigmatic form of community – Tönnies' Gemeinschaft, familiar to organization studies as Ouchi's 'clan' type of organization (Ouchi, 1980) – is essentially traditionalistic, notoriously insular, conservative, and status bound, and as such it is a context that is hardly conducive to dynamic innovation." (Adler, 2015)*

2.2. COMMUNAUTE ET SOCIETE : DEUX IDEAUX-TYPES

En 1887, Tönnies publie le livre *« communauté et société »*, dans lequel il distingue deux formes d'organisation distincte : la *« communauté »* (*Gemeinschaft*) et la *« société »* (*Gesellschaft*). Tönnies est l'un des premiers sociologues à avoir proposé une conceptualisation rigoureuse du concept de communauté. Pour

Tönnies, la distinction entre société et communauté illustre des formes sociales historiques successives (Dérieux, 2016). Cependant, les notions de communauté et de société sont avant tout des concepts opératoires et non des descriptions réalistes d'une situation sociale donnée (Lachaussée, 2008). Ainsi, ces deux concepts sont des idéaux-types[88] et feront partie de la sociologie pure qu'élaborera Tönnies par la suite. Tönnies défend la thèse selon laquelle il existe deux types de groupes sociaux, la communauté et la société, se caractérisant par deux sortes de volontés distinctes.

La communauté se base sur la *« volonté première »* ou la *« volonté organique »* (*Wesenswille*). Ce terme désigne l'ensemble des forces propres d'une personne ou d'un groupe et est définie par l'instinct humain (*Gefallen*), l'habitude (*Gewohnheit*), la mémoire (*Gedächtnis*) et le consensus (*Verständnis*). La communauté protège, préserve et respecte les individus et tient compte de leurs besoins affectifs (Lachaussée, 2008). Les membres d'une communauté font partie d'un tout jusqu'à se confondre avec ce tout (la famille, le village, la corporation).

> *« La théorie de la communauté est fondée sur l'idée que dans l'état primitif et naturel se manifeste une unité parfaite des volontés humaines qui, malgré, et à travers la séparation empirique des individus, perdure et prend des formes variées suivant la manière dont les relations qu'entretiennent les individus diversement conditionnés apparaissent comme prédéterminées ou données. » (Tönnies, 2010 p.11)*

Le modèle communautaire évolue selon une logique interne auto-reproductive. Vivre en communauté signifie la possession et la jouissance réciproques de biens communs (Tönnies, 2010). Ce qui constitue la communauté, c'est une unité absolue qui exclut la distinction des parties : *« Un groupe qui mérite ce nom n'est pas une collection même organisée d'individus différents en relation les uns avec les autres ; c'est une masse indistincte et compacte qui n'est capable que de mouvements d'ensemble, que ceux-ci soient dirigés par la masse elle-même ou par un de ces éléments chargé de la représenter »* (Durkheim, 1889).

La société se base sur la *« volonté réfléchie »* ou *« volonté rationnelle »* (*Kürwille*). La *« volonté rationnelle »* se manifeste par la réflexion, la décision et est le produit de la pensée (Mesure, 2013). Le calcul et la connaissance sont les facteurs essentiels de la *« volonté rationnelle »*. La société est une association volontaire et repose sur un contrat, c'est-à-dire une décision librement consentie (Jaffro, 2008). Dans la société, c'est l'avenir qui joue un rôle majeur. Par conséquent, il n'y a pas d'activités qui puissent être déduites d'une unité existant *a priori*.

> *« La théorie de la société conceptualise cette dernière comme un cercle d'hommes qui vivent et habitent paisiblement les uns avec les autres, comme dans la communauté, mais qui, loin d'être essentiellement liés, sont plutôt essentiellement séparés ; alors que dans la communauté, ils restent liés en dépit de toute séparation, dans la société, ils sont séparés en dépit de toutes liaisons. Par suite, aucune activité n'existe ici qui pourrait être dérivée de manière nécessaire d'une unité existant a priori et qui, dans la mesure où elle serait exercée par l'individu, exprimerait la volonté et l'esprit de cette unité, et serait*

[88] Catégories abstraites ayant pour objectif d'aider à comprendre ou à théoriser certains phénomènes.

entreprise par cet individu autant pour ceux qui sont associés avec lui que pour lui-même. » (Tönnies, 2010 p.45)

Le modèle de la société est caractérisé par les sociétés modernes et cosmopolites avec leurs bureaucraties gouvernementales et les grandes organisations industrielles. Dans la société, l'intérêt rationnel et le calcul agissent en affaiblissant les liens traditionnels de la famille et de la religion qui constituent la structure de la communauté. Dans la société, les relations humaines sont plus impersonnelles et indirectes, étant donné qu'elles sont construites rationnellement selon des principes d'intérêt et d'efficacité.

Dans *The New Leviathan*[89] (1942), le philosophe britannique Robin Collingwood reprend la dialectique de la communauté et de la société. Cependant, contrairement à Tönnies, Collingwood perçoit la distinction entre communauté et société en donnant comme base la considération non pas du rapport économique, mais du rapport juridique (Jaffro, 2008). Ainsi, Collingwood se refuse de réduire la société et les rapports contractuels à l'échange marchand, à la division du travail et à l'égoïsme des acteurs. L'auteur voit dans la société le rapport entre des volontés qui passent des contrats afin de coopérer, et non pas le rapport d'échange entre des individus uniquement préoccupés d'eux-mêmes (Jaffro, 2008). Pour Collingwood, le concept de société renvoie au rapport volontaire et libre entre des associés ou des sociétaires.

L'opposition entre communauté et société établit une dichotomie sur plusieurs niveaux (Lachaussée, 2008 ; Jaffro, 2008 ; Delorme, 2015 ; Dérieux, 2016). Ces distinctions sont récapitulées dans le tableau suivant [Tableau 35].

Communauté (*Gemeinschaft*)	**Société (*Gesellschaft*)**
Volonté organique : instinct, habitude, consensus	*Volonté rationnelle :* réflexion, décision, choix conscient en fonction d'un objectif spécifique
Consensus, accords silencieux et spontané, pas d'entente préalable	Contrat antérieur débattu et portant sur des points déterminés
Unité dans la pluralité (unité organique)	Pluralité dans l'unité (agrégat mécanique)
Association d'individus dans laquelle le groupe a priorité sur l'individu	Distinction et indépendance des parties
La corporation se rattache, comme un clan, à un ancêtre, inventeur de l'art, qui régit l'héritage commun	Sentiment spirituel de travailler dans la même direction et une même œuvre peut se créer avec des rencontres fréquentes
Les relations personnelles sont définies et réglementées sur la base de règles sociales traditionnelles	Les associations entre particuliers ne prennent jamais la priorité sur les intérêts des individus
Les individus ont des relations simples et directes entre eux	Les relations humaines sont plus impersonnelles et indirectes, étant rationnellement construites dans l'intérêt de l'efficacité

Tableau 35 : Distinctions entre les concepts de communauté et société

[89] Traduction française : Collingwood (2001). Le Nouveau Léviathan : ou l'homme, la société, la civilisation et la barbarie. Kimé.

3. DES COMMUNAUTES EPISTEMIQUES D'EXPERTS A LA SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS : ORGANISER L'EMERGENCE D'EXPERTISES POUR PROVOQUER LA DESTABILISATION ET LA REVISION DES *DOMINANT DESIGNS*

3.1. EXPERTS & COMMUNAUTES DE SAVOIRS DANS LES ORGANISATIONS

Si le terme de *communauté d'experts* est populaire dans les organisations, force est de constater qu'il est peu développé dans la littérature en gestion, à l'exception des travaux d'Andriessen (Andriessen et al., 2004 ; Andriessen, 2006). Dans les organisations, la notion de *communauté d'experts* désigne généralement l'ensemble les membres de la filière technique qui ont été sélectionnés par l'intermédiaire du dispositif de la double échelle. La *communauté d'experts* regroupe ainsi un ensemble d'individualités sélectionnés qui ne collabore pas nécessairement et n'éprouvent pas d'esprit de cohésion. Pour Andriessen et al. (2004), la *communauté d'experts* se caractérise par un respect de règles institutionnelles et de faibles relations de collaboration entre les membres. Comme le remarque Cohendet et al. (2006), dans une communauté d'experts, les membres sélectionnés n'interagissent pas réciproquement et n'éprouvent pas de sentiment de cohésion. La collaboration entre les membres intervient généralement dans le cadre d'une consultation sur un sujet précis, notamment via des processus utilisant la méthode Delphi[90] pour la résolution de problèmes, le diagnostic de problèmes ou encore pour des problématiques d'optimisation. Néanmoins, il nous paraît important de différencier la *communauté d'experts* (les experts sélectionnés par le mécanisme de la double échelle) des *communautés d'experts* qui ressemblerait à s'y méprendre, au concept de métier interne ou de *communautés de savoirs*, c'est-à-dire des groupes d'individus partageant un même domaine d'expertise permettant une compréhension partagée et ayant un objectif cognitif commun de création de connaissances dans un champ d'expertise spécifique. Pour Cohendet et al. (2006, 2010), dans une communauté de savoir, les membres sont liés entre eux par la volonté d'investir un domaine donné de connaissance. Par conséquence, *« les communautés de savoir joueraient ainsi le rôle d'unités actives de compétences pour les organisations, et pourraient être considérées comme les véritables briques élémentaires du cœur de savoir des organisation »* (Cohendet et al., 2006).

Par ailleurs, si les communautés d'experts s'assimilent à des communautés de savoir, il nous paraît important de préciser qu'elles s'orientent principalement vers la création de connaissances et non pas vers la réussite d'une activité. Ainsi, nous parlerons de ***communautés épistémiques d'experts*** afin de faire la distinction avec la notion de *communautés de pratique*. Pour Cowan et al. (2000), les *communautés épistémiques* sont des *"small groups of agents working on a commonly acknowledged subset of knowledge issues and who at the very least accept a commonly understood procedural authority as essential to the success of their knowledge activities"*. Ainsi, par extension, les ***communautés épistémiques d'experts,*** peuvent se définir comme un groupe ou un collectif d'acteurs possédant un haut niveau d'expertise dans un domaine donné, qui interagissent régulièrement, partagent un ensemble de valeurs et de savoirs, entretiennent des rapports

[90] *« La méthode de Delphes peut être caractérisée comme une méthode pour structurer un procédé de communication de groupe de sorte que le processus soit efficace en permettant à un groupe d'individus, dans l'ensemble, de traiter un problème complexe »* (Harold & Murray, 2002).

sociaux basés sur un sentiment d'estime réciproque, et partagent un objectif commun de création de connaissance dans un domaines d'expertise particulier. En outre, l'union de la communauté repose sur l'existence d'une autorité procédurale. Une autorité procédurale correspond à un ensemble de règles et de routines qui définissent les objectifs de la communauté, les moyens pour les atteindre et organisent les comportements collectifs au sein de la communauté (Cohendet et al., 2003). Ainsi, la *communauté d'experts* se compose en réalité de plusieurs *communautés épistémiques d'experts* indépendantes.

D'autre part, dans la littérature en sciences de gestion (Nelson & Winter, 1982 ; Brown & Duguid, 1991 ; Chanal, 2000 ; Cohendet & Diani, 2003 ; Cohendet et al., 2006 ; West & Lakhani, 2008), les communautés de savoir, en particulier les communautés épistémiques, se différencient des autres groupes sociaux par des caractéristiques générales, qui rappellent précisément **le concept de communauté tel qu'il a été défini par Tönnies :**

- Les communautés de savoirs sont des groupes autonomes fondés sur un principe d'adhésion volontaire des agents en fonction du partage d'un certain nombre de valeurs, de normes, d'intérêts cognitif communs ou d'une pratique commune **(volonté organique, consensus, accords silencieux).**
- Les communautés de savoirs sont constituées d'agents partageant une même spécialisation disciplinaire **(unité dans la pluralité, héritage commun).**
- Les liens forts entre les membres d'une communauté de savoir sont fondés sur la passion et l'engagement des membres vers un objectif commun ou une pratique commune **(héritage commun, association d'individus dans laquelle le groupe a priorité sur l'individu).**
- Les relations entre les membres d'une communauté de savoir sont gouvernées par des relations de confiance fondées sur le respect des normes fixées par la communauté **(les individus ont des relations simples et directs entre eux, les relations personnelles sont définies et réglementées sur la base de règles sociales traditionnelles).**

Ainsi, dans les ***communautés épistémiques d'experts,*** l'unité entre les experts existe *a priori* (elle se base sur le partage d'un même domaine d'expertise), l'action collective se réalise au sein des champs d'expertises existants, la reconnaissance de l'expertise détenue intervient à l'intérieure et à l'extérieure de la communauté, et le champ d'expertise correspond à un bien commun connu et partagé par l'ensemble des experts membres de la communauté.

3.2. LE CONCEPT DE *SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS* DANS LES ORGANISATIONS

Dans une situation où l'enjeu est précisément de provoquer l'émergence de nouveaux champs d'expertise et de réorganiser les structures d'expertises pour provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs*, le concept de *communauté épistémique d'experts* semble particulièrement limité. En effet, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise, il n'y a pas d'activités qui puissent être déduites d'une unité existante *a priori* (l'unité du collectif ne se base pas sur le partage d'un même domaine d'expertise), les experts sont liés par des relations d'échange commandées par

leur volonté réfléchie de faire émerger de nouvelles proto-expertises, l'action collective se base sur une volonté partagée de réorganiser les relations d'interdépendance des expertises, les expertises détenues par les membres sont hétérogènes et sont reconnues uniquement à l'intérieure du collectif. A partir des idéaux-types de communauté et société, nous proposons d'introduire le concept de ***société proto-épistémique d'experts*** [Tableau 36]. Ainsi, **une *société proto-épistémique d'experts*** peut se définir de la façon suivante :

Une *société proto-épistémique d'experts* est un groupe d'individus (reconnus en tant qu'experts dans l'organisation) partageant des domaines d'expertise différents et ayant pour objectif cognitif commun de réorganiser les relations d'interdépendance des champs d'expertise afin de faire émerger de nouvelles proto-expertises et de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs* pour augmenter le potentiel génératif des structures d'expertise de l'organisation.

	Communauté épistémique d'experts	**Société proto-épistémique d'experts**
Mode d'émergence de l'expertise	Emergence d'expertise en préservant les structures d'expertise (préservation des *dominants designs*)	Emergence d'expertises en provoquant la rupture des structures d'expertise (déstabilisation et révision des *dominant designs)*
Objectif	Produire et maintenir des connaissances dans un champ d'expertise considéré	Création de nouveaux champs d'expertise en réorganisant les structures d'expertise pour augmenter la générativité de celles-ci
Activité cognitive	Création, accumulation, circulation de connaissances dans un champ d'expertise considéré	Réorganiser les structures d'expertise afin de faire émerger de nouvelles proto-expertises et de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs*
Unité du collectif	L'unité du groupe repose sur un ensemble d'expertises, de connaissances et d'objectifs de même nature. L'action collective se réalise au sein d'un champ d'expertise existant ➔ **Volonté organique**	L'unité du groupe repose sur des processus de concertation rationnelle entre les acteurs pour la réalisation d'un objectif commun. L'action collective se réalise à l'interface de champs d'expertise hétérogènes et émergeants ➔ **Volonté rationnelle**
Variété des expertises au sein du collectif	Expertises homogènes (au sein de chaque communauté)	Expertises hétérogènes
Nature des rapports entre les individus	Relations pair-à-pair définies et réglementés sur la base de règles sociales propre à la communauté ➔ **Association d'individus dans laquelle le groupe a priorité sur l'individu**	Les associations entre individus sont fondées sur la volonté de coopérer à condition que les intérêts individuels soient respectés ➔ **Distinction et indépendance des parties**
Raison de la cohésion de la structure	Respects de normes communément acceptés. Autorité procédurale ➔ **Unité organique**	Contrat antérieur débattu et portant sur des objectifs déterminés ➔ **Agrégat mécanique**

Tableau 36 : Distinctions entre le concept de communauté épistémique d'experts et le concept de société proto-épistémique d'experts

3.3. LA *SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS* : UN MODELE DE GOUVERNANCE POUR UN REGIME D'EMERGENCE DE L'EXPERTISE BASE SUR LA CO-EXTENSION DES STRUCTURES D'EXPERTISE

Si le concept de *société proto-épistémique d'experts* se différencie du concept des *communautés épistémiques d'experts* selon plusieurs caractéristiques parmi lesquelles, le mode d'émergence de l'expertise, l'objectif, l'activité cognitive, l'unité du collectif, etc., il se distingue surtout par la nature des enjeux managériaux dont la *société proto-épistémique d'experts* se doit de supporter.

En effet, à partir de notre modèle formel, nous avons mis en évidence de nouveaux enjeux managériaux ayant pour objectif d'organiser et de gérer un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise. Dans ce contexte, la *société proto-épistémique d'experts* a pour objectif d'organiser des stratégies d'exploration de champs d'innovation, non pas centrées sur la création de produits, mais sur **la conception de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif**. D'autre part, étant donné la nature des structures d'interdépendance des expertises, la *société proto-épistémique d'experts* a pour but d'instituer, de gérer et de piloter les **réorganisations des relations d'interdépendances entre les expertises** pour provoquer la rupture des *dominant designs*. Ainsi, il ne s'agit plus de constituer des stratégies d'exploration propre à chaque domaine d'expertise, indépendamment des autres domaines. Dans ce contexte, la *société proto-épistémique d'experts* se doit aussi d'organiser et de gérer **la coordination, la collaboration et l'action collective des experts quels que soient leurs domaines d'expertise respectifs**. En outre, la *société proto-épistémique d'experts* doit permettre la gestion de processus visant l'émergence **de nouvelles proto-expertises dans l'organisation,** tout en permettant de contrôler **le degré de transformation des structures d'expertises afin de maintenir une certaine cohérence entre les différentes expertises.** Par ailleurs, la *société proto-épistémique d'experts* a pour objectif de **justifier et de légitimer institutionnellement** le rôle de l'expert dans ces processus, ainsi que l'émergence de nouvelles proto-expertises dans l'organisation. Enfin, la *société proto-épistémique d'experts* doit permettre **de gérer et d'assurer la disponibilité d'un ensemble de ressources** pour l'exploration organisée de champs d'innovation ayant pour objectif l'émergence de nouvelles proto-expertises. Etant donné que ces enjeux managériaux constituent la raison d'être de la *société proto-épistémique d'experts* dans les organisations industrielles, celle-ci ne se substitue pas aux *communautés épistémiques*. Au contraire, la *société proto-épistémique d'experts* vise à coordonner les *différentes communautés épistémiques d'experts* afin d'organiser le pilotage stratégique du développement et du renouvellement des expertises pour favoriser les innovations de rupture dans l'organisation.

Par ailleurs, dans la première partie de ce manuscrit, nous avons défini le concept de gouvernance de l'expertise comme l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation, afin d'assurer le développement et le renouvellement des champs d'expertise permettant la conception et la production des futurs produits et technologies de l'organisation. D'autre part, nous avons soutenu l'idée selon laquelle la gouvernance de l'expertise se base sur trois principales dimensions : les dispositifs de gestion des ressources humaines, les systèmes de coordination et d'action collective et la

définition du rôle des experts dans les organisations. C'est ce que nous avons nommé l'approche trilogique de la gouvernance de l'expertise. Ainsi, pour que la *société proto-épistémique d'experts* puisse faire office de modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise, elle doit prendre en compte l'ensemble de ces trois dimensions. C'est pourquoi, contrairement aux *communautés épistémiques d'experts*, la *société proto-épistémique d'experts* ne peut pas se penser comme un groupe autonome fondé sur un principe d'adhésion volontaire des agents autour d'intérêts cognitifs communs. La *société proto-épistémique d'experts* se doit de faire interagir l'ensemble des parties prenantes de l'organisation en lien avec les enjeux d'innovation et de renouvellement des expertises dans l'organisation (experts, ressources humaines, formations, direction de l'innovation, etc.). Pour cela, la *société proto-épistémique d'experts* doit être reconnue institutionnellement dans l'organisation : sa mission doit être claire et partagée par l'ensemble des membres de l'organisation, les membres de la *société proto-épistémique* doivent être identifiables, les règles de gestion et de coordination à l'intérieur et à l'extérieur de la *société proto-épistémique* doivent être explicites et admises par tous (par exemple, par l'intermédiaire une charte) et les résultats doivent pouvoir être mesurables afin de pouvoir être évalués. Contrairement aux *communautés épistémiques d'experts*, la *société proto-épistémique d'experts* ne peut pas être dépourvue d'un certain type de hiérarchie. Cela ne signifie pas pour autant qu'elle doit être pilotée par un chef ou un responsable. Il s'agit plutôt de reconnaître une autorité collective à un ensemble d'individus - par exemple, l'ensemble des experts seniors (niveau Fellow) - pour qu'ils puissent contribuer à l'efficacité et à la cohérence des missions de la *société proto-épistémique*. Ainsi, la *société proto-épistémique d'experts* se décompose en trois entités distinctes : une entité regroupant les experts seniors en charge de gérer les rôles et missions de la *société proto-épistémique*, une entité regroupant l'ensemble des experts membres de la filière technique en charge de participer aux activités de la *société proto-épistémique* et une entité regroupant l'ensemble des parties prenantes (ressources humaines, formations, direction de l'innovation, etc.).

Si nous avons identifié plusieurs régimes d'émergence d'expertise, il est important de préciser que ces régimes ne s'opposent pas et ne se substituent pas les uns aux autres. Ils reflètent différentes formes d'émergence de l'expertise, ainsi que différents modèles de gouvernance associés [Tableau 37]. Ces régimes coexistent au sein de l'organisation bien que leurs conséquences sur le potentiel d'innovation de la firme diffèrent. Ainsi, la *société proto-épistémique* n'a pas pour ambition de remplacer l'ensemble des différents dispositifs de gestion existants. La *société proto-épistémique* se conçoit comme le modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise le plus adapté dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise. La *société proto-épistémique* conserve le dispositif de la double échelle, néanmoins, elle introduit une dimension collective dans le mécanisme de la reconnaissance des experts dans l'organisation. Les membres de la filière technique ne sont plus des experts isolés reconnus essentiellement pour leurs compétences dans leurs domaines d'expertise respectifs, ils deviennent les membres de la *société proto-épistémiques*. En devenant membres, ils adhèrent aux objectifs et aux missions que celle-ci se doit d'assumer. Par conséquent, la reconnaissance de l'existence, des missions et des objectifs de la *société proto-épistémique* implique une profonde modification du rôle de l'expert dans l'organisation. L'expert n'est plus seulement une ressource au service des décisionnaires, il devient un stratège en charge de piloter la restructuration des structures d'expertise afin d'augmenter la générativité de celle-ci. Dans ce contexte, la double échelle ne se circonscrit plus à un simple dispositif de

reconnaissance des experts, elle assigne de nouveaux objectifs à l'ensemble des experts, membres de la filière technique.

Régime d'émergence d'expertise	**Potentiel d'innovation**	**Enjeux managériaux**	**Gouvernance de l'expertise**		
			Modèle de coordination et d'action collective	**Modèle de GRH**	**Rôle de l'expert dans l'organisation**
Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise	Pas de révision de l'identité des champs d'expertise ➔ préservation des *dominant designs* Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des expertises Innovation incrémentale	Pilotage de l'innovation centré sur le développement de produits. Gestion de la préservation des structures d'expertises. Gestion de la création de connaissances dans un champ d'expertise déterminé. Coordination, collaboration et gestion de l'action collective des experts au sein d'un même domaine d'expertise. Reconnaissance du statut d'expert dans l'organisation.	Laboratoire industriel	Double échelle : filière technique et filière management	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise. Expert ressource.
Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise.			Gestion de projet	Triple échelle : filière technique, filière management et filière gestion de projet	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise. Expert ressource.
Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise			Plateformes technologiques, architecture modulaire, communautés épistémiques, communauté d'innovation, open innovation	Double échelle, triple échelle, *open dual ladder*	Développement de l'expertise au sein d'un domaine d'expertise. Expert ressource. *Integration expert.*
Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise	Révision de l'identité des champs d'expertises ➔ rupture des *dominant designs* Forte générativité de nouveaux concepts innovants et importante réorganisation des expertises Innovation de rupture	Pilotage d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertise désirables. Gestion des réorganisations des structures d'expertise. Coordination, collaboration des experts de différents domaines d'expertises. Gestion et anticipation des degrés de transformation des structures d'expertise. Gestion d'une exploration d'un champ d'innovation ayant pour vocation de faire émerger de nouveaux champs d'expertise. Pilotage des processus de légitimation institutionnelle. Reconnaissance du rôle stratégique des experts. Gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation.	**Société proto-épistémique d'experts** **Modèle de coordination et d'action collective :** Pilotage d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur l'émergence de nouvelles proto-expertises et sur la création de nouvelles structures d'expertise désirables. **Modèle de GRH :** La double échelle détermine les membres de la société proto-épistémique d'experts. **Rôle de l'expert dans l'organisation** : Experts stratèges en charge de piloter la restructuration des structures d'expertise afin d'augmenter la générativité de celle-ci.		

Tableau 37 : Régimes d'émergence d'expertise & gouvernance de l'émergence de l'expertise

4. GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE & GOUVERNANCE DE L'ENTREPRISE : ROLE & LEGITIMITE DE LA *SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS* DANS LA GOUVERNANCE DES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES

En tant que collectif d'experts s'appropriant de nouvelles missions pour contribuer à augmenter le potentiel d'innovation de l'organisation, la *société proto-épistémique d'experts* n'est pas seulement qu'une structure organisationnelle de gouvernance de l'émergence de l'expertise ; elle s'affirme aussi comme un dispositif influençant la gouvernance de l'entreprise. En effet, en retenant la définition de la gouvernance de l'entreprise comme étant *« l'ensemble des lois, des règles et des pratiques instituant le sous-système normatif qui légitime le pouvoir de ceux qui orientent l'entreprise et donc assurent les conditions de sa continuité »* (Gomez, 2014) ; les rôles et missions adoptés par la *société proto-épistémique d'experts* contribuent significativement aux enjeux de la gouvernance de l'entreprise.

4.1. LEGITIMITE DE LA *SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS* DANS LA GOUVERNANCE DE L'ENTREPRISE

Pour Gomez (2014), l'entreprise est un système orienté vers une finalité, c'est-à-dire que l'entreprise s'auto-définit et s'autodétermine selon la fin qu'elle se donne. L'entreprise se différencie des autres organisations par le fait que sa production (biens ou services) est destinée à des agents qui lui sont extérieurs et sur lesquels elle ne peut exercer aucun pouvoir légitime (les consommateurs). La conception et la production de biens ou services, selon leurs natures, leurs qualités et leurs quantités, constituent un projet collectif au sein de l'entreprise. En outre, étant donné que les entreprises sont en compétition pour l'acquisition de ressources indispensables à la réalisation de leurs projets, elles se doivent d'attirer des ressources dans un environnement hyper-compétitif. Dans ce contexte, le profit devient une condition nécessaire, permettant d'attirer les ressources et d'assurer ainsi la continuité de l'entreprise selon le projet qu'elle a elle–même adopté. Ainsi, pour assurer leur continuité, les entreprises sont soumises à deux contraintes concurrentielles différentes : s'assurer de trouver des débouchés pour leurs biens et services (le projet de l'entreprise) et capter des ressources (le profit de l'entreprise). Par conséquent, Gomez (2014) reformule sa définition de la gouvernance de l'entreprise en soulignant que les organisations sont évaluées sur le marché des biens et services (concurrence entre les différents projets) et sur le marché des capitaux (concurrence pour l'obtention de ressources) :

> *« Sur cette base on peut reformuler la définition du gouvernement de l'entreprise : c'est l'ensemble des lois, des règles et des pratiques qui légitiment le pouvoir de ceux qui, d'une part contrôlent le développement d'un projet viable et, d'autre part, gèrent les parties prenantes de manière à dégager un profit suffisant : cette double responsabilité assure la continuité de l'entreprise. » (Gomez, 2014, p. 260)*

Dans les théories orthodoxes de la gouvernance de l'entreprise et dans le raisonnement économique néoclassique, il y a une parfaite réversibilité entre projet et profit. Si le projet est bon, il permettra de dégager du profit. Si le profit est suffisant, le projet bénéficiera des ressources nécessaires. En d'autres termes, comme le souligne Gomez (2014), *« c'est l'alignement optimal du projet au profit ou du profit au projet, grâce à des décisions rationnelles, qui permet la continuité de l'entreprise »*. Cependant, pour que cette hypothèse d'indifférence téléologique puisse fonctionner, il est indispensable d'admettre que les deux marchés sont en équilibres (marché des biens et services, marché des capitaux). Or, une telle supposition paraît invraisemblable. En effet, cela signifierait que les analyses sur le marché des capitaux (ressources) se basent sur l'étude des projets des entreprises et de leurs potentiels débouchés. En supposant l'hypothèse inverse, comme le propose Gomez (2014), c'est-à-dire que les marchés ne sont pas alignés, l'entreprise se trouve confrontée à une double évaluation potentielle : soit par son projet, soit par son profit. Dans ce contexte, l'entreprise a le choix entre deux stratégies distinctes : une stratégie basée sur un niveau de profit à atteindre (pour répondre prioritairement au marché des capitaux) ou une stratégie basée sur un projet à développer (pour anticiper l'attente supposée sur le marché des biens et services). La gouvernance de l'entreprise doit donc faire un choix entre « *deux ordres de gouvernance* » (Gomez, 2014). Dans le premier ordre, le profit est subordonné à la réalisation du projet. Le profit est donc nécessaire mais non déterminant. C'est la fidélité au projet, la capacité à le gérer et la cohésion entre les parties prenantes qui orientent la stratégie de la direction générale de l'organisation. A l'inverse, dans le deuxième ordre, le projet est subordonné au profit. Le projet de l'entreprise se modifie et s'adapte afin d'obtenir le niveau de profit déterminé, permettant d'assurer la cohésion et l'engagement des différentes parties prenantes.

La *société proto-épistémique d'experts* n'a clairement pas pour vocation d'arbitrer ce choix. Celui-ci est clairement la prérogative de la direction générale de l'entreprise. **Cependant, la société d'experts contribue à soutenir un ordre plutôt qu'un autre**. Clairement, la société d'experts privilégie le projet car celui-ci détermine l'existence même de la *société proto-épistémique d'experts*. En se donnant pour objectif de réorganiser les structures d'expertise afin de faire émerger de nouvelles proto-expertises et de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs* pour augmenter le potentiel d'innovation de l'organisation, la société d'experts contribue à favoriser une stratégie basée sur un projet à développer et à défendre. Par conséquent, **elle offre aux décisionnaires de la direction générale un panorama des potentiels futurs projets pour l'entreprise.** De plus, la société d'experts cherche à valoriser la diversité des futurs projets envisageables et à augmenter l'espace de décision de la direction générale. D'autre part, à partir de ces deux ordres de gouvernance, il est possible d'émettre des hypothèses concernant le potentiel d'innovation atteignable par la firme. En admettant que l'entreprise privilégie une stratégie basée sur un niveau de profit à atteindre, il y a de fortes chances que les projets, qui sont subordonnés au profit, se limitent à un potentiel d'innovation incrémentale. En effet, en fixant un niveau de profit, cela implique nécessairement d'apporter une stratégie « prudente » en matière de conception et de développement de produits. Les risques seront limités, favorisant ainsi la préservation des *dominant designs* et le recours à des expertises connus et existantes pour la conception de biens, dont les marchés et usages sont clairement identifiés. **A l'inverse, en privilégiant une stratégie basée sur un projet à développer, l'entreprise s'autorise à explorer de nouveaux champs d'innovation favorisant la rupture des *dominant designs* et augmentant ainsi le potentiel d'innovation de rupture.** En légitimant et en protégeant le premier ordre au détriment du second, la *société proto-épistémique d'experts* tend à jouer un

rôle politique dans l'organisation. Elle cherche à influencer la direction de l'entreprise, afin que celle-ci adopte une démarche tournée vers l'innovation de rupture tout en valorisant le rôle stratégique des experts dans l'organisation. D'une certaine manière, **elle devient le garant de l'existence de projets d'innovation de rupture dans l'organisation.**

4.2. Emergence d'expertise & gouvernance de l'entreprise : les proto-expertises en tant qu'inconnus communs non appropriables

Suivant un raisonnement relativement similaire à celui de Gomez (2014), d'autres chercheurs, parmi lesquels Segrestin & Hatchuel (2012), Levillain et al. (2014), Hatchuel (2014) et Levillain (2015), s'emploient eux aussi à mettre en évidence les limites des théories orthodoxes de la gouvernance de l'entreprise[91]. En rappelant les sources de l'apparition de l'entreprise moderne, Hatchuel (2014) souligne que celle-ci émerge à la suite de la révolution machinique du XVIIIe siècle, au cours duquel les organisations ont été confrontées à des problèmes inédits en matière de technologies et de capacités créatives. Hatchuel (2014) identifie trois principales transformations :

- La *première transformation* correspond à la réalisation d'usine totalement mécanisée où le travail humain fut fortement réduit. Cette forme de production totalement nouvelle est le résultat de longues séries d'inventions techniques et sociales qui se sont succédées depuis la Renaissance et qui ont été accompagnées par les sociétés savantes du XVIIIe siècle[92].
- La *seconde transformation* est celle de la production d'énergie, qui est directement reliée aux besoins des grandes usines mécanisées. Cette transformation accompagne l'émergence d'une nouvelle discipline, basée sur la conception raisonnée des machines, et l'émergence de la figure de l'ingénieur en tant que créateur de machines nouvelles.
- La *troisième transformation* tient à la « *régénération corrélative des goûts et des mœurs* », dans le sens où la « *puissance machinique rend possible une explosion des désirs de couleurs, de formes, d'images et de textures* » (Hatchuel, 2014).

A partir de cet éclairage historique, Hatchuel (2014) défend la thèse selon laquelle *« c'est dans l'explosion d'un nouveau machinisme, dans la systématisation des pratiques scientifiques, dans la formation d'une légitimité nouvelle de l'innovation collective que « l'entreprise » prend son sens »*. En effet, la transformation des machines et des procédés bouleverse et modifie les anciennes hiérarchies et les anciens rapports sociaux : l'ingénieur et le directeur se substituent au patron propriétaire et de nouveaux « services techniques » apparaissent dans l'entreprise avec pour ambition d'administrer les ateliers de production et de préparation. A mesure que l'activité de production devient de plus en plus indissociable d'un travail d'invention et d'apprentissage, de nouvelles doctrines managériales apparaissent fin XIXe siècle-début XXe siècle. Parmi elles, le taylorisme marque un tournant en affirmant que dans le cadre d'une organisation scientifique du

[91] Théorie des coûts de transaction (Coase, 1937) ; Théorie de l'agence (Jensen & Meckling, 1976) ; Théorie des parties prenantes (Freeman, 1984).
[92] Par exemple la Lunar Society (Agogué, 2012)

travail un ouvrier ne peut plus être rendu totalement responsable des performances de son travail. En effet, celles-ci deviennent aussi le résultat des procédés techniques choisis par les experts et la direction. Par conséquent, *« le contrat de travail ne décrit plus la vente d'une force de travail, mais l'engagement de l'ouvrier à s'insérer dans un processus de production dont il accepte d'apprendre les gestes et les conditions de bon fonctionnement »* (Hatchuel, 2014). En 1916, Henri Fayol[93] théorise le rôle du dirigeant et a fortiori les principes de gouvernance de l'entreprise industrielle. Pour Fayol, le dirigeant a pour mission de conduire l'entreprise avec « prévoyance », en élaborant des « programmes », permettant d'assurer un « perfectionnement » permanent des hommes et des activités (Hatchuel & Segrestin, 2016). D'autre part, le dirigeant se doit d'envisager la « part d'inconnu » afin d'agir en conséquence. Enfin, comme le remarque Hatchuel (2014), le terme de « profit » n'apparaît jamais. Paradoxalement, à partir des années 1980, un bouleversement doctrinal va conduire au rejet et à l'oubli du paradigme fayolo-taylorien. Il s'agit là de la conséquence directe de la financiarisation de l'économie et de l'avènement de la puissance financière des fonds de pensions américains[94]. Ce bouleversement va entraîner l'émergence d'un nouveau discours selon lequel la mission du dirigeant se limiterait à rentabiliser au mieux l'investissement des actionnaires, c'est-à-dire de positionner l'enjeu du profit au-dessus de tous les autres. Dans cette perspective, la finalité de l'entreprise se limiterait à la maximisation du profit, indépendamment des projets et des activités de la firme. Pour décrire ce phénomène, Hatchuel (2014) parle de l'émergence de la *« néo-compagnie » : « nouvelle forme d'action collective qui se mettait en place avec la montée des logiques financières et de la corporate governance dans les entreprises »* (Hatchuel, 2014). Face à ce constat, et ayant pour volonté de renouer avec l'héritage fayolo-taylorien afin de réduire l'écart entre d'une part, la vision de *l'entreprise comme action collective originale et créative*, et d'autre part, la vision de la *néo-compagnie à but lucratif comme instrument financier au service des seuls actionnaires*, Hatchuel & Segrestin (2016) propose de refonder l'entreprise en instaurant dans le droit des sociétés le concept de « mission » défini comme « objet social étendu ».

Ce changement paradigmatique, souhaité par ces auteurs, peut s'illustrer à travers les nouvelles formes légales de sociétés commerciales qui ont émergé aux Etats-Unis à partir des années 2010 : la *Flexible Purpose Corporation* de l'Etat de Californie (2012) et la *Benefit Corporation* (2010). Ces nouvelles formes d'entreprises[95], à but lucratif, revendiquent pour mission de générer un impact positif et significatif sur la société et sur l'environnement. Levillain et al. (2012, 2104) mettent en évidence qu'une des particularités de ce type de société est la présence d'une « mission » (*purpose*) à caractère sociétal ou environnemental qui est inscrite dans les statuts de l'entreprise. Ainsi, d'un point de vue juridique, la réalisation de cette mission devient aussi prioritaire que l'objectif de rentabilité. Bien que l'objectif de cette nouvelle forme d'entreprise soit similaire aux objectifs recherchés par la RSE[96], la compatibilité entre les intérêts de l'entreprise et ceux de la société passent par une modification du droit (Levillain et al., 2012). Ainsi, *« cette conception rompt donc avec l'hypothèse précédente d'une zone d'attention s'étendant au-delà de la sphère des contrats »* (Levillain et al., 2012). En effet, le raisonnement conduit est bien différent. Dans le cas de la RSE, la conduite d'une politique ambitieuse centrée sur la responsabilité sociale et environnementale dépend du bon vouloir des actionnaires. Les actionnaires peuvent à tout moment exiger que la direction de l'entreprise concentre sa stratégie sur leur intérêt financier. De plus, le simple fait de conduire une

[93] Fayol, H. (1916). *Administration industrielle et générale.* Paris, Dunod.
[94] Spécifique à un régime de retraite par capitalisation.
[95] Pour des détails, voir : http://www.bcorporation.net/ et http://benefitcorp.net/
[96] Responsabilités sociétales des entreprises.

stratégie « responsable » peut entraîner un risque légal de ne pas remplir ses devoirs vis-à-vis des actionnaires. Aussi, l'inscription de la mission dans les statuts de l'entreprise modifie la gouvernance de l'entreprise et accorde aux dirigeants une protection juridique, leur offrant alors la possibilité d'équilibrer les différents objectifs de l'entreprises les uns par rapport aux autres. Dans ce modèle, l'hypothèse de compatibilité postulée par la RSE n'est plus nécessaire : l'entreprise peut poursuivre explicitement plusieurs finalités sans devoir justifier la compatibilité avec la rationalité économique classique. De plus, « *ces nouvelles formes de sociétés rompent également avec une restriction de la zone d'attention aux parties prenantes stratégiques* » (Levillain et al., 2012). Il ne s'agit plus de corriger les impacts négatifs que leurs stratégies économiques pourraient engendrer mais de définir librement et de façon autonome une « mission » comme fondement de l'entreprise. Dans le prolongement de ces recherches et à partir d'études de cas, Levillain et al. (2014) montrent que les objectifs visés par les missions de certaines entreprises dépassent les objectifs « privés » sans être pour autant des objectifs publics et reconnus d'utilité publique. Les auteurs expliquent que la formulation ou l'explicitation d'une mission n'est pas seulement utile pour permettre aux différentes parties de s'accorder sur un objectif commun. **C'est surtout la formulation de propositions nouvelles qui peuvent pousser les différents acteurs à coopérer**. Dans ce cadre, il s'agit de mobiliser les acteurs dans un projet collectif et de faire converger les aspirations individuelles avec l'objectif commun de l'organisation. Ainsi, les objectifs de la mission de l'entreprise s'apparentent à des « biens communs » jusqu'ici non désignés que les différentes parties s'engagent à gérer collectivement afin d'éviter d'en être toutes privées (Levillain et al, 2014). Si les auteurs s'appuient sur la définition des « biens communs » proposé par le prix Nobel Elinor Ostrom (Ostrom, 1990), leurs analyses permettent d'aller un cran plus loin. En effet, pour Ostrom (1990), les biens communs sont connus et identifiés. Or pour Levillain et al. (2014), **il s'agit de missions visant à la conception de nouveaux biens communs**, i.e. la possibilité de construire des biens communs qui n'existent pas encore : *« On dira alors que la mission a un caractère « génératif » : elle organise la conception de futurs biens communs »* (Levillain et al, 2014).

En poursuivant une logique similaire, Le Masson & Weil (2014) s'interrogent sur les nouvelles formes d'action collective permettant d'organiser l'exploration de l'inconnu dans les entreprises, c'est-à-dire d'organiser l'exploration pour la conception de biens ou services qui n'existent pas encore *(« organiser l'extension des imaginables »)*. L'enjeu pour l'entreprise devient alors d'étendre l'ensemble des biens gérables (ceux pour lesquels l'entreprise dispose des concepts et connaissances connus) et l'ensemble des concepts désirables, *« l'imaginable »* (Le Masson & Weil, 2014). **En outre, les auteurs distinguent *l'inconnu réalisable* (portion de l'imaginaire atteignable par l'entreprise avec les compétences actuelles) de *l'inconnu imaginable* pour souligner que *« l'enjeu est alors de rendre pensables, imaginables des inconnus jusque-là non imaginés »*** (Le Masson & Weil, 2014). Néanmoins, la tentation de l'appropriation immédiate *d'inconnus réalisables* ou *d'inconnus accessibles*, tend à limiter la capacité de l'entreprise à étendre les *inconnus imaginables* et à modifier les frontières des *inconnus accessibles*. Suivant cette analyse, les auteurs proposent d'introduire l'hypothèse selon laquelle il existerait un ***« inconnu commun non appropriable ».*** Cet *« inconnu commun non appropriable »* permettrait de redéfinir, dans l'inconnu, la frontière entre ce qui appropriable et ce qui ne l'est pas, permettant ainsi l'extension de l'*inconnu imaginable* et le déplacement de la frontière de l'*inconnu accessible*.

> *« Dans ce cas, la condition de l'extension de l'inconnu imaginable et du déplacement de la frontière de l'inconnu accessible serait précisément de redéfinir dans l'inconnu une frontière entre l'appropriable et ce qui ne l'est pas. C'est en effet avant tout l'inconnu commun non appropriable qui peut être étendu collectivement. » (Le Masson & Weil, 2014)*

Etant donné que la tentation d'une appropriation prématurée de l'inconnu correspond à l'obstacle majeur pour l'extension de l'*imaginaire* et le déplacement de la frontière de *l'inconnu accessible*, Le Masson & Weil (2014) préconisent la création de nouveaux dispositifs de gestion devant permettre la restauration d'une frontière entre un *nouvel inconnu appropriable* et un *nouvel inconnu commun non appropriable.*

En distinguant deux régimes d'émergence d'expertise distincts, la *société proto-épistémique d'experts* **vise précisément à restaurer une frontière** entre un régime d'émergence d'expertise permettant la création de nouveaux artéfacts technologiques tout en conservant les structures d'expertise existantes (*nouvel inconnu appropriable*) et un régime d'émergence d'expertise permettant la création de nouveaux artéfacts technologiques à partir de la conception d'une nouvelle proto-expertise et d'une réorganisation massive des structures d'expertise (*nouvel inconnu commun non appropriable).* D'autre part, en ayant soutenu que ces régimes d'émergence d'expertise entretiennent un rapport différent à la générativité de nouveaux concepts, et a fortiori à la notion d'inconnu, il devient possible d'établir une relation entre le concept *d'extension des imaginables* et celui de régimes d'émergences d'expertise [Tableau 38].

Régimes d'émergence d'expertise		**Rapport à la notion de générativité**	**Rapport à la notion d'inconnu**	**Rapport à la notion d'appropriation**
Régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise	Conservation des structures d'expertise existantes	Faible générativité de nouveaux concepts innovants	*Inconnu réalisable* ou *inconnu accessible*	*Nouvel inconnu appropriable*
Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise	Emergence d'une nouvelle proto-expertise et réorganisation massive des structures d'expertise	Forte générativité de nouveaux concepts innovants	*Inconnu imaginable*	*Nouvel inconnu commun non appropriable*

Tableau 38 : Relation entre les concepts d'extension des imaginables et de régime d'émergence d'expertise

Dans un régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise, une partie des nouveaux imaginaires est accessible à l'entreprise à une *extension* près, c'est-à-dire qu'une nouvelle expertise permet de faire émerger un nouvel artéfact technologique encore inconnu, sans modification des structures d'expertise existantes (*inconnu accessible*). Cependant, le risque d'épuisement de l'espace imaginaire est particulièrement important, menaçant ainsi l'entreprise de faire face à une compétition particulièrement soutenue. A l'inverse, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension

des structures d'expertise, l'émergence d'une proto-expertise (nouveau champ d'expertise) et la réorganisation des structures d'expertise **permet d'atteindre de nouveaux imaginaires**, jusque-là non accessibles**. L'émergence d'une proto-expertise permet donc l'extension de l'inconnu imaginable et devient une alternative fortement souhaitable pour les entreprises désirant s'extraire d'une compétition extrêmement relevée.** En tant que champ d'expertise non appropriable à un métier, à un artéfact technologique donné ou à un domaine d'expertise existant, la proto-expertise peut ainsi aisément s'interpréter comme étant un *« inconnu commun non appropriable »* que la *société proto-épistémique d'experts* devra préserver.

4.3. L'EMERGENCE DE *SOCIETES PROTO-EPISTEMIQUES D'EXPERTS* DANS LES ORGANISATIONS INDUSTRIELLES : LE SIGNE D'UN NOUVEAU TOURNANT FAYOLIEN ?

La *société proto-épistémique d'experts* vise à mettre les enjeux du renouvellement et de l'émergence d'expertise au cœur de la gouvernance de l'entreprise. Au regard des théories contemporaines de la gouvernance de l'entreprise, la place de la science et de la recherche dans la gouvernance des organisations n'est pas évidente. En effet, dans les approches contemporaines, les dirigeants sont perçus comme les « agents » des actionnaires et la place des experts et des chercheurs dans la gouvernance de l'entreprise est généralement inexistantes (Segrestin, 2016 ; Galvez-Behar et al., 2016). Paradoxalement, cela n'a pas toujours été le cas. En étudiant le laboratoire d'Imphy[97], Duffaut (2016) montrent comment **Fayol et Chevenard vont structurer et concevoir l'organisation de la recherche scientifique comme méthode pour innover**. Depuis 1888, Henri Fayol, qui sera considéré plus tard comme l'un des pères des sciences de gestions, est Directeur Général de la compagnie métallurgique Commentry-Fourchambault et Decazeville. En 1909, Fayol embauche le jeune ingénieur Pierre Chevenard et le nommera à la direction du laboratoire industriel de la compagnie, en lui attribuant les missions suivantes (Duffaut, 2016) :

- Travailler à surmonter les difficultés qui retardent les fabrications, résoudre les problèmes posés par la clientèle.
- Tirer parti des idées nouvelles et des faits nouveaux observés dans l'entreprise ou venus de l'extérieur.
- *« Scruter les alliages sidérurgiques spéciaux afin d'en découvrir et d'en exploiter les propriétés exceptionnelles »*[98].

Pour Fayol et Chevenard, la recherche, en tant que dispositif de production de connaissances et d'expertises nouvelles, doit être en parfaite symbiose avec la stratégie de l'entreprise :

> *« C'est l'indispensable cohérence entre la stratégie définie et conduite par la direction générale et l'action des services d'études et recherches. Cette cohérence exige que toutes les grandes directions de*

[97] Laboratoire de recherche de la compagnie Commentry-Fourchambault et Decazeville, dirigé par Pierre Chevenard et ayant été créé par Henri Fayol en 1909.
[98] *La Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville : 1854-1954.* [Introduction du baron Pierre Hély d'Oissel. Conclusions de Louis de Mijolla.]. Brodard et Taupin, Paris, 1954, p.231.

l'entreprise - la direction commerciale en particulier - soient associées au choix des objectifs de recherche et pleinement mobilisées pour en exploiter les résultats. Les résultats de la recherche doivent, comme l'étaient ceux de Pierre Chevenard, être en quelque sorte attendus, non seulement par les industries clientes mais surtout par les autres fonctions de l'entreprise prêtes à prendre le relais pour en assurer la réussite industrielle et commerciale. » (Duffaut, 2016)

Par ailleurs, Le Masson & Weil (2016) propose de dresser un tableau des différentes formes de « laboratoire de recherche » entre la fin XIXe et le début XXe siècle. A partir d'un modèle formel, inspiré des théories contemporaines des processus génératifs, ils mettent en évidence une différence fondamentale entre le modèle de recherche mis en place à Imphy par Chevenard et Fayol, et le modèle élaboré par Mees (1920) chez Kodak. Pour Le Masson & Weil (2016), **cette différence fondamentale s'exprime par le rapport qu'entretiennent ces deux modèles avec la notion de générativité**. Si l'activité de recherche peut se définir comme étant un *« processus contrôlé de production de connaissances »* (Le Masson et al., 2006), cette production de connaissances peut cependant être plus ou moins générative en nouveaux concepts et en nouvelles connaissances. Ainsi, les auteurs distinguent deux archétypes de recherche dans les organisations :

- *« Une situation où la création de connaissance contribue à transformer un concept en connaissance (donc à « concevoir » un produit ou un service) mais sans modifier la structure des connaissances (pas de changement dans les fondamentaux des métiers, des compétences, des architectures de produits, des modèles d'affaires, etc.) »* (Le Masson & Weil, 2016). Le Masson & Weil (2016) définissent ce modèle par le terme de *recherche résolutoire :* la recherche permet la résolution de problèmes existants. Ce type de recherche préserve les structures de connaissances existantes et minimise la générativité et la réorganisation des savoirs.
- *« Une situation où la création de connaissance contribue à des expansions conceptuelles fortes (produits ou services en rupture, nouveaux usages, nouvelles technologies, etc.) et à des restructurations des connaissances profondes (obsolescence, recomposition, nouvelles interdépendances, nouvelles disciplines, nouvelles relations phénoménologiques, etc.) »* (Le Masson & Weil, 2016). Le Masson & Weil (2016) définissent se modèle par le terme de *recherche conceptive* car elle permet l'identification de nouvelles lois, la découverte d'anomalies, la mise en évidence de « surprises » et l'augmentation du degré de générativité.

Dans le modèle de la recherche industrielle de Mees (1920), **le laboratoire de recherche a pour vocation d'appuyer les développements de produits nouveaux, sans pour autant prendre en charge des programmes d'exploration.** L'organisation du laboratoire repose sur des relations stabilisées entre le domaine des applications (par exemple chez Kodak, *portraiture cinematography, photo engraving, colorphotography*) et le domaine des disciplines scientifiques (optique, chimie, chimie organique, etc.). Le laboratoire de recherche s'occupe du développement des connaissances et des expertises dans les différentes disciplines. Les enjeux de recherche sont toujours en lien avec des thèmes généraux liés aux applications et aux produits de l'entreprise. Ainsi, « *Mees organise la production de connaissance de façon à contrôler la générativité – celle-ci est bornée par les disciplines, par les questions précises à la recherche, par le rapport*

à l'instrumentation » (Le Masson & Weil, 2016). D'autre part, Mees considère que la place du laboratoire de recherche dans l'entreprise est équivalente aux départements de comptabilité, de maintenance, et d'engineering. En effet, Mees distingue deux types d'entité dans l'organisation : les entités fonctionnelles (recherche, comptabilité, etc.) et les entités opérationnelles (la production par exemple). **Le laboratoire de recherche n'est pas en charge de participer à l'élaboration de programmes d'exploration systématiques**, permettant d'orienter l'entreprise face à l'inconnu. La recherche se limite à instruire des demandes, qui peuvent aussi bien provenir de la direction générale que des usines de production. Pour Mees (1920), la recherche se limite à des enjeux de *« development »* et d'*« improvement »*.

Pour Fayol et Chevenard, la production de connaissances et d'expertise, dans les laboratoires de recherche industrielle, ne peuvent se circonscrire à un objectif d'amélioration continue des procédés et des produits de l'entreprise. En d'autres termes, **les activités de recherche ne sont pas polarisée sur la recherche de nouveaux produits et procédés, mais sur l'exploration de propriétés génériques à de nombreuses applications et à de nombreuses technologies :** *« Chevenard cherche une forte généricité et pour cela il cherche les voies d'exploration les plus génériques. On a là une forme de « générativité générique » pourrait-on dire »* (Le Masson & Weil, 2016). Le modèle de la recherche industrielle de Fayol et Chevenard se base sur le développement de stratégies de recherche ayant pour objectif de découvrir de nouveaux phénomènes inconnus permettant d'ouvrir la voie à de nouvelles propriétés, de nouveaux usages et de nouvelles fonctions, pour une large famille de produits et de technologies. Ainsi, ce modèle de recherche et de production de connaissances et d'expertise est cohérent avec une logique de générativité. De cette façon, Fayol et Chevenard *« inventent une recherche conceptive qui fait partie du tournant fayolien »* (Le Masson & Weil, 2016). D'autre part, ce modèle fayolien de la recherche se différencie aussi de celui de Mees (1920), par la place du laboratoire de recherche dans la gouvernance de l'entreprise : le laboratoire est en charge de conseiller le dirigeant. Pour Fayol (1916), le dirigeant ou le chef d'entreprise doit pouvoir s'adapter aux évolutions du monde industriel où *« la recherche et la science modifient les missions de l'entreprise, ses modalités d'action et la structure des collectifs de travail »* (Hatchuel, 2016). Le laboratoire doit donc contribuer à l'élaboration des *« programmes d'action »* de l'entreprise et à la *« recherche de perfectionnement possible »* (Le Masson & Weil, 2016). La *« recherche de perfectionnement »* correspond à une logique de progrès continu, c'est-à-dire à une logique de développement long terme de l'entreprise. Le terme de *« programmes d'actions »* exprime le futur souhaité ainsi que sa *« part d'inconnu »*, qu'il s'agira de préparer et d'organiser. Pour mener à bien ces missions, le dirigeant doit s'appuyer sur un *« Etat-Major »* dont le laboratoire fait partie. Le laboratoire est donc en charge de la recherche de progrès, mais il ne se contente pas de suivre les *« programmes d'action »*. **L'Etat-Major et le laboratoire contribuent à les élaborer en participant à la rédaction de la stratégie de l'entreprise.** Ainsi, chez Fayol (1916), la recherche, en tant que dispositif permettant l'exploration de l'inconnu, est au cœur de la gouvernance de l'entreprise.

Paradoxalement, c'est bien le modèle de Mees (1920) qui s'imposera dans la plupart des organisations industrielles. Pour Le Masson & Weil (2016) cela peut s'expliquer par le fait qu'à l'époque de Mees et de Fayol (approximativement les années 1920), l'organisation de la recherche industrielle n'était pas un sujet de recherche pour les sciences de gestion. En effet, en 1922, le premier numéro de la *Harvard Business Review* ne s'intéressait essentiellement qu'aux travaux d'économistes portant sur les théories de la décision ainsi qu'à d'autres sujets, parmi lesquels la taxation des gains du capital, la gestion

bancaire, les business cycles, etc. (Le Masson & Weil, 2016). L'intérêt pour les activités de recherche dans les organisations n'émergera qu'à partir des années 1950 (Shepard, 1956 ; Johnson & Jones, 1957 ; McCarthy, 1959 ; Mottley & Newton, 1959). Néanmoins, quand le champ de recherche se structura il adoptera le paradigme optimisateur et décisionnel[99] des économistes, privilégiant ainsi l'approche de la *recherche résolutoire.*

Dans notre modèle formel de l'émergence de l'expertise, nous retrouvons la distinction proposée par Le Masson & Weil (2016) : entre d'un côté, un modèle de la *recherche résolutoire*, et de l'autre, un modèle de la *recherche conceptive.* D'une certaine manière, nous pouvons affirmer qu'un régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise correspond à une *recherche résolutoire* et qu'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise correspond à une *recherche conceptive.* En défendant l'idée selon laquelle, dans un paradigme de l'innovation intensive, l'enjeu est d'organiser des stratégies d'exploration, non pas centrées sur le développement de produits existants, mais sur **la conception de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif,** notre approche de l'émergence de l'expertise correspond à la vision fayolienne de la recherche industrielle dans les organisations. En effet, dans un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise, la production contrôlée d'expertise ne se limite pas aux objets existants, mais vise au contraire à explorer l'inconnu afin de faire émerger de nouvelles proto-expertises pour provoquer la rupture des *dominant designs* et augmenter le potentiel d'innovation de rupture de l'organisation. D'autre part, la *société proto-épistémique d'experts* se rapproche de l'Etat-Major Fayolien dans la mesure où celle-ci vise à coordonner les experts et chercheurs afin d'organiser le pilotage stratégique du développement et du renouvellement des expertises pour favoriser les innovations de rupture dans l'organisation. En proposant un panorama de champs d'innovation aussi exhaustive que possible, la *société proto-épistémique d'experts* n'agit pas sur ordre de la direction mais participe à l'élaboration de nouveaux « programme d'actions » pour l'entreprise. Ainsi, en voulant précisément organiser la *recherche conceptive* dans les entreprises, le concept de *société proto-épistémique d'experts* semble incarner le renouveau de la doctrine fayolienne dans les organisations du XXIe siècle.

[99] De la même façon que le champ de recherche en management stratégique.

5. SYNTHESE DU CHAPITRE 10

Dans ce chapitre nous nous sommes interrogé sur la nature des modèles de coordination et d'action collective susceptible d'accompagner un régime d'émergence d'expertise capable de contribuer à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants.

Dans un premier temps, nous avons proposé une revue de littérature pour **illustrer l'importance de la notion d'interdépendance technologique dans la littérature en management**. Nous avons particulièrement insisté sur les concepts de *convergence* (Sharp et al., 2011) et de *confluence* (Maine et al., 2014) qui mettent en évidence de nouvelles stratégies pour la création d'innovations radicales. Ces travaux de recherche insistent sur le fait que **la fusion de technologies, de disciplines ou de dispositifs distincts** en un ensemble unifié, est capable de générer de nouvelles opportunités. Pour ces auteurs, la *confluence* des technologies est définie comme de nouvelles combinaisons de technologies précédemment indépendantes. La *confluence* **des technologies émerge lorsque des chercheurs de plusieurs disciplines travaillent ensemble à l'intersection de plusieurs technologies** et lorsque des produits basés sur ces intersections de technologies commencent à émerger.

Si les concepts de *convergence* et de *confluence* mettent en évidence les enjeux d'interdépendance des structures d'expertise, paradoxalement, peu de travaux se sont intéressés aux modèles d'action collective permettant d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus. Dans la littérature en management et en théorie des organisations, les lieux et les processus de création de connaissance dans les organisations sont généralement représentés à travers **le concept de communauté** (Brown & Duguid, 1991 ; Lave & Wenger, 1991, Hass, 1992 ; Cowan et al., 2000). Cependant, l'utilisation croissante du concept de communauté dans les études sur l'innovation rend urgente la résolution d'un paradoxe théorique. Premièrement, la plupart des recherches sur les communautés dans les processus d'innovation ne s'intéresse pas à définir théoriquement le concept de communauté. Deuxièmement, il est particulièrement difficile de lier le rôle présumé de la communauté en matière d'innovation avec la définition standard du concept de communauté. En effet, la forme paradigmatique du concept communauté, définie par Tönnies (1957) et utilisée par Ouchi (1980) dans les études sur les organisations, est essentiellement uniforme, traditionaliste et conservatrice ; ce qui n'est pas vraiment propice à l'innovation et en particulier à l'innovation de rupture.

Aussi, à partir **des idéaux-types de communauté et société** (Tönnies, 1957), nous avons proposé d'introduire le concept de ***société proto-épistémique d'experts***. Contrairement à une ***communauté épistémique d'experts***, défini comme un groupe d'individus partageant un même domaine d'expertise permettant une compréhension partagée et ayant un objectif cognitif commun de création de connaissances dans un champ d'expertise spécifique, nous avons introduit le concept de ***société proto-épistémique d'experts*** se caractérisant comme un groupe d'individus partageant des domaines d'expertise différents et ayant pour objectif cognitif commun **de faire émerger une nouvelle proto-expertise et de réorganiser les relations d'interdépendance d'expertise afin de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs.***

Dans le chapitre suivant, à partir du concept de *société proto-épistémique d'experts*, nous allons proposer et expérimenter un nouveau modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics.

CHAPITRE 11 – INSTITUTIONNALISATION D'UNE NOUVELLE GOUVERNANCE DE L'EMERGENCE DE L'EXPERTISE : L'EXEMPLE DU *TECHNICAL STAFF COLLEGE* CHEZ STMICROELECTRONICS

Chapitre 11 – Institutionnalisation d'une nouvelle gouvernance de l'émergence de l'expertise : l'exemple du *Technical Staff College* chez STMicroelectronics 279

1. Mise en évidence & affirmation de six principes fondamentaux 281

1.1. Distinguer deux régimes d'émergence de l'expertise 281

1.2. Considérer deux rôles distincts des experts : experts ressources & experts stratèges 282

1.3. Considérer la dynamique endogène de l'émergence de l'expertise 283

1.4. Affirmer les limites du modèle de l'open innovation 284

1.5. Distinguer de nouveaux enjeux managériaux pour l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive 285

1.6. Distinguer les concepts de communauté épistémique d'experts & de société proto-épistémique d'experts 285

***2.* Une nouvelle structure organisationnelle : le *Technical Staff College* 286**

2.1. Objectifs & missions du *Technical Staff College* 287

2.2. Principes & modalités d'organisation 287

2.3. Présentation des missions des différents groupes de travail du *Technical Staff College* 289

***3.* Processus d'institutionnalisation du *Technical Staff College* 295**

3.1. Une charte des experts qui prend en compte les enjeux de l'innovation de rupture 295

3.2. Une matrice d'évaluation centrée sur l'engagement et la participation des experts dans la *société proto-épistémique d'experts* 297

4. Synthèse du chapitre 11 299

Après avoir présenté notre modèle théorique dans les parties précédentes, l'objectif de ce chapitre est de proposer et d'expérimenter un nouveau modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise. Conformément à notre méthodologie de recherche, ce chapitre illustre la phase d'intervention. Cette phase d'intervention s'est principalement déroulée de novembre 2014 à novembre 2016. En se basant sur le concept de *société proto-épistémique d'experts*, nous proposons un nouveau dispositif de gestion permettant d'assurer l'émergence d'expertise en situation d'innovation intensive : le *Technical Staff College.* Cette dénomination a été adoptée chez STMicroelectronics pour caractériser le nouveau dispositif organisationnel dédié à la gestion de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive. Ce dispositif a été co-construit par une équipe composée d'experts (membres de la filière technique), de managers, de directeurs de l'innovation, de responsables des ressources humaines ainsi que des chercheurs en sciences de gestion. Ce nouveau dispositif organisationnel vise à dépasser les outils traditionnels de la gestion des experts et de l'expertise, tels que la double échelle, et à organiser le pilotage de l'émergence et du renouvellement des expertises pour l'innovation de rupture.

D'un point de vue méthodologique, nous avons adopté une position de *« chercheur-acteur »* (Lallé, 2004), selon laquelle le chercheur est avant tout un *« ingénieur organisationnel »* ayant pour objectif de concevoir l'outil support de sa recherche et d'agir à la fois comme animateur et évaluateur de sa mise en œuvre dans les organisations, tout en contribuant à l'émergence de représentations et de connaissances scientifiques nouvelles (Chanal et al., 1997).

Afin d'initier une réflexion collective de la part des collaborateurs de l'entreprise, un comité de pilotage d'une vingtaine de membres a été constitué. Ce comité de pilotage s'est réuni mensuellement de novembre 2014 à novembre 2016. Associés à cette démarche, nous avons accompagné et animé chacune de ces réunions afin de mettre en perspective les enjeux de la gestion des experts et de l'expertise pour l'innovation :

- Comment mobiliser le savoir des experts pour l'innovation de rupture ?
- Comment organiser l'action collective des experts pour le renouvellement des expertises face à l'innovation intensive ?
- Quel modèle de gouvernance pour le renouvellement et l'émergence de nouvelles expertises ?

Les principaux objectifs poursuivis par le comité de pilotage furent :

- D'identifier les forces et les faiblesses des dispositifs de gestion existants.
- De faire émerger un consensus concernant les aspirations et enjeux des différentes parties prenantes (experts, managers, ressources humaines, directeurs de l'innovations).
- D'élaborer et d'institutionnaliser une nouvelle forme de la gouvernance de l'émergence de l'expertise susceptible de favoriser l'innovation dans l'organisation.

1. MISE EN EVIDENCE & AFFIRMATION DE SIX PRINCIPES FONDAMENTAUX

A partir d'une revue et d'une analyse de la littérature académique, d'analyses empiriques (notamment le questionnaire à destination des experts ainsi que l'analyse des sujets de thèse sur une période de dix ans) et d'un travail de modélisation théorique de l'émergence de l'expertise, l'ensemble des membres du comité de pilotage se sont accordés sur six principes fondamentaux :

- Distinguer deux régimes d'émergence de l'expertise.
- Considérer deux rôles distincts des experts : experts ressources et experts stratèges.
- Considérer la dynamique endogène de l'émergence de l'expertise.
- Affirmer les limites du modèle de l'open innovation.
- Distinguer de nouveaux enjeux managériaux pour l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive.
- Distinguer les concepts de *communauté épistémique d'experts* et de *société proto-épistémique d'experts.*

1.1. DISTINGUER DEUX REGIMES D'EMERGENCE DE L'EXPERTISE

L'ensemble des nombreux échanges au sein du comité de pilotage a permis d'aboutir à un consensus selon lequel il est important de distinguer deux régimes d'émergence d'expertise : un régime d'émergence de l'expertise favorable à l'innovation incrémentale qui minimise la générativité de nouveaux concepts innovants et qui limite la réorganisation des expertises (régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise), et un régime d'émergence de l'expertise favorable à l'innovation de rupture qui favorise les expansions conceptuelles fortes et qui implique des restructurations profondes des expertises (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise). Ces deux régimes ne sont pas opposés, ils sont complémentaires et coexistent au sein de l'organisation. Comme en témoigne les documents produits par le comité de pilotage [Figure 121], ces deux régimes sont interdépendants et évoluent en synergie de telle sorte que la capitalisation et l'exploitation des expertises existantes permettent l'exploration de nouveaux concepts et la création de nouvelles expertises.

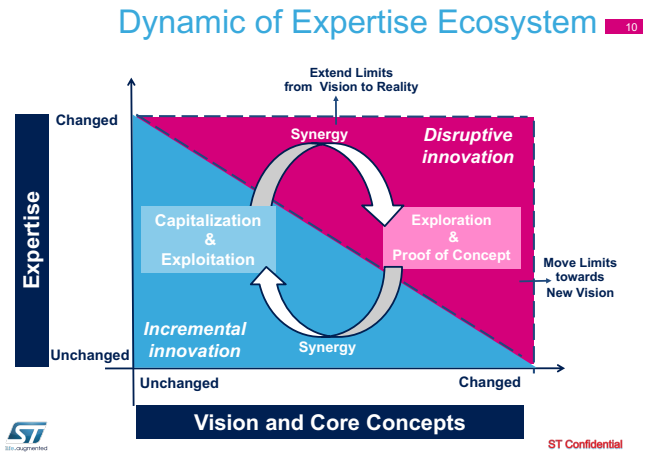


Figure 121 : Dynamique des expertises (documentation interne, STMicroelectronics)

1.2. Considerer deux roles distincts des experts : experts ressources & experts strateges

A partir de notre questionnaire et d'entretiens semi-directifs[100] avec des experts, des managers et des responsables des ressources humaines, nous avons mis en évidence deux catégories concernant le rôle des experts dans l'organisation. Le premier rôle, que le comité de pilotage a nommé *expert ressource*, souligne que l'expert est avant tout une ressource pour le décisionnaire. La légitimité de l'expert repose sur sa compétence dans un domaine d'expertise défini et reconnu au sein de l'organisation. Dans ce contexte, l'expert a pour mission d'apporter des conseils techniques, de résoudre des problèmes techniques, d'optimiser les solutions existantes et de répondre favorablement aux exigences techniques des clients.

> *"The idea of linking innovation to expert's community makes perfect sense if we are able to define what innovation means. At STMicroelectronics, we make a distinction between incremental innovation and disruptive or radical innovation. On the one hand, members of technical staff are recognized as the guarantors of the validity of expertise for products and technologies development. In this context, their main activities are technical consulting, problem solving, modeling, optimization, and providing new technical solutions for customer needs. All these activities allow to create incremental innovation and this represents more than 80% of our time". (Fellow, STMicroelectronics)*

Cependant, ces activités ne peuvent déboucher que sur des innovations incrémentales. Ainsi, l'expert se doit aussi de poursuivre des stratégies susceptibles de favoriser le renouvellement des expertises pour préparer des innovations de rupture. C'est-à-dire d'explorer de nouvelles pistes de recherches, de définir de nouvelles stratégies de recherche et d'organiser un écosystème d'innovation avec des partenaires académiques et industriels. Ce rôle a été nommé *expert stratège* par le comité de pilotage.

[100] Cf. Chapitre 6.

"But incremental innovation is not enough. To prepare the future of the company, members of technical staff have also to pursue strategies to renew expertise or to develop new knowledge. For example, we develop research programs on silicon photonics, energy harvesting and neuromorphic technologies. However, applications, markets, customer needs, products or technology platform are not yet fully understood, or at least partially unknown. So, a part of our job consist in contributing to create new expertise on new areas, in developing new collaborations and partnerships, even if there are not yet a products roadmap" (Fellow, STMicroelectronics).

Ces deux rôles ont été déterminés en fonction des deux régimes d'émergence de l'expertise définis précédemment. De la même façon, ces rôles ne sont pas opposés. Ils sont complémentaires et il s'agit de les reconnaître et de les valoriser de façon équitable. De plus, il a été souligné que ces rôles dépendent principalement de la personnalité de l'expert et de son poste dans l'organisation. Tous les experts n'ont pas pour mission d'être des *experts stratèges* [Figure 122].

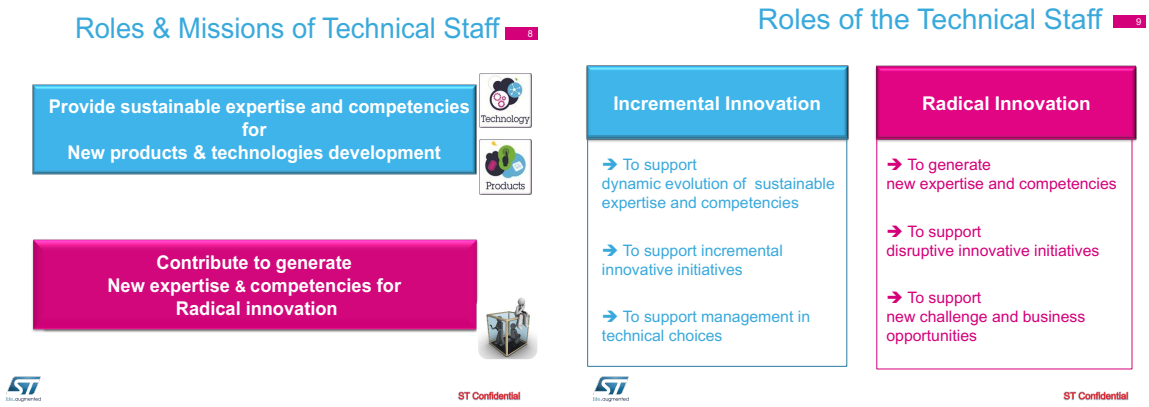


Figure 122: Rôles & missions des experts (documentation interne, STMicroelectronics)

1.3. Considerer la dynamique endogene de l'emergence de l'expertise

Notre modèle théorique, élaboré dans le chapitre 8, nous a permis de mettre en évidence que l'émergence de l'expertise ne se circonscrit pas à des facteurs exogènes : science et marché. En effet, en nous basant sur notre étude empirique, nous avons remis en cause les modèles fondés sur une dynamique exogène de l'émergence de l'expertise et de l'innovation, se limitant à penser les processus d'innovation en tant qu'adaptation à de nouveaux besoins du marché ou en tant qu'intégration de nouvelles connaissances scientifiques.

D'autre part, nous avons co-développé, avec les membres de comité de pilotage, la notion de dynamique endogène afin de mettre en évidence les processus de transformation et de renouvellement de l'expertise à travers l'évolution des structures d'expertises et en tenant compte de leurs rapports à la générativité de nouveaux concepts innovants, et cela indépendamment des logiques de marché ou des progrès scientifiques. Cette vision renouvelée de la dynamique de l'expertise nous a permis de caractériser

la dynamique et les mécanismes des différents régimes d'émergence de l'expertise. En particulier, nous avons proposé un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise. Dans ce modèle, l'émergence de nouveaux champs d'expertise et la réorganisation des structures d'interdépendance d'expertise contribuent à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants. Cette émergence d'expertise contribue à des expansions conceptuelles fortes et vise à introduire des ruptures dans l'identité des artéfacts technologiques. Ainsi, l'un des principaux enjeux est de concevoir un dispositif organisationnel capable de gérer, de façon collective, une telle dynamique.

1.4. AFFIRMER LES LIMITES DU MODELE DE L'OPEN INNOVATION

En matière de R&D, les collaborations inter-organisations jouent un rôle central dans le développement de nouvelles connaissances et de compétences. Toutefois, le rôle des membres du personnel technique ne peut être restreint à la sélection et à l'intégration des connaissances externes. Les membres du personnel technique ont pour mission d'influencer les orientations de recherche et les développements technologiques à l'extérieur de l'entreprise plutôt que d'intégrer des connaissances qui proviennent de l'extérieur de l'entreprise.

> *"I don't know what is open innovation concept. What is sure, managing R&D collaboration is central issue for members of technical staff. For example, at ST we work with the CEA-Leti, which is a France-based applied-research center for microelectronics, information and healthcare technologies. However, as member of technical staff my role cannot be limited to exchange knowledge and information. My mission is to direct and guide research programs, i.e. to propose and drive research questions according the company strategy. In my opinion, build a radical innovation strategy only based on the integration of external knowledge is impossible. Innovation involve to be the first on a new technology. If a company pursues a such strategy, based on the integration of external knowledge, it will never be competitive. Moreover, in our industry, intellectual property (patent for example) is also an important challenge. If the company doesn't create its own new knowledge, it will never be able to create a strategic patents portfolio." (Senior Members of Technical Staff, STMicroelectronics).*

Ainsi, la gestion de l'innovation de rupture fondée exclusivement sur l'adoption de connaissances et de technologies externes est trop restrictive. En effet, pour innover en rupture, les principaux enjeux sont la capacité à formuler de nouveaux concepts, à étudier de nouveaux types de valeur (valeur technologique et commerciale) et à renouveler les expertises. Contrairement à ce qui a été soutenu par d'autres études (Bigliardi et al., 2011 ; Petroni et al., 2012), nous considérons que chez STMicroelectronics, les pratiques contemporaines de management de l'innovation ne réduisent pas l'influence des scientifiques et des chercheurs. Au contraire, les scientifiques et les chercheurs sont des ressources essentielles pour le développement d'innovations de rupture. Leurs rôles sont complexes et primordiaux. Leurs hauts niveaux d'expertise leur permettent de diriger et d'orienter des programmes de recherche originaux et d'utiliser des ressources externes telles que les laboratoires universitaires et les centres de recherche publics.

"For example, I lead a research program on energy harvesting technologies. I'm working in collaboration with the CEA-Leti. I am responsible for the supervision of several PhD candidates in collaboration with the CEA-Leti and different European universities. With other members of technical staff, we have defined specific topics and potential concepts that we want to address. The collaborations with universities and public research center allow us to benefit from some opportunities, including new expertise, additional human resources, research instruments (test bed, prototyping tools, etc.) and public funding. For universities and research lab, collaborate with industrials is a real opportunity to develop future useful technologies." (Senior Members of Technical Staff, STMicroelectronics).

1.5. Distinguer de nouveaux enjeux managériaux pour l'emergence de l'expertise en situation d'innovation intensive

Distinguer deux régimes d'émergence d'expertise distincts – extension des structures d'expertise et co-extension des structures d'expertise – nous permet de mettre en évidence de nouveaux enjeux managériaux :

- Pilotage d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif.
- Gestion d'une exploration d'un champ d'innovation ayant pour vocation de faire émerger de nouveaux champs d'expertise.
- Pilotage de processus de légitimation institutionnelle visant à valoriser l'émergence de proto-expertises dans l'organisation.
- Gestion des réorganisations des structures d'expertise.
- Coordination, collaboration des experts de différents domaines d'expertises.
- Gestion et anticipation des degrés de transformation des structures d'expertise.
- Reconnaissance du rôle stratégique des experts.
- Gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation.

Ces nouveaux enjeux managériaux, consubstantiels à un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise, imposent de redéfinir l'ensemble des modèles institutionnels et des mécanismes organisationnels ayant pour objectif de déterminer les dispositifs de coordination et d'action collective des différents acteurs de l'organisation, afin d'assurer le développement et le renouvellement des champs d'expertise dans l'organisation.

1.6. Distinguer les concepts de communaute epistemique d'experts & de societe proto-epistemique d'experts

Le renouvellement de l'expertise, basée sur une dynamique endogène où les processus de transformation et de renouvellement de l'expertise s'expriment à travers l'évolution des structures d'expertises, suppose de reconsidérer la nature des modes d'action collective des experts. En s'appuyant

sur notre analyse théorique, les réflexions et les débats au sein du comité de pilotage ont abouti à distinguer le concept de *communauté épistémique d'experts* de celui de *société proto-épistémique d'experts*[101]. Ainsi, il ne s'agit plus d'organiser l'action collective des experts selon un ensemble de communautés d'expertise hétérogènes et indépendantes, mais de constituer un cadre d'action collectif capable de permettre la réorganisation des structures d'expertise afin de piloter et d'organiser l'émergence de nouveaux champs d'expertise et la déstabilisation des structures d'expertise pour provoquer l'innovation de rupture [Figure 123].

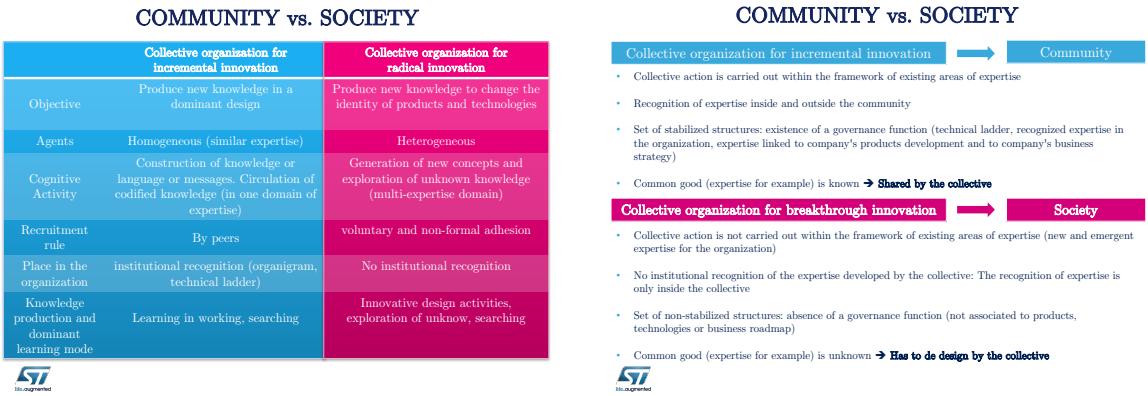


Figure 123: Communauté d'experts et société d'experts (documentation interne, STMicroelectronics)

2. UNE NOUVELLE STRUCTURE ORGANISATIONNELLE : LE *TECHNICAL STAFF COLLEGE*

Force est de constater que la double échelle, en tant que dispositif organisationnel de référence concernant les enjeux de l'expertise dans les organisations, apparaît extrêmement limitée. En effet, l'hypothèse implicite de la double échelle stipule que la gestion de l'expertise s'effectue principalement par la gestion des carrières des experts. De manière caricaturale, l'instrument de la double échelle a tendance à laisser croire que si la gestion des experts est satisfaisante alors la gestion des expertises pour l'innovation est automatique.

Dans ce contexte, il a été décidé de construire un nouveau dispositif organisationnel capable de tenir compte des enjeux soulevés par ces six principes, le *Technical Staff College*. Celui-ci a pour objectif d'incarner le concept de *société proto-épistémique d'experts* et s'est donné pour mission de fédérer l'ensemble des experts, quels que soient leurs domaines d'expertises, leurs fonctions dans l'organisation et leurs niveaux de reconnaissance. D'autre part, ce *Technical Staff College* réunit aussi l'ensemble des parties prenantes de l'organisation susceptible de participer à la gouvernance de l'émergence de l'expertise (ressources humaines, directeurs de l'innovation, etc.) et a pour principale mission d'organiser et coordonner les actions et les missions des experts.

[101] Cf. Chapitre 10.

2.1. OBJECTIFS & MISSIONS DU *TECHNICAL STAFF COLLEGE*

Les objectifs de cette nouvelle entité organisationnelle sont de renforcer l'efficacité et l'impact des experts au sein de l'organisation. Ainsi, cette structure organisationnelle a pour principales missions d'appréhender les besoins et les enjeux managériaux que la *société proto-épistémique d'experts* se doit de supporter et qui ont été mis en évidence dans le cadre d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise. D'une manière générale, les principales missions du *Technical Staff College* sont les suivantes :

- **Piloter et organiser le renouvellement des expertises pour l'innovation :** explorer des champs d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif ; explorer des champs d'innovation afin de faire émerger de nouveaux champs d'expertise.
- **Gérer la dynamique des expertises au sein de l'organisation :** gérer les réorganisations des structures d'expertise en tenant compte des degrés de transformation des structures d'expertise.
- Gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation : projets ANR, thèses CIFRE, projets européens, etc.
- **Fédérer l'ensemble des membres du personnel techniques (experts) :** coordonner les collaborations des experts de différents domaines d'expertises.
- Motiver les membres du personnel technique.
- **Accompagner, valoriser et soutenir les projets d'innovation incrémental et de rupture :** légitimer et valoriser l'émergence de proto-expertises dans l'organisation.
- **Reconnaître le rôle stratégique des experts :** accompagner les stratégies d'exploration ; apporter un soutien technique à la direction de l'entreprise ; analyser les stratégies technologiques de la concurrence ; participer à l'élaboration des stratégies de recherche de l'entreprise ; contribuer aux développements des stratégies technologiques et des roadmaps produits de l'entreprise ; analyser les stratégies technologiques de la concurrence.
- Organiser le partage des connaissances et la formation du personnel technique.

2.2. PRINCIPES & MODALITES D'ORGANISATION

Le *Technical Staff College* se compose de trois entités principales [Figure 124] :

- ***Board of Fellows :*** en charge de coordonner les activités du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts du niveau *Fellow*.
- ***Technical Staff Network :*** en charge de participer aux activités liées aux missions du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts de l'organisation.
- ***Advisory Board :*** en charge d'apporter des conseils spécifiques et d'apporter le support nécessaire pour le développement des activités du *Technical Staff College*, notamment en matière de formation et de ressource humaine. Cette entité est composée de membres des différentes fonctions de l'entreprise (RH, formation, marketing, management, management de l'innovation, etc.).

Le *Technical Staff College* est représenté par un président et un vice-président (experts niveau *Fellow*) élu démocratiquement par le *Board of Fellow*. Le président et le vice-président ont pour principale mission d'animer et d'organiser de façon collégiale les activités du *Technical Staff College* et sont les interlocuteurs privilégiés des directeurs de la R&D technologique, des directeurs des divisions produits et du CTO (Chief Technology Officer).

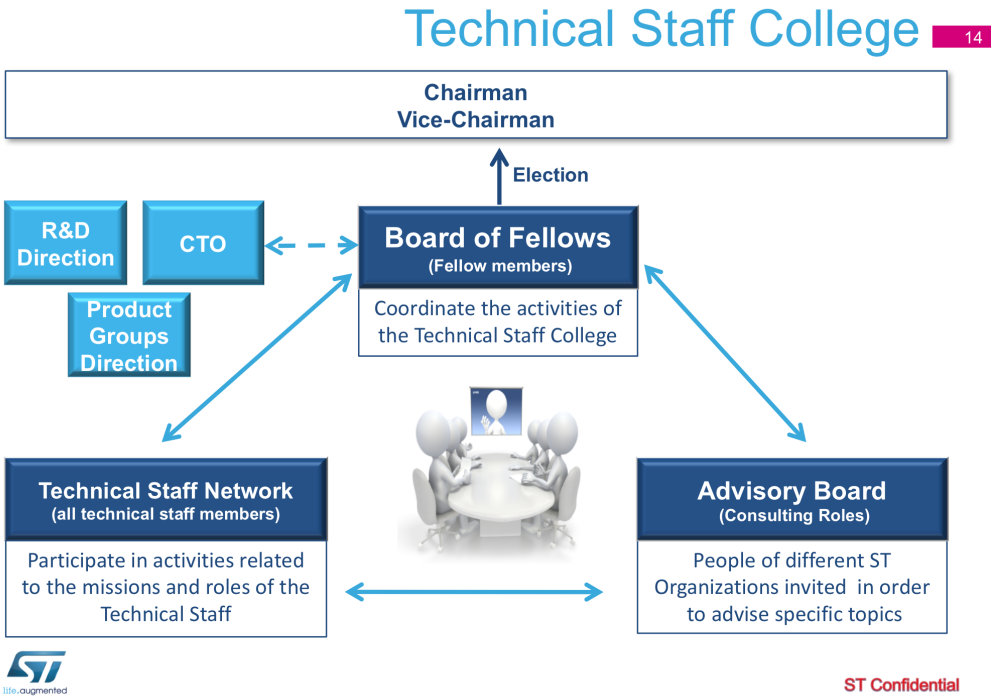


Figure 124: Gouvernance du *Technical Staff College* (Documentation interne, STMicroelectronics)

Le principe de fonctionnement de cette organisation repose sur sept groupes de travail, appelés *Technical Staff Office*. Ces *Technical Staff Office* sont définis selon trois domaines : régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise pour accompagner le développement d'innovations incrémentales (*Incremental Innovation Development*), régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertises pour organiser le développement d'innovations de rupture (*Radical Innovation Development*) et activités support (*Support*).

Chaque *Office* est géré par un ou plusieurs experts de niveau *Fellow* et tous les membres du personnel technique sont invités à participer aux activités d'un ou plusieurs *Offices*. Cette participation n'est pas obligatoire, mais il s'agit d'un nouveau critère d'évaluation permettant d'évoluer dans l'échelle technique. **Le *Board of Fellows* a ainsi pour mission de coordonner l'ensemble des activités des différents bureaux et d'animer l'action collective des experts au sein de ces *Offices*.** Cette organisation est commune à l'ensemble des sites industriels du groupe et ne possède pas de budget. Il existe actuellement deux *Technical Staff Colleges*. L'un est dédié aux sites industriels français (notamment

les sites de Crolles, de Grenoble, de Rousset et de Tours), le second au sites industriels italiens (notamment les sites d'Agrate et de Catane). Les *Offices* sont composés d'experts de plusieurs sites industriels.

2.3. PRESENTATION DES MISSIONS DES DIFFERENTS GROUPES DE TRAVAIL DU *TECHNICAL STAFF COLLEGE*

Le *Technical Staff Office* est composé de sept *Technical Staff Offices* [Tableau 39]. Deux *Offices* - *Technical Benchmarks & Competition Analysis* et *Knowledge Management & Best Practices* – sont rattachés à la thématique *Incremental Innovation Development.* De la même façon, la thématique *Radical Innovation Development* est composé de deux *Offices : Technical Vision & Prospective* et *Disruptive Innovation Exploration.* Enfin, la thématique *Support* est composé de trois *Offices* : *University & Laboratory Collaboration*, *Technical Workshop & Training* et *Technical Staff Valorisation & HR Relation.*

Incremental Innovation Development	Radical Innovation Development
Office 1: Technical Benchmarks & Competition Analysis – Conducting technological benchmarks and evaluating the performance of competing technologies – Securing intellectual property by filing patents	**Office 3: Technical Vision & Prospective** – Providing prospective and strategic analysis about disruptive technologies – Anticipating and identifying technological challenges of the future – Anticipating and identifying future innovation fields for the creation of new expertise
Office 2: Knowledge Management & Best Practices – Developing methods and procedures to improve knowledge management in the organization	**Office 4: Disruptive Innovation Exploration** – Exploring innovation fields to generate new expertise domain and new generative expertise structure – Managing the reorganization of expertise structures – Supporting and valuing radical innovation projects

Support
Office 5: University & Laboratory Collaboration – Developing expertise and network by participating in conferences and by developing projects and partnerships with laboratories and universities (ex: courses, ANR project, PhD, European project, etc.)
Office 6: Technical Workshop & Training – Transferring and disseminating knowledge through workshops and trainings (ex: Techday)
Office 7: Technical Staff Valorization & HR Relation – Coordinating the relationship between the different communities of technical experts – Promoting the technical ladder in the organization

Tableau 39 : Missions & objectifs des *Technical Staff Offices* (Documentation interne, STMicroelectronics)

Les *Offices « Support »* ont pour vocation de soutenir les activités de recherche, de formation et de valorisation de la filière technique. Par exemple, l'*Office* ***University & Laboratory Collaboration*** a pour mission de coordonner l'ensemble des partenariats académiques pour la recherche (universités, écoles et laboratoires publics : CNRS, CEA, etc.), d'établir la liste des sujets de thèse CIFRE en fonction de la stratégie technologique de l'entreprise (une cinquantaine par an), de superviser les réponses aux appels à projets (projets ANR par exemple). L'*Office* ***Technical Workshop & Training*** a pour mission de gérer l'ensembles des formations techniques dispensées au sein de l'organisation. Cette *Office* recense l'ensemble des besoins en formation et établit une liste des experts susceptibles d'assurer un rôle de formateur à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise. D'autre part, chaque année, ce groupe de travail organise un événement interne à l'entreprise : le *Techday*. Il s'agit d'une conférence scientifique et technique, se déroulant généralement sur un ou deux jours, où chaque expert est invité à présenter ses travaux de recherche et à partager sa vision des principaux défis technologiques à venir. Cet événement se veut d'être un lieu privilégié pour la rencontre et l'échange entre les experts et l'ensemble des salariés de l'entreprise. Enfin, l'*Office* ***Technical Staff Valorization & HR Relation***, regroupant principalement des experts et des responsables RH, a pour objectif de promouvoir et de valoriser la filière technique. Cette *Office* est le point d'entrée pour rejoindre la filière technique et s'occupe notamment de constituer les comités de sélection et d'évaluation des experts. En collaboration avec le *Board of Fellows* et les managers des équipes R&D, elle contribue à piloter l'évolution des carrières des experts. Aussi, le dispositif de la double échelle est conservé mais il ne devient qu'une composante, parmi tant d'autres, de la gouvernance de l'expertise.

Les *Offices* du domaine « *Incremental Innovation Development* » visent à accompagner l'émergence d'expertise sans modification et sans réorganisation des structures d'expertise existantes. Leurs objectifs sont de mettre en place et de gérer des activités afin de favoriser l'innovation incrémentale. Ainsi, **l'*Office* *Technical Benchmarks & Competition Analysis*** a pour but d'organiser la réalisation de benchmarks technologiques et de proposer des évaluations de la performance des technologies concurrentes. D'autre part, elle est en charge de cartographier les besoins d'expertises stratégiques pour l'organisation. Enfin, elle s'assure, en collaboration avec les équipes en charge de la propriété intellectuelle, de la bonne tenue des portefeuilles de brevets (évaluation et réévaluation des portefeuilles de brevets). D'autre part, **l'*Office* *Knowledge Management & Best Practices*** a pour mission d'évaluer, de concevoir et de développer des méthodes et des procédures pour améliorer la gestion des connaissances dans l'organisation. **Dans le chapitre suivant, nous illustrons les activités de ce groupe de travail par un projet concret qui a été mené et réalisé au sein de cette *Office*.**

Enfin, les *Offices* du domaine « *Radical Innovation Development* » visent à accompagner l'émergence d'expertise avec modification et restructuration profondes des structures d'expertise. La mission principale de ces *Offices* est d'organiser et de gérer les activités afin de favoriser l'innovation radicale. Ainsi, **l'*Office* *Technical Vision & Prospective*** peut s'assimiler à un *think tank*[102] ayant pour objectif de produire des études et des analyses prospectives et stratégiques sur des enjeux technologiques futurs. Il organise des débats entre experts et élabore des propositions de champs d'innovation à explorer au sein de la *société proto-épistémiques d'experts*. L'enjeu est de fédérer des experts de différents domaines d'expertise par

[102] Laboratoire d'idées en français.

l'intermédiaire d'échanges transverses sur des champs d'innovation qui concernent l'ensemble des différents domaines d'expertise de l'entreprise. L'***Office Disruptive Innovation Exploration*** est en charge du pilotage et de la stratégie pour le renouvellement de l'expertise. Elle a pour mission d'accompagner les projets de création de nouvelles expertises au sein de l'organisation. **Dans le chapitre suivant, nous illustrons le rôle de ce groupe de travail par l'analyse d'un projet concret de création d'un nouveau champ d'expertise dans l'organisation.**

L'***Office Disruptive Innovation Exploration*** est le principal dispositif pour piloter les processus d'émergence de nouvelles expertises en favorisant les expansions conceptuelles fortes et les restructurations profondes des expertises. La stratégie de conception d'un nouveau champ d'expertise s'effectue selon un cadre formel élaboré par les membres de l'*Office* (*Cf. Annexe : Disruptive Innovation Exploration Application Form*). Généralement, le point de départ d'un projet d'émergence d'un nouveau champ d'expertise intervient à la suite d'une analyse prospective ou de la volonté d'un expert, ou d'un groupe d'experts, d'explorer un champ d'innovation focalisé sur l'émergence de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif. Dans un premier temps, le rôle de l'*Office* est d'être le point d'entrée unique afin de valoriser et de légitimer la démarche. En collaboration avec le *Board of Fellows*, l'objectif de l'*Office* n'est pas de valider ou d'invalider la proposition de projet mais **d'augmenter le potentiel d'innovation du projet présenté.** C'est ainsi que le slogan du *Technical Staff College* est *Innovation.augmented*, qui est aussi un clin d'œil au slogan de l'entreprise *Life.augmented*. Pour cela, un processus d'évaluation est soumis aux porteurs du projet qui souhaitent contribuer au renouvellement des expertises et à la création d'un nouveau champ d'expertise dans l'organisation (*Cf. Annexe : Disruptive Innovation Exploration Application Form*). L'objectif est d'évaluer les forces et faiblesses du projet ainsi que d'analyser son potentiel d'innovation. L'évaluation s'effectue selon quatre thématiques : *Idea/abstraction*, *Socio-economic Aspect*, *Ecosystem* et *Technical Concretization*. Le *Technical Staff College* s'engage alors à augmenter le potentiel d'innovation du projet et s'engage à légitimer le projet au sein de la *société proto-épistémique d'experts* (*Technical Staff College*) et de l'organisation ; en quelque sort le *Technical Staff College* joue le rôle de sponsor. Il est important de préciser qu'il n'y a pas d'enjeux financiers dans ce processus. Etant donné que le *Technical Staff College* ne possède pas de budget, il n'a pas le pouvoir de soutenir financièrement les projets de créations de nouvelles expertises. Cependant, il assure un rôle de promoteur au sein de l'organisation. Ainsi, les *Fellows* s'engagent à négocier, avec les managers des experts concernés, un temps de travail dédié à la réalisation du projet. D'autre part, ils assurent aussi de fournir certaines ressources, par exemple des doctorants CIFRE pour travailler sur le projet, un accompagnement pour monter un projet ANR ou un projet européen et ils s'engagent à mettre en relations les experts avec des partenaires académiques [Figure 125]. Par ailleurs, à l'initiative du *Technical Staff College*, le site industriel de Crolles a créé un *« Fablab interne »* : le **f@ST.lab** (prononcé *fast lab*). Ce lieu a pour objectif premier d'accueillir l'ensemble des experts afin d'échanger sur les rôles et missions du *Technical Staff College*. D'autre part, le **f@ST.lab,** qui est géré par l'***Office Disruptive Innovation Exploration,*** a pour objectif d'accompagner les experts et les innovateurs dans le développement de leurs projets, d'augmenter leurs idées par des séances de créativité, de mettre à disposition le réseau d'experts de l'entreprise et de sensibiliser les collaborateurs aux évolutions technologiques et aux enjeux d'innovation.

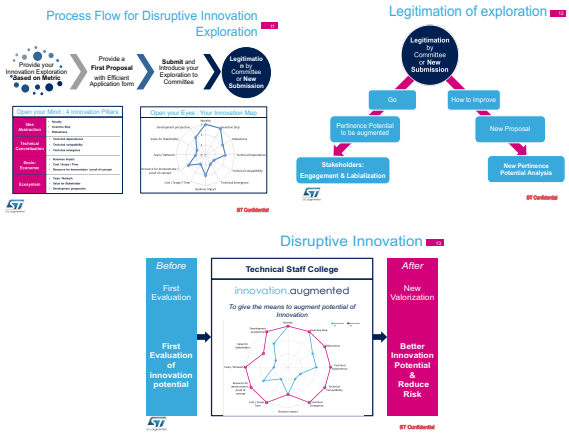


Figure 125: Processus de l'*Office Disruptive Innovation Exploration* (documentation interne, STMicroelectronics

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'évaluation des projets de création de nouveaux champs d'expertise s'effectue selon quatre principales thématiques. Chaque thématique est composé de trois caractéristiques. L'évaluation vise à mettre évidence les points que le *Technical Staff College* se doit de contribuer à améliorer *(« à augmenter »)*. Par exemple, la nouveauté est évaluée [Figure 126]. Si le concept proposé n'implique pas de changement significatif des structures d'expertises, la note attribuée est faible (note = 1). Au contraire, si le concept proposé suppose la création d'un nouveau champ d'expertise, la note est élevée (note = 3). Ainsi, pour que le projet soit labélisé, le *Technical Staff College* s'engage à augmenter le « score » attribué aux différents critères, i.e. augmenter le potentiel d'innovation du projet (*Cf. Annexe : Disruptive Innovation Exploration Application Form* pour visualiser l'ensemble des critères).

Novelty	**Choose an item.**
A concept is new if it engages new concept or new expertise	
N/A	*0*
The concept does not involve any change in the expertise	*1*
The concept involves a slight change in the expertise	2
The concept involves the development of a radically New expertise	3
Comments:	

Figure 126: Critère « nouveauté »

Parmi les critères, l'impact économique est aussi évalué [Figure 127]. Cependant, il ne s'agit pas d'estimer des parts de marché ou de calculer une valeur actuelle nette. Nous rappelons que l'expertise est indépendante des opportunités de marché. Cependant, il est important de préciser si le projet vise la consolidation de marchés existants ou la création d'un nouveau marché pour l'entreprise. Par exemple, le score du projet *photonique sur silicium*, visant à faire émerger un nouveau champ d'expertise dans l'organisation, est élevé (note = 3). En effet, l'expertise *photonique sur silicium* laisse à penser qu'elle peut adresser une large gamme d'applications permettant ainsi de servir de substrat technique à la conception de nouveaux produits dans des domaines émergeants.

Business Impact	Choose an item.
Links between concepts, expertise and market	
N/A	*0*
Serviceable dedicated Market	*1*
Serviceable generic Market	2
Creation of a new Market	3
Comments:	

Figure 127: Critère « impact économique »

D'autre part, l'analyse de l'écosystème correspond à une part importante de l'évaluation. L'enjeu est de réunir des experts de plusieurs domaines d'expertises et créer de la valeur pour un ensemble large de parties prenantes. Ces critères visent à exclure les projets qui projettent de créer de l'expertise pour résoudre de simples problèmes localisés, sans grands enjeux pour l'ensemble de l'organisation [Figure 128].

Team / Network	Choose an item.
Team: Members of the Disruptive Innovation Exploration	
Network: Description of the stakeholders	
N/A	*0*
Same Organization	*1*
Different Organizations	2
Internal & External (firms, labs, etc.) Organizations	3
Comments: *give details on the ideal team*	

Value for Stakeholder	Choose an item.
Capacity to add value for stakeholders	
N/A	*0*
The purpose of the exploration has only value for the team	*1*
The purpose of the exploration has value for some stakeholder	*2*
The purpose of the exploration has value for all stakeholder	*3*
Comments:	

Figure 128: Critères « Equipe/réseau » et « valeur pour les parties prenantes »

Enfin, les enjeux de la transformation et de la réorganisation des structures d'expertises sont particulièrement mis en avant [Figure 129]. Il s'agit d'insister sur les enjeux de co-extension des champs d'expertise et de les anticiper en amont.

Technical dependence[3]	**Choose an item.**
Capacity to impact local and cross perimeter: expertise, practices, competences …	
N/A	*0*
Low capacity to impact/influence	*1*
Medium capacity to impact/influence	2
High capacity to impact/influence	3
Comments: cf. annex for more information	

Technical compatibility	**Choose an item.**
Compatibility with existing local and cross expertise …	
N/A	*0*
Low compatibility with other expertise	*1*
Medium compatibility with other expertise	*2*
High compatibility with other expertise	*3*
Comments:	

Figure 129: Critères « Dépendance technologique » et « compatibilité technologique »

Cette évaluation permet enfin de visualiser – par l'intermédiaire d'un diagramme en radar – le potentiel d'innovation du projet de création d'un nouveau champ d'expertise [Figure 130]. Il souligne aussi les caractéristiques à améliorer pour augmenter le potentiel d'innovation et agit comme un media pour enclencher l'action collective des experts au sein du *Technical Staff College*. L'évaluation « bleue » correspond à l'évaluation avant l'intervention du *Technical Staff College* (en particulier le *Board of Fellows*) et l'évaluation « rose » correspond à l'évaluation après le travail du *Technical Staff College*.

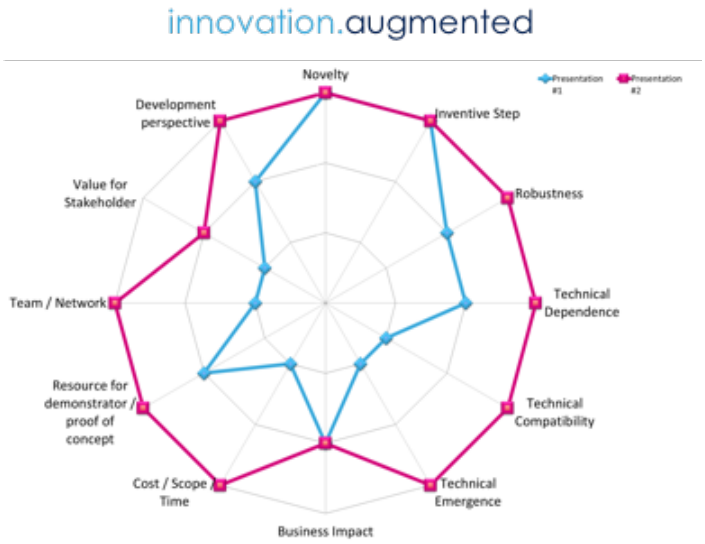


Figure 130: Diagramme en radar de l'évaluation du potentiel d'innovation d'un projet de création d'expertise nouvelle

3. PROCESSUS D'INSTITUTIONNALISATION DU *TECHNICAL STAFF COLLEGE*

La création et l'existence du *Technical Staff College* fut le fruit de longues réflexions collectives au sein du comité de pilotage créé en novembre 2014 et composé d'une vingtaine de membres (experts, managers, responsables RH, directeurs de l'innovation, etc.). Après un travail théorique et l'élaboration d'une vision partagée par l'ensemble des membres de ce comité, nous avons travaillé sur la mise en pratique et sur l'opérationnalité d'une telle nouvelle structure. Nous avons commencé par présenter le nouveau modèle de gouvernance à l'ensemble des experts de l'organisation. La proposition a été accueillie avec beaucoup d'enthousiasme et fut rapidement appropriée par l'ensemble des membres du personnel technique. D'autre part, les *Offices* ont rapidement été lancés et les *Fellows* - membres du comité de pilotage – ont hâtivement pris la responsabilité de chacune des *Offices*. Ainsi, des experts ont rejoint les *Offices* et ont commencé à organiser des réunions régulières afin d'élaborer, dans les détails, les objectifs et les plans d'action de chaque *Office*. Parallèlement, une nouvelle charte des experts a été conçue afin d'institutionnaliser l'existence du *Technical Staff College*. De plus, l'engagement et la participation des experts dans les activités du *Technical Staff College* a été intégré dans la matrice de compétences de la filière technique.

3.1. UNE CHARTE DES EXPERTS QUI PREND EN COMPTE LES ENJEUX DE L'INNOVATION DE RUPTURE

En s'appuyant sur la première version de la charte des experts (Cf. chapitre 6), la nouvelle charte est toujours composée de trois parties (engagements de l'expert, engagements du management (N+1 et N+2) et engagements de la DRH). De plus, elle est toujours ratifiée par quatre personnes. Cependant, de nouveaux éléments ont été rajoutés. Les engagements de l'expert s'organisent selon dix points répartis en trois parties. Il est important de noter qu'une des parties est exclusivement dédiée aux enjeux du renouvellement de l'expertise pour l'innovation de rupture. De plus, la troisième partie officialise et institutionnalise l'importance du *Technical Staff College* dans l'organisation. En effet, les experts s'engagent à contribuer activement aux activités et missions du *Technical Staff College* [Figure 131].

Members of Technical Staff have specific expertise missions to grow STMicroelectronics excellence

Members of Technical Staff provide sustainable expertise and competencies for STMicroelectronics business needs

1. They support management in challenging critical technical choices (Risk evaluation, impact on future business, feasibility)
2. They maintain and develop their technical leadership through creative thinking and new concepts / products / platforms, to support incremental innovation versus ST competitors
3. They perform technical benchmarks and evaluate the performance of competing technologies
4. They secure intellectual property by filing patents

Members of Technical Staff contribute to generate new expertise and competencies for disruptive innovation

5. They explore and identify technological challenges of the future interacting with marketing to enhance ST competitiveness with new business opportunities
6. They provide prospective and strategic analysis about disruptive solutions base of new expertise and concepts

Members of technical Staff are committed to the management of the Technical Staff College

7. They develop, diffuse and promote internally and externally ST know-how and disseminating knowledge through workshops and training (ex: Techday, technical workshop)
8. They develop expertise through external network by participating in conferences and by developing projects and partnerships with laboratories, universities (ex: courses, ANR project, PhD, European project, etc.)
9. They develop the internal network through engagement in inter-organization activities related to expertise development and give visibility using ST tools (BeST: http://best-myprofile.st.com ; technical Staff website: http://technicalstaff.agr.st.com)
10. They contribute actively to the development of the technical staff network through the Technical Staff College, the Technical Staff Offices and the Technical Advisory Committees

Figure 131: Première partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics)

De la même façon, les managers s'engagent aussi à reconnaître l'existence institutionnelle du *Technical Staff College*. En effet, ils doivent s'engager à accorder du temps et des ressources aux experts afin qu'ils puissent assurer leurs missions et leurs activités au sein du *Technical Staff College* [Figure 132].

Management supports the Members of Technical Staff specific missions and positions in STMicroelectronics

11. The management shares the strategic vision of ST with members of the Technical Staff and involves his expert in roadmap definition
12. The management set specific objectives relative to expertise of the collaborator (IPM) (time allowed for Technical Staff missions, resources, etc.) and promote the technical results (inside and outside the organization)
13. The management organizes the technological intelligence with members of Technical Staff (technological and business benchmark)
14. The management provides time and resources in order to allow members of Technical Staff to ensure their missions for ST (Technical Staff College activities, conferences, forums, workshop, training courses, technical seminars, etc.)

Figure 132: Deuxième partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics)

Enfin, les responsables des ressources humaines s'engagent à promouvoir le développement du *Technical Staff College* [Figure 133].

HR promote the development of the Technical Staff College

15. HR contribute actively to the development of the technical network through involvement in the Technical Staff College and the Technical Staff Offices.
16. HR promote the technical ladder through the evaluation committees (Technical Advisory Committees) and People Review
17. HR promote encourage internal and external contribution of the members of Technical Staff (courses, academic partnerships, PhD supervision, etc.)
18. HR propose specific training programs according to levels (Member of Technical Staff, Senior Member and Fellow)

Figure 133: Troisième partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics)

3.2. UNE MATRICE D'EVALUATION CENTREE SUR L'ENGAGEMENT ET LA PARTICIPATION DES EXPERTS DANS LA *SOCIETE PROTO-EPISTEMIQUE D'EXPERTS*

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 6, les niveaux d'expertise (*Member of Technical Staff*, *Senior Member of Technical Staff*, *Fellow* et *Company Fellow*) sont évalués selon une matrice de compétences composée de treize critères regroupés selon cinq thématiques : *References*, *Innovation*, *Communication*, *Technical Competences* et *Business Impact*. Afin d'institutionnaliser le *Technical Staff College*, une nouvelle thématique a été introduite : *Expertise & Technical Staff Management* [Tableau 40]. Cette thématique vise à caractériser et à évaluer l'engagement des experts dans les activités du *Technical Staff College*. Par exemple, un expert de niveau *Fellow* se doit de gérer et piloter un *Office*. D'autre part, la thématique *Innovation* a été enrichie de nouveaux critères. En effet, les processus d'émergence d'expertise pour l'innovation incrémentale et pour l'innovation de rupture sont maintenant distincts [Tableau 40].

	Expertise & Technical Staff Management	**Innovation**	
	Technical Staff College & Technical Staff Offices	**Incremental Innovation**	**Radical Innovation**
Company Fellow	Manage the missions and the activities of the **Technical Staff College**. Lead the development of the Technical Staff College and the Technical Staff Offices (as chairman, vice-chairman for example)	Lead research & innovation in technical community. Lead the company innovation plan	Influence radical innovation strategy at company level. Adress other expertise fields in associated perimeters
Fellow	Manage the missions and the activities of the **Technical Staff College**. Lead the development of the **Technical Staff College** and the Technical Staff Offices (as chairman, vice-chairman for example)	Lead research & innovation in technical community. Lead the BU or division innovation plan	Influence radical innovation strategy at BU or division level. Adress other expertise field in associated perimeters
Senior Member of Technical Staff	Contribute actively to the development of the technical staff community through the **Technical Staff College** and the **Technical Staff Offices**	Has succeed in development of complex advanced module or product	Propose and manage radical innovation through solution and methods apply on product, technology and methods & tools
	Contribute actively to the development of the technical staff community through the **Technical Staff College** and the **Technical Staff Offices**	Has succeed in development of advanced module or product	Contribute in radical innovation through solution and methods apply on product, technology and methods & tools
Member of Technical Staff	Contribute to the activities proposed by **the Technical Staff College** and the **Technical Staff Offices**	Has demonstrated autonomy in advanced solutions development	Participate in radical innovation proof of concept
	Contribute to the activities proposed by **the Technical Staff College** and the **Technical Staff Offices**	Participate in advanced development solutions	To be aware about radical innovation compare to incremental innovation

Tableau 40 : Nouveaux critères de la *Technical Ladder Matrix* de ST (Documentation interne, STMicroelectronics)

4. SYNTHESE DU CHAPITRE 11

Dans ce chapitre nous avons proposé et expérimenté un nouveau modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise. Conformément à notre méthodologie de recherche, ce chapitre illustre la phase d'intervention qui s'est déroulée de novembre 2014 à novembre 2016. En se basant sur le modèle théorique développé dans les parties précédentes, nous avons proposé un nouveau dispositif de gestion permettant d'assurer l'émergence d'expertise en situation d'innovation intensive : le *Technical Staff College*. Ce dispositif a été co-construit par une équipe composée d'experts (membres de la filière technique), de managers, de directeurs de l'innovation, de responsables des ressources humaines et des chercheurs en sciences de gestion. Ce nouveau dispositif organisationnel vise à dépasser les outils traditionnels de la gestion des experts et de l'expertise, tels que la double échelle, et à organiser le pilotage de l'émergence et du renouvellement des expertises pour l'innovation de rupture.

Les objectifs de cette nouvelle entité organisationnelle sont de renforcer l'efficacité et l'impact de la société d'experts au sein de l'organisation. Ainsi, cette organisation a pour missions principales de fédérer l'ensemble des membres du personnel techniques (experts), de motiver les membres du personnel technique, de gérer la dynamique des expertises au sein de l'organisation, de piloter et organiser le renouvellement des expertises pour l'innovation, de gérer l'exploration de nouveau concepts d'innovation de rupture et de participer à l'élaboration des stratégies de recherche de l'entreprise.

Le *Technical Staff College* se compose de trois entités principales :

- ***Board of Fellows :*** en charge de coordonner les activités du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts du niveau *Fellow*.
- ***Technical Staff Network :*** en charge de participer aux activités liées aux missions du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts de l'organisation.
- ***Advisory Board :*** en charge d'apporter des conseils spécifiques et d'apporter le support nécessaire pour le développement des activités du *Technical Staff College*.

Le principe de fonctionnement de cette organisation repose sur sept groupes de travail, appelés *Technical Staff Office* qui sont définis selon trois domaines : régime d'émergence de l'expertise isostructurel pour accompagner le développement d'innovations incrémentales (*Incremental Innovation Development*), régime d'émergence de l'expertise avec réorganisation des structures d'expertises pour organiser le développement d'innovations de rupture (*Radical Innovation Development)* et activités support (*Support*). Chaque *Office* est gérée par un ou plusieurs experts de niveau *Fellow* et tous les membres du personnel technique sont invités à participer aux activités d'un ou plusieurs *Offices*. Cette participation n'est pas obligatoire, mais il s'agit d'un nouveau critère d'évaluation permettant d'évoluer dans l'échelle technique. **Le *Board of Fellows* a ainsi pour mission de coordonner l'ensemble des activités des différents bureaux et d'animer l'action collective des experts au sein de ces *Offices***. Enfin, nous avons terminé le chapitre en expliquant comment cette nouvelle structure organisationnelle a été institutionnalisée au sein de l'organisation, notamment par l'intermédiaire d'une refonte de la charte des experts et de la matrice d'évaluation de la filière technique.

Le chapitre suivant a pour objectif d'illustrer les actions du *Technical Staff College* par deux cas concrets.

CHAPITRE 12 – EXEMPLES DE PROJETS ENTREPRIS PAR LE *TECHNICAL STAFF COLLEGE* : LA CAS DE LA *METHODE FMEA* & LE CAS DE L'EXPERTISE *ENERGY HARVESTING*

Chapitre 12 – Exemples de projets entrepris par le *Technical Staff College* : la cas de la *méthode FMEA* & le cas de l'expertise *energy harvesting*..... 301

1. Renouvellement d'un dispositif de gestion de la qualité : le cas de la méthode *FMEA*.... 302

1.1. La méthodologie FMEA 302

1.2. Identification des limites du FMEA..... 304

1.3. Mise en place d'une nouvelle procédure de FMEA afin d'organiser des apprentisages pour la collaboration multidiciplinaire 305

2. Emergence d'une nouvelle expertise : le cas de l'expertise *energy harvesting*..... 309

2.1. Exploration d'un champ d'innovation nouveau : objet autonome & récupération d'énergie309

2.2. Une exploration organisée pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise..... 310

2.3. Processus d'émergence de l'expertise *energy harvesting* & réorganisation des structures d'expertise 315

3. Synthèse du chapitre 12..... 316

Ce chapitre a pour ambition d'illustrer les actions du *Technical Staff College* par deux cas concrets. Premièrement, nous présenterons un projet mené au sein de ***l'Office Knowledge Management & Best Practices***. Ce projet s'est déroulé de janvier 2014 à août 2015 au sein du site industriel de Crolles. L'objectif poursuivit fut d'évaluer et d'améliorer les méthodes de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité dans les activités de production. Nous nous sommes majoritairement intéressés à la méthode et outil AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) ou FMEA en anglais (Failure Mode and Effects Analysis). Les résultats obtenus ont fait l'office d'une publication scientifique[103] dans une conférence internationale (*International Design Conference – Design 2016*). La publication a obtenu le prix suivant : *Outstanding contribution Award, 14th International Design Conference, 2016, Croatia.* Deuxièmement, nous présenterons un projet d'émergence d'un nouveau champ d'expertise ayant débuté en 2010. Ce projet vise à développer une expertise en récupération d'énergie (*energy harvesting*) afin de permettre la conception de technologies innovantes de récupération d'énergie pour les capteurs autonomes. Après la création du *Technical Staff College*, ce projet de développement d'un nouveau champ d'expertise est actuellement soutenu et accompagné par l'*Office Disruptive Innovation Exploration.*

1. RENOUVELLEMENT D'UN DISPOSITIF DE GESTION DE LA QUALITE : LE CAS DE LA METHODE *FMEA*

Dans les secteurs industriels de type *« science-based »*, la gestion de la qualité et de la fiabilité dans les activités de conception et de fabrication a toujours été un sujet important, mobilisant un large ensemble d'experts. Dans un souci de compétitivité, l'un des principaux objectifs de l'analyse des risques de nature techniques est de se concentrer sur la prévention des problèmes, l'élimination du gaspillage dû aux pièces défectueuses et l'augmentation de la fiabilité des produits et des systèmes de production. Dans ce contexte, l'enjeu est d'analyser et d'anticiper la probabilité, les causes et les conséquences des problèmes potentiels. Dans la plupart des secteurs industriels, parmi lesquels l'automobile, l'aérospatiale, la défense et les semi-conducteurs, la principale méthode utilisée pour identifier et réduire les risques pendant la conception, le développement et la fabrication des produits est la méthode FMEA. La méthode FMEA est une procédure systématique ayant pour but d'identifier, d'anticiper et d'évaluer les modes de défaillance ainsi que leurs conséquences sur les systèmes, les produits, les technologies, les processus, les services, etc. Cependant, il a été mis en évidence, chez STMicroelectronics, de nombreuses difficultés dans la mise en œuvre, la conception et l'utilisation des informations des FMEA pour l'amélioration de la qualité des processus de conception des produits. C'est dans ce contexte que nous avons accompagné les experts de *l'Office Knowledge Management & Best Practices* afin d'étudier et de proposer des améliorations susceptibles de perfectionner la gestion de la qualité et de la fiabilité dans les activités de conception et de production.

1.1. LA METHODOLOGIE FMEA

La méthodologie FMEA a été créée par l'armée américaine en 1949 afin d'analyser et de comprendre les modes de défaillances et leurs impacts sur les fonctionnalités et la sécurité des

[103] Cf. Annexe *From FMEA as a problem solving method to a design-oriented process : toward a design perspective of FMEA.*

équipements. Depuis lors, l'utilisation de la méthodologie FMEA a été généralisée dans l'industrie, du programme spatial Apollo (dans les années 1960) à l'industrie des semi-conducteurs en passant par l'industrie automobile (dans les années 1980). Etant donné qu'en termes de coût, de qualité et de fiabilité, la prévention des problèmes est plus avantageuse que leur résolution, la méthode FMEA a pour ambition de prévenir les problèmes avant les tests de conception. En outre, l'outil FMEA est également utilisé pour améliorer les plans de test et la maîtrise des procédés industriels. Enfin, il contribue également à sélectionner les procédures alternatives de conception et permet d'améliorer l'image et la compétitivité de l'entreprise. En se basant sur des expertises concernant le fonctionnement et les interactions de systèmes, la méthode s'appuie sur une analyse méthodique des risques potentiels. La procédure FMEA est décomposée en plusieurs étapes : l'analyse fonctionnelle (pour déterminer les fonctions principales d'un produit ou d'un procédé), l'identification des modes de défaillances possibles, l'identification des effets des défaillances sur le système, l'identification des causes de défaillances et proposition d'action correctives en prévention [Figure 134]. Etant donné la complexité des produits, chaque FMEA est réalisé par une équipe d'une dizaine de personnes, dont les domaines d'expertise sont différents.

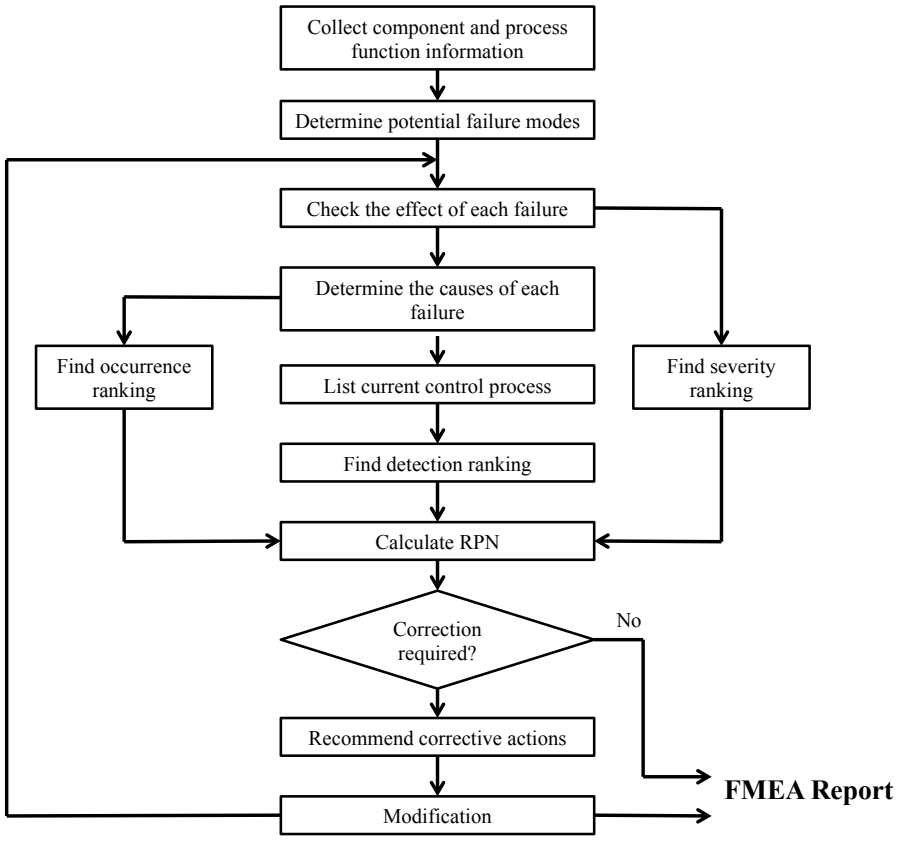


Figure 134: Procédure pour la création d'un FMEA

Les informations collectées sont présentées par l'intermédiaire d'un tableau [Figure 135].

Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of failure	Severity	Potential Cause(s) of failure	Occurrence	Detection method	Risk Priority Number (RPN)	Recommended action	Actions taken

Figure 135: Tableau FMEA

Chez STMicroelectronics, les FMEA sont divisés en trois catégories : *system FMEA* (analyse fonctionnelle d'un système), *design FMEA* (analyse des phases de conception d'un produit), *process FMEA* (analyse des phases de production d'un produit) [Figure 136].

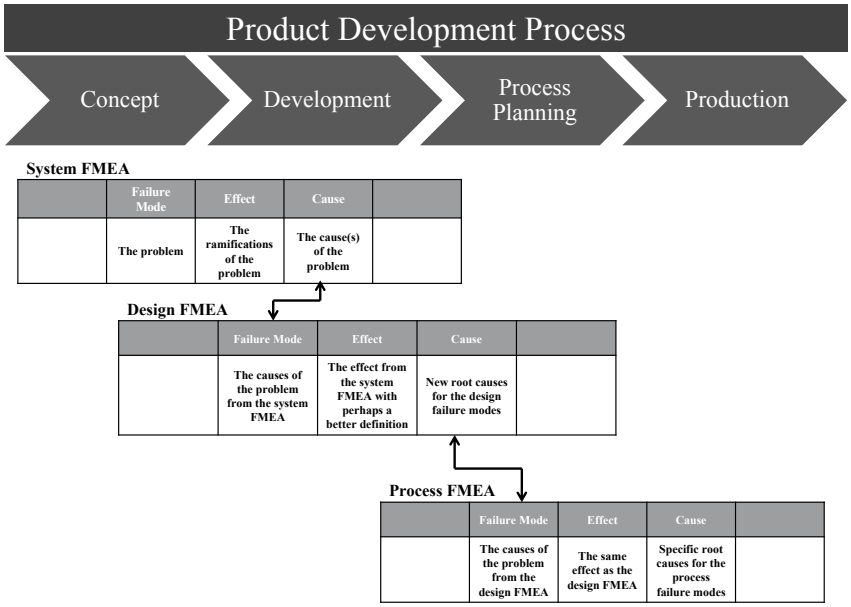


Figure 136: Trois catégories de FMEA

1.2. Identification des limites du FMEA

Bien que cette méthode soit actuellement indispensable, il n'en demeure pas moins qu'elle présente de nombreuses limites. En s'appuyant sur une revue de littérature ainsi que sur leurs expériences personnelles, les experts membres de *l'Office Knowledge Management & Best Practices* ont principalement identifié trois grandes faiblesses :

- **Identification de problèmes imprévus** : étant donné que l'analyse des modes de défaillance se base sur l'expérience des participants, il est particulièrement difficile d'identifier des potentiels modes de défaillance qui n'ont pas encore été observés précédemment.

- **Gestion de l'apprentissage collectif dans un environnement multidisciplinaire** : l'identification de nouveaux problèmes ou de problèmes « inattendus » nécessite le développement de capacités collectives d'apprentissage. En tant que méthode inductive, la méthode FMEA est limité à l'analyse d'évènements indésirables déjà connus et ne permet pas de gérer et d'organiser des phases d'apprentissage et de collaboration entre des experts dont les domaines d'expertises sont souvent différents.
- **Collaboration dans l'inconnu** : si le partage d'informations entre des équipes multidisciplinaires permet d'anticiper des « problèmes bien structurés », l'enjeu principal est de créer de nouvelles connaissances afin de proposer une redéfinition créative de la situation pour donner forme à des problèmes et des solutions encore inconnus. Cependant, la méthode FMEA a de grandes difficultés à prendre en compte la coordination et les interactions sociales entre des équipes multidisciplinaires ne partageant pas nécessairement les mêmes référentiels de connaissances.

1.3. Mise en place d'une nouvelle procedure de FMEA afin d'organiser des apprentisages pour la collaboration multidiciplinaire

Etant donné la complexité des produits conçus par STMicroelectronics, la réalisation de chaque FMEA nécessite de réunir un groupe d'experts multidisciplinaire. De plus, sachant qu'il existe plusieurs types de FMEA interdépendants, l'enjeu principal est de coordonner leurs créations afin d'augmenter la performance des actions de prévention. Cependant, le partage de connaissance ne suffit pas à anticiper les problèmes encore inconnus. Dans ce contexte, la création d'un FMEA ne peut se limiter à un processus d'organisation et de sélection de connaissances connus : la construction d'un FMEA devient un enjeu de conception qu'il est possible de modéliser en utilisant le cadre théorique de la théorie C-K [Figure 137].

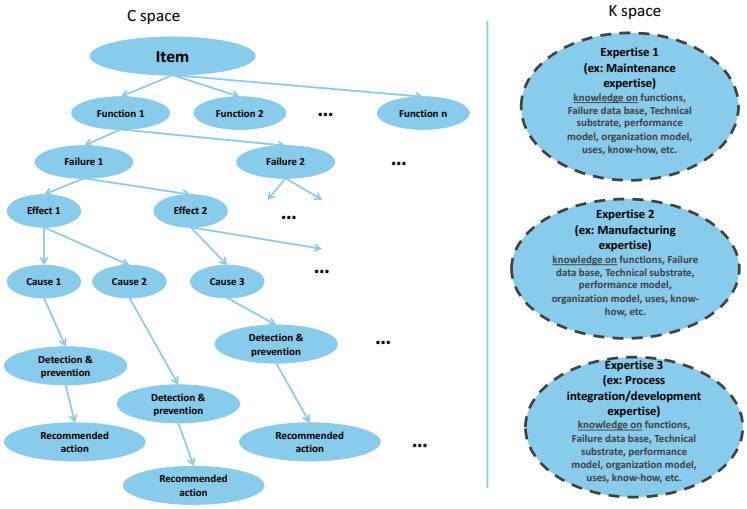


Figure 137 : Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (1)

La figure ci-dessus, représente la conception d'un FMEA pour une recette. Dans l'industrie du semi-conducteur, une recette est une gamme de fabrication. Un ensemble de recettes constitue un module (ou brique technologique). L'enchainement des modules constitue un procédé de fabrication pour une technologie donnée. D'autre part, chaque recette est dépendante de familles d'équipements. Ainsi, pour constituer le FMEA d'une recette, il est important de réunir des experts *process integration* (expert module – expertise 3 sur le schéma), en *manufacturing* (expert recette – expertise 2 sur le schéma) et en *maintenance* (expert équipement – expertise 1 sur le schéma). Après avoir mis en commun les différents domaines d'expertise, il devient possible de construire le FMEA (fonctions, mode de défaillances, causes, effets, etc. – arbre de l'espace C dans la figure 4). Cependant, l'enjeu principal est d'anticiper des problèmes et des modes de défaillances encore inconnus (*unexpected failure* ou *unexpected concept*), notamment en essayant de comprendre quelles sont les connaissances manquantes qui permettraient de proposer de nouveaux modes de défaillance potentiels [Figure 138].

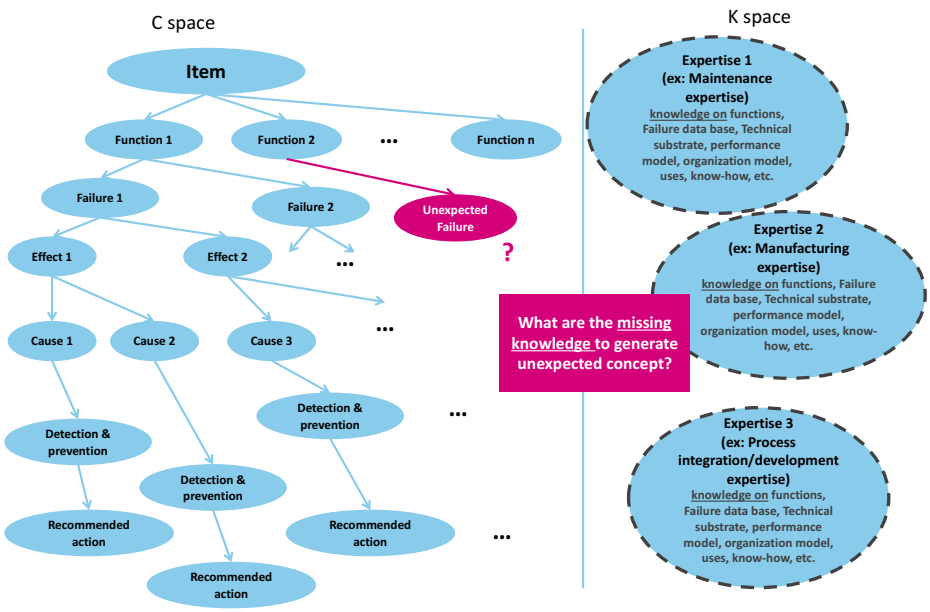


Figure 138: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (2)

En observant et analysant plusieurs FMEA dans l'organisation, le groupe d'experts de *l'Office Knowledge Management & Best Practices* a mis en évidence que dans des FMEA de recette, dont le contenu est à 90% identique (mêmes *items* et mêmes *fonctions)*, on pouvait observer une différence de l'ordre de 50% concernant la nature des modes de défaillance, des causes, des effets et des propositions d'action correctives. Cette observation montre que le processus de conception du FMEA est fortement tributaire des experts et des expertises mobilisées dans la création du FMEA. En outre, la différence de nature des informations concernant les modes de défaillances intervenait sur des problématiques se situant à l'interface des différents domaines d'expertise. Il est donc particulièrement important de tenir compte du fait que chaque domaine d'expertise est porteur d'effets différents et que ces effets peuvent impliquer des problèmes indésirables dans les autres domaines d'expertise. Ainsi, le principal enjeu fut de créer et d'organiser de nouvelles capacités d'apprentissage, à l'interface des équipes d'experts multidisciplinaires. Ces nouvelles capacités d'apprentissage ont pour objectif de provoquer des redéfinitions créatives des

situations observées, tout en tenant compte du fait que chaque expertise (maintenance, fabrication, intégration de processus, physique, matériaux, électronique, photonique, statistiques, logiciels, etc.) utilise ses propres référentiels (substrat technique, modèle de performance, savoir-faire, etc.). Ainsi, il a été suggéré d'ajouter une nouvelle étape dans la méthodologie de conception des FEMA. Cette nouvelle étape vise à aider les concepteurs à structurer leurs connaissances en leur donnant la possibilité de développer des apprentissages pour améliorer leur capacité à générer de nouvelles analyses et solutions cohérentes.

Cette étape est appelée *« measurement space »* et propose de déterminer des critères de valeurs quantifiables et détectables pour chaque domaine d'expertise (quelles sont les données pertinentes pour remplir la fonction, quelles sont les données mesurables ? Comment peut-on mesurer ces données ? Avec quel instrument ? etc.). Premièrement, ces critères de valeur permettent de déterminer si la fonction est remplie. Deuxièmement, la détermination de ces critères de valeur permet d'initier l'apprentissage entre les équipes d'experts multidisciplinaires afin de déterminer ce qui doit ou devrait être appris pour leur permettre de proposer une redéfinition créative des modes de défaillance et de leurs effets sur les produits et processus. Enfin, ces critères de valeur sont collectés par catégorie, en fonction de chaque expertise. Ainsi, chaque concepteur de FMEA peut engager des discussions collectives et peut apprendre les uns des autres, même si leurs compétences et leurs connaissances sont différentes [Figure 139].

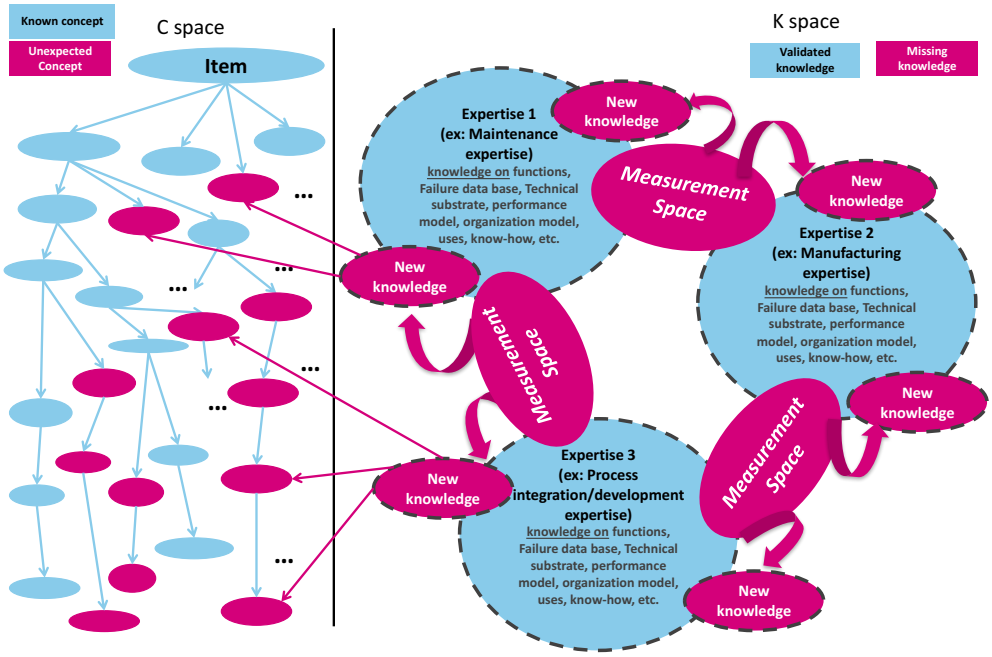


Figure 139: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (3)

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le défi n'est pas seulement de partager l'information entre les équipes multidisciplinaires, mais de créer de nouvelles connaissances à l'interface des domaines d'expertise et cela pour donner forme à l'inconnu. À cette fin, les interactions sociales ne doivent pas être considérées uniquement comme une ressource de conception mais comme faisant partie intégrante du processus de conception. Le processus de conception des FMEA a donc été modifié de la façon suivante [Figure 140] :

1) Création d'une base de connaissances sur les fonctions, modes de défaillance, effets et causes dans chaque domaine d'expertise. Puis, détermination des critères de valeur propre à chaque domaine d'expertise.
2) Partage des connaissances et apprentissage collectif par l'intermédiaire des critères de valeur identifiés dans les différents domaines d'expertise.
3) Sélection des fonctions et identification des modes de défaillance. Cette phase doit permettre de générer de nouvelles fonctions et de nouveaux modes de défaillance non identifiés.
4) Analyse des effets/causes/détections : pour chaque couple fonction/mode de défaillance, détermination des effets correspondants et identification des causes. Puis, hiérarchisation des défaillance et proposition d'actions correctives pour la prévention.

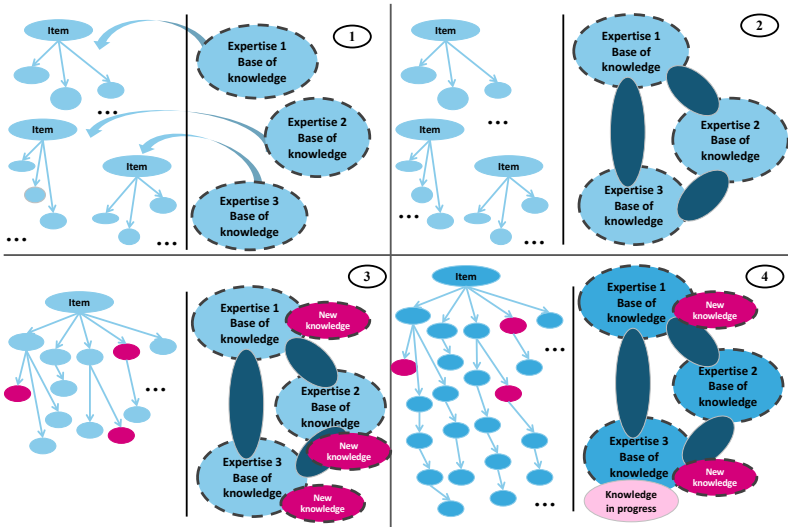


Figure 140: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (4)

Après avoir refondé la méthodologie FMEA, les experts de *l'Office Knowledge Management & Best Practices* se charge actuellement de son déploiement dans l'organisation [Figure 141]. Plusieurs tests ont déjà été effectués et des améliorations significatives ont déjà été observées[104].

Item/Function What is the Item used for ?	**Measurement space** quantifiable and detectable value criteria for each field of expertise.	**Potential Failure Mode** Negation of (each) value criteria
Item : **TRFX** Function : * Transfer the wafer to chamber * Transfer the wafer (FI/Xfer => process chamber) at well balanced pressure	**Product**	
	Equipement	
	Manufacturing * Good wafer handling setup * Lift pins at good level * Well balanced pressure during wafer transfer	* Bad wafer handling setup
		* Lift pins at wrong level
		* Pressure not well balanced during wafer transfer
		* Wrong setting of Prestep (or header)
Item : **HOP (Heat On Pins)** Function : * Preheat the wafer on lift pins to prevent thermal stress and deformation during landing on edge ring. This preheat must be adjusted to wafer substrate and wafer technology (time, power on zones) * No rotation of the wafer to be maintained * Set and stabilize the pressure at process target value * Set and stabilize gases flows N2,02,N2_Mag	**Product** * No defectivity * Resistivity in control * Good visual beharvior	* Defectivity level too high
		* Resistivity out of control (Mean, range, uniformity)
		* Bad visual beharvior: warp,…
	Equipement * Correct zones power gradient adapted to wafer's sustrate and technology * Sufficient time (>= xx second) to complete chamber thermalisation * Pressure stable at process target value: - Atmos < target value (800 Torr) => enough delta pressure to evacuate gases without impact of weather condition (no pump)	* Bad settings for zones power (not adapted to wafer, sustrate, technology)
		* Insufficient time to thermalize the chamber
		* Pressure not at process value or instable
		* Process pressure setpoint too low
		* Process pressure setpoint too high
		* N2 flow not at process target or unstable
		* O2 flow not at process target or unstable
		* N2_Mag flow not at process target or unstable
	Manufacturing * Correct wafer hand off * Good prestep (header) setup	* Rotation in first step
		* Bad wafer hand-off
		* Wrong setting of Prestep (or header)

Figure 141 : Exemple d'une partie de FMEA chez STMicroelectronics

[104] Cf. Annexe *From FMEA as a problem solving method to a design-oriented process : toward a design perspective of FMEA.*

2. Emergence d'une nouvelle expertise : le cas de l'expertise *energy harvesting*

Le projet d'émergence du champ d'expertise *energy harvesting* a commencé au cours de l'année 2010. Il est donc antérieur à la création du *Technical Staff College*. Cependant, il constitue aujourd'hui le projet phare de l'office *Disruptive Innovation Exploration*. Dans la suite de ce chapitre, nous proposons de décrire le processus d'émergence de l'expertise *energy harvesting* chez STMicroelectronics.

2.1. Exploration d'un champ d'innovation nouveau : objet autonome & recuperation d'energie

Selon les industriels de l'électronique, l'Internet des objets (IdO) s'annonce comme l'un des marchés les plus prometteurs pour l'industrie des semi-conducteurs. Selon IC Insights[105], l'internet des objets devrait représenter un marché de 31 milliards de dollars pour les puces électroniques en 2019. Cette taille de marché représente le double de celui prévu pour 2015. Pour les analystes du secteur, les composants optoélectroniques, les capteurs et les actionneurs représenteraient 11,6 milliards de dollars en 2019 et les circuits intégrés (processeurs, microcontrôleurs et mémoires) représenteraient un marché de 19,4 milliards de dollars. Les enjeux principaux de l'IdO reposent sur des perspectives de nouveaux champs d'applications, conformément aux enjeux technologiques, économiques, sociétaux et politiques de notre temps. Selon le Centre d'Innovation des Technologies sans Contact (CITC-EuraRFID), l'IdO devrait contribuer à répondre aux problèmes sociétaux d'aujourd'hui : les systèmes de surveillance de la santé apporteront des solutions en matière de vieillissement de la population, les arbres connectés aideront à combattre la déforestation, les voitures connectées aideront à réduire l'encombrement du trafic et seront plus faciles à recycler, etc. La figure ci-dessous représente un large panorama des applications potentielles [Figure 142].

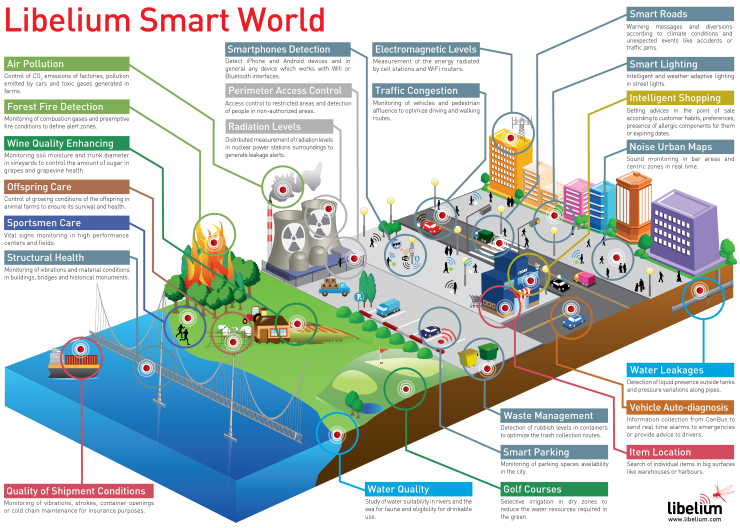


Figure 142: Les applications de l'Internet des objets (source : Libelim)

[105] Spécialiste des études de marchés pour l'industrie des semi-conducteurs.

D'un point de vue technologique, l'IdO désigne un système où les objets intégrés à celui-ci sont reliés entre eux par une connexion. Ce système fonctionne grâce à diverses technologies de communication intégrées aux objets par le biais de composants électroniques. A la base de ce réseau, il y a l'identification des objets. Chaque entité doit avoir un nom/une adresse lui permettant d'être reconnu par les différents acteurs qui composent le système. La dénomination « Internet » fait référence à cette architecture en réseau basée sur un environnement où chaque terminal possède sa propre adresse. De la sorte, tout objet possédant une identité peut être intégré au système. L'IdO nécessite des systèmes technologiques particuliers pour fonctionner. Il faut d'abord un système d'adressage (physique ou virtuel), des capteurs et/ou activateurs pour interagir avec son environnement, un système de connexion pour la communication entre entités, des logiciels de traitements de données et un réseau sur lesquelles les informations vont circuler. Enfin, cet ensemble complexe doit être standardisé afin de permettre l'interopérabilité des actions entre les différents systèmes. Sans cette standardisation, le déploiement de l'IdO ne pourrait se faire de manière globale.

D'autre part, l'un des enjeux principaux est d'obtenir des capteurs capables de transmettre leurs données sans liaison filaire, tout en étant autosuffisants en énergie. On parle ainsi de capteur autonome. Cependant, concevoir des objets autonomes du point de vue énergétique est l'un des défis majeurs pour les acteurs de l'industrie. C'est dans ce contexte que deux experts en CMOS et en électronique de ST (un *Company Fellow* et un *Senior Member of Technical Staff*) ont proposé d'explorer un nouveau champ d'innovation au sein de l'entreprise : **systèmes innovants de récupération d'énergie (*energy harvesting)* pour les capteurs autonomes.** Ensuite, autour de ces deux experts s'est constituée une équipe pluridisciplinaire d'experts (électronique, conception de circuits, science des matériaux, système énergétique, etc.). Ce collectif d'experts a donc pris en charge l'exploration de ce nouveau champ d'innovation avec pour objectif de développer un nouveau champ d'expertise dans le domaine de la récupération d'énergie spécifiquement destiné aux composants électroniques. Il est important de noter que l'objectif initial n'a jamais été de concevoir un nouveau produit.

2.2. Une exploration organisee pour l'emergence d'un nouveau champ d'expertise

Le terme de récupération d'énergie ou *energy harvesting* désigne la conversion de l'énergie perdue ou provenant d'une source gratuite en une énergie utile[106]. L'idée de développer une expertise en récupération d'énergie reposait d'ailleurs sur deux principaux constats :

- Etant donné que tous les composants électroniques (microprocesseurs, microcontrôleurs, mémoires, etc.) génèrent de chaleur lors de leur utilisation, il serait intéressant de récupérer cette énergie perdue.
- Etant donné le développement important des capteurs autonomes, la création de systèmes de récupération d'énergie permettrait d'alimenter des dispositifs de petite taille pour les rendre autonomes.

[106] Puscasu, O. (2014). *Dispositifs innovants pour la récupération de l'énergie thermique.* Doctoral dissertation, INSA de Lyon.

Dans un premier temps, la stratégie d'exploration débuta par une importante phase d'acquisition de nouvelles compétences en récupération d'énergie. Une première thèse CIFRE fut lancée en 2010 en collaboration avec l'INSA de Lyon et le CEA-Liten[107] afin d'explorer l'ensemble des expertises techniques existantes : connaissances dans la récupération d'énergie lumineuse, connaissances dans la récupération d'énergie mécanique (conversion électromagnétique, conversion piézoélectrique), connaissances dans la récupération d'énergie des ondes radiofréquence, connaissances dans la récupération d'énergie thermique (effet Seebek, conversion pyroélectrique), connaissances dans la conversion énergétique thermomécanique par vaporisation brusque de fluide, par alliage à mémoire de forme et par bilames thermiques, etc. Parallèlement à la phase d'acquisition de nouvelles connaissances, la stratégie d'exploration se poursuivit par l'invention de deux nouveaux concepts techniques innovants baptisés *Fourmi* (brevet FR2977983A1) et *Popcorn* (brevet FR2986908A1).

Le concept *Fourmi* se rapporte à un système de conversion d'énergie thermique en énergie électrique. Sachant que les circuits électriques, lors de leur fonctionnement, produisent de la chaleur qu'il est nécessaire d'évacuer afin de ne pas détériorer les circuits, l'enjeu est de récupérer cette chaleur pour la convertir en énergie électrique. Le concept *Fourmi* s'appuie sur les propriétés des matériaux piézoélectriques et des bilames. Un matériau piézoélectrique est un matériau qui, lorsqu'il est soumis à une déformation mécanique, se polarise électriquement et génère une tension électrique. Un bilame est un dispositif constitué de deux lames de métaux différents dont les coefficients de dilatation sont différents. Etant donné que les coefficients de dilatation sont différents, le bilame se déforme et se courbe lorsqu'il est échauffé ou lorsqu'il est refroidi. Le concept *Fourmi* a pour objectif de convertir l'énergie thermique en énergie électrique avec un rendement élevé. Les bilames sont au contact de la source chaude. Lorsque la température augmente les bilames se déforme en se courbant et se retrouve au contact de la membrane piézoélectrique. Lorsque les bilames sont au contact de la membrane, celle-ci entre en vibration générant donc une tension électrique. Ainsi, l'énergie thermique est transformée en énergie électrique [Figure 143].

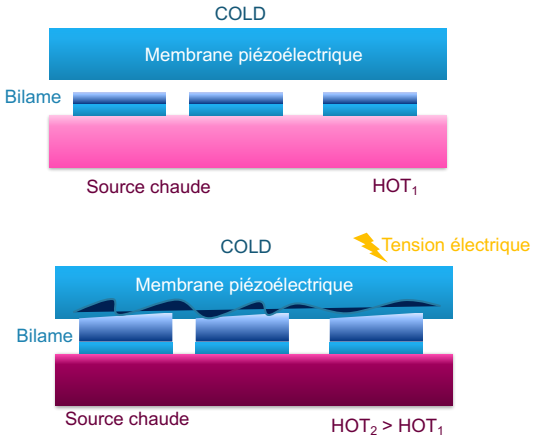


Figure 143: Schéma conceptuel de l'invention *Fourmi*

[107] Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies Nouvelles et les nanomatériaux du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).

Le concept *Popcorn* se rapporte lui aussi à un système de conversion d'énergie thermique en énergie électrique. Cependant, il se base sur le changement de phase liquide-vapeur d'un fluide. Le fluide est enfermé dans une volume clos délimité par une paroi au contact d'une source chaude et une autre paroi en matériau piézoélectrique au contact d'une source froide. Le liquide s'écoule par gravité en direction de la paroi au contact d'une source chaude. Lorsqu'il entre en contact avec cette paroi, il se vaporise brutalement, générant ainsi une forte surpression et d'importantes contraintes mécaniques qui sont transmises à la membrane piézoélectrique, qui les transforme en signal électrique. Puis le fluide se condense et le liquide s'écoule par gravité vers la paroi au contact d'une source chaude et le cycle recommence [Figure 144].

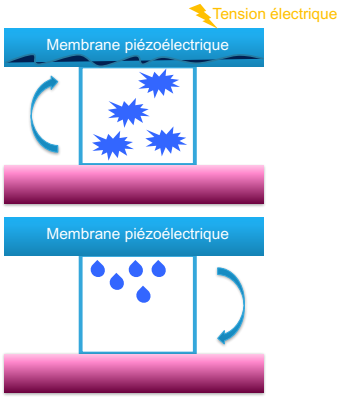


Figure 144: Schéma conceptuel de l'invention *Popcorn*

En utilisant le cadre théorique de la théorie C-K, il est possible de modéliser la stratégie d'exploration de la façon suivante [Figure 145].

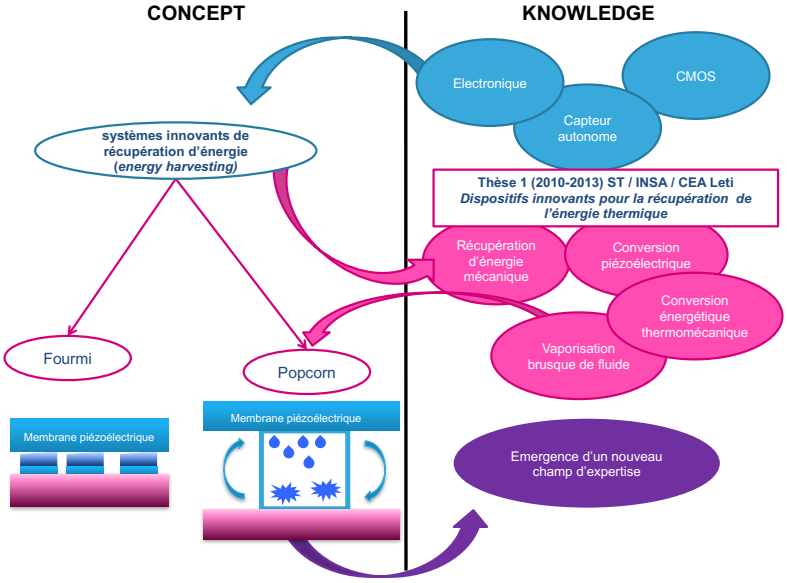


Figure 145: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (1)

Il est important de noter qu'il ne s'agit pas de concevoir de nouveaux produits innovants, mais de piloter une stratégie d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise dans l'organisation. A partir des premiers concepts élaborés, l'enjeu est maintenant de développer l'ensemble des connaissances et compétences qui seront nécessaires pour la conception de nouveaux produits ou de nouveaux procédés. D'autre part, il est indispensable de rendre compatible cette nouvelle expertise avec l'ensemble des expertises de l'organisation (procédés CMOS, processus de conception de circuit, processus de fabrication, processus d'industrialisation, etc.). L'exploration s'organise ensuite autour des premiers concepts. L'enjeu est d'affiner chaque concept et de développer de nouvelles connaissances. Pour cela, l'équipe d'experts s'appuie sur la création de thèses CIFRE. Pour chaque nouveau sous-concept, une thèse CIFRE est lancée en collaboration avec les laboratoires les plus en pointe dans le domaine [Figure 146]. L'objectif est de proposer un programme de recherche commun (ST, universités, laboratoires publics), sur une durée de trois ans, afin de concevoir les premiers prototypes et démonstrateurs. Enfin, STMicroelectronics s'assure de s'approprier l'ensemble des expertises développées lors de ces thèses, notamment par l'intermédiaire de dépôts de brevets et de publications scientifiques (conférences et journaux académiques).

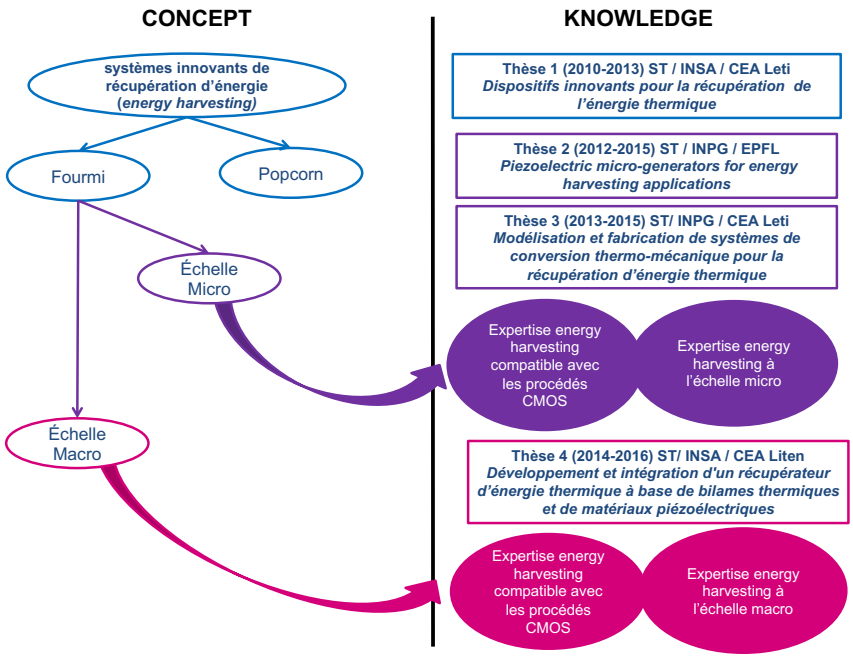


Figure 146: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (2)

De la même manière, l'exploration du concept *Popcorn* s'organise autour de plusieurs thèses CIFRE [Figure 147]. Pour STMicroelectronics, la thèse CIFRE représente plusieurs avantages. Premièrement, une thèse CIFRE est l'une des ressources les plus importantes pour les activités d'exploration. En effet, pendant trois ans, un individu est spécialement dédié à un sujet de recherche déterminé. Deuxièmement, le dispositif thèse CIFRE permet à l'entreprise de se rapprocher des laboratoires les plus en pointe dans un domaine d'expertise particulier. C'est un contrat gagnant-gagnant dans la mesure où le doctorat est

financé par l'entreprise. Enfin, les thèses CIFRE permettent à l'entreprise de bénéficier d'avantages fiscaux (crédit impôt recherche (CIR) et crédit impôt innovation (CII) notamment).

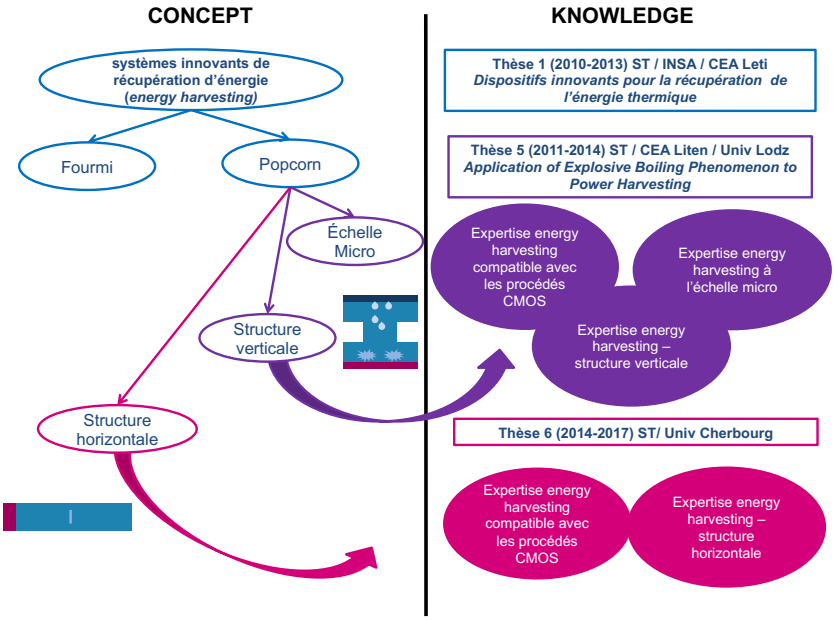


Figure 147: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (3)

Au cours de l'exploration, de nouveaux concepts peuvent émerger et faire l'objet d'une nouvelle stratégie d'exploration. C'est notamment le cas du concept *Générateur thermoélectrique* (brevet FR3029355A1). De la même manière, de nouvelles thèses sont lancées afin de concevoir un nouveau champ d'expertise [Figure 148].

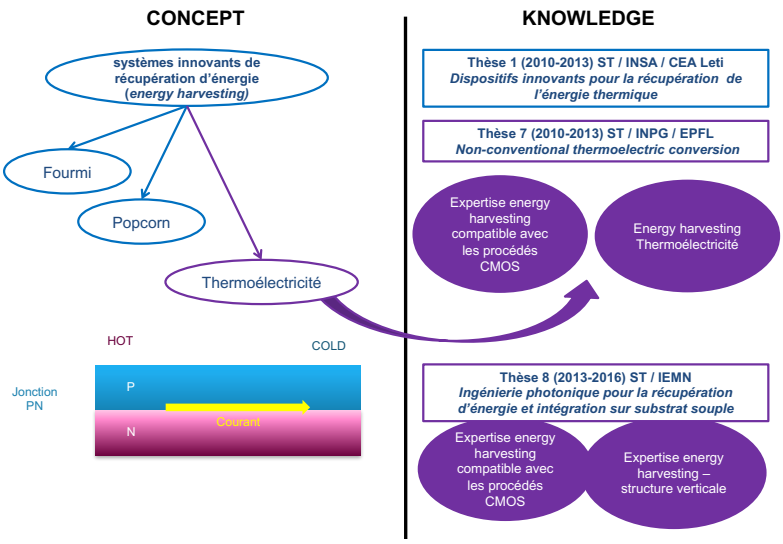


Figure 148: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (4)

2.3. Processus d'emergence de l'expertise *energy harvesting* & reorganisation des structures d'expertise

L'émergence d'un nouveau champ d'expertise ne s'effectue pas indépendamment des champs d'expertise existants. Premièrement, l'émergence de l'expertise *energy harvesting* s'appuie sur les expertises existantes. Deuxièmement, elle contribue à réorganiser les structures d'expertises de l'organisation en modifiant la nature des champs d'expertises et leurs relations d'interdépendance. Ces caractéristiques sont illustrées par la figure ci-dessous [Figure 149]. Le cercle rouge représente la nouvelle expertise au sein de la structure des expertises chez STMicroelectronics. Les nœuds et les liens verts représentent l'évolution des relations d'interdépendance de l'expertise *energy harvesting* avec les autres domaines d'expertise.

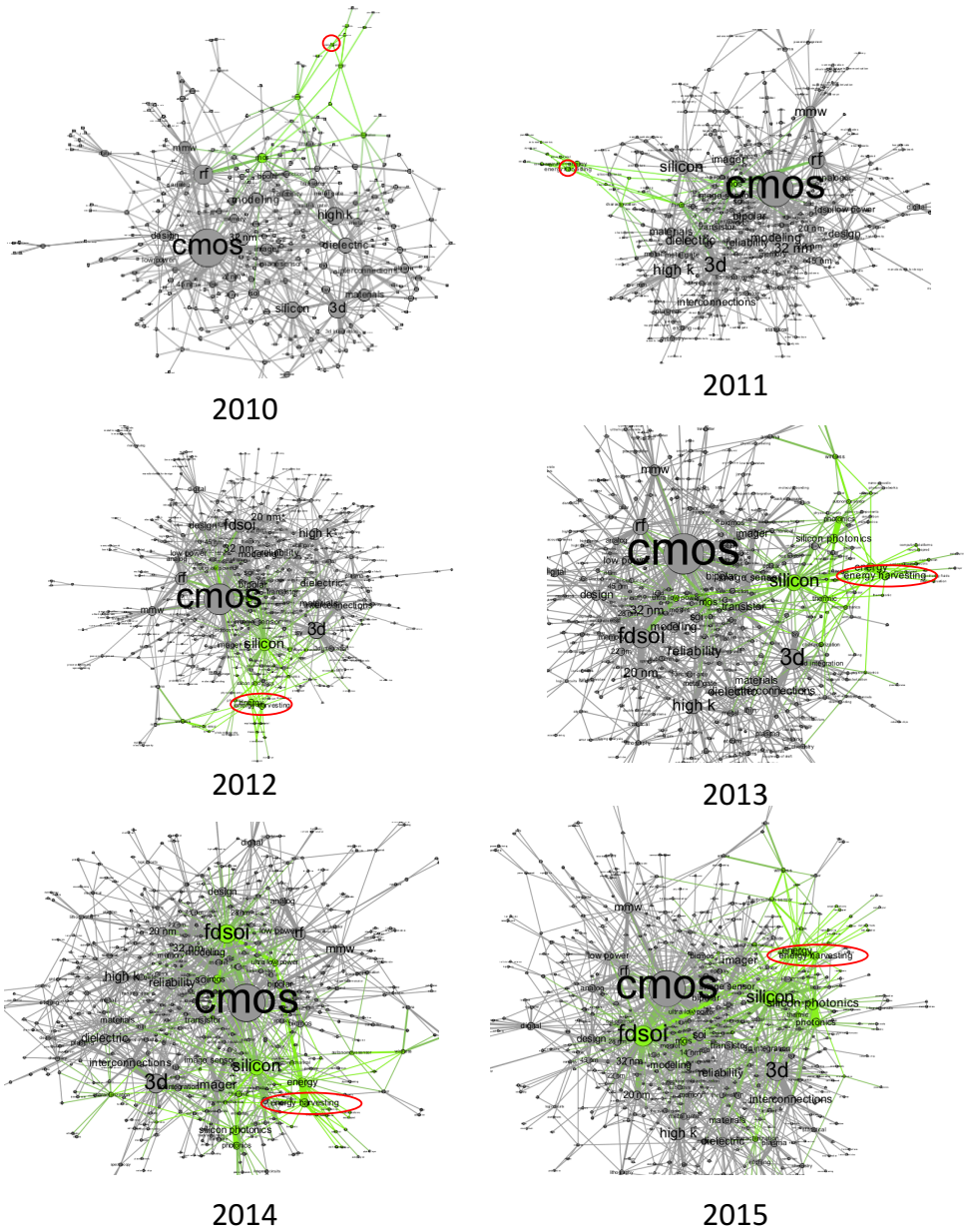


Figure 149: Relations entre l'expertise energy harvesting & les autres domaines d'expertise de l'organisation

3. SYNTHESE DU CHAPITRE 12

Ce chapitre nous permis d'illustrer les actions concrètes entreprises par le *Technical Staff College*. Nous avons choisi de présenter deux études de cas.

Premièrement, nous avons présenté un projet mené au sein de ***l'Office Knowledge Management & Best Practices.*** Ce projet s'est déroulé de janvier 2014 à août 2015 au sein du site industriel de Crolles. L'objectif poursuivit fut d'évaluer et d'améliorer les méthodes de sûreté de fonctionnement et de gestion de la qualité dans les activités de productions. Dans la plupart des secteurs industriels, parmi lesquels l'automobile, l'aérospatiale, la défense et les semi-conducteurs, la principale méthode utilisée pour identifier et réduire les risques pendant la conception, le développement et la fabrication des produits est la méthode FMEA. La méthode FMEA est une procédure systématique ayant pour but d'identifier, d'anticiper et d'évaluer les modes de défaillance ainsi que leurs conséquences sur les systèmes, les produits, les technologies, les processus, les services, etc. Cependant, il a été mis en évidence, chez STMicroelectronics, de nombreuses difficultés dans la mise en œuvre, la conception et l'utilisation des informations des FMEA pour l'amélioration de la qualité des processus de conception des produits. C'est dans ce contexte que les experts de *l'Office Knowledge Management & Best Practices* ont décidé d'entreprendre la refondation théorique et pratique de la méthodes FMEA, afin de proposer notamment des améliorations susceptibles de perfectionner la gestion de la qualité et de la fiabilité dans les activités de conception et de production.

Deuxièmement, nous avons présenté un projet d'émergence d'un nouveau champ d'expertise ayant débuté en 2010. Ce projet vise à développer une expertise en récupération d'énergie (*energy harvesting*) afin de permettre la conception de technologies innovantes de récupération d'énergies pour les capteurs autonomes. Cependant, concevoir des objets autonomes du point de vue énergétique est un défi majeur pour les acteurs de l'industrie. C'est dans ce contexte que deux experts en CMOS et en électronique de ST (un *Company Fellow* et un *Senior Member of Technical Staff*) ont proposé d'explorer un nouveau champ d'innovation au sein de l'entreprise : **systèmes innovants de récupération d'énergie (energy harvesting) pour les capteurs autonomes.** Ensuite, autour de ces deux experts s'est constituée une équipe pluridisciplinaire d'experts (électronique, conception de circuits, science des matériaux, système énergétique, etc.). Ce collectif d'experts a donc pris en charge l'exploration de ce nouveau champ d'innovation avec pour objectif de développer un nouveau champ d'expertise dans le domaine de la récupération d'énergie spécifiquement destiné aux composants électroniques. Il est important de noter que l'objectif initial n'a jamais été de concevoir un nouveau produit. Après la création du *Technical Staff College*, ce projet de développement d'un nouveau champ d'expertise est actuellement soutenu et accompagné par l'***Office Disruptive Innovation Exploration***.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette conclusion, nous proposons de mettre en évidence les principaux résultats de recherche de notre thèse. Premièrement, nous insisterons particulièrement sur les apports théoriques et empiriques de notre travail de recherche. Nous montrerons comment nos travaux permettent de concevoir des implications managériales pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles. Deuxièmement, nous aborderons les limites de notre recherche, en termes de méthodologie, de construction théorique et d'étude empirique. Enfin, nous terminerons notre conclusion en proposant de nouvelles perspectives de recherche.

PRINCIPAUX RESULTATS DE RECHERCHE

Dans les organisations industrielles, les enjeux d'innovation et de renouvellement de l'expertise ne sont pas des sujets nouveaux en sciences de gestion. Cependant, dans un **capitalisme de l'innovation intensive**, caractérisé par un renouvellement permanent des produits et des technologies, ainsi que par la déstabilisation de l'identité des objets et des *dominant designs*, les entreprises industrielles se trouvent confrontées à de nouvelles problématiques de gestion. Etant donné ce nouveau paradigme concurrentiel, les stratégies d'innovation ponctuelle sont dépassées. En outre, les stratégies de perfectionnement continu de produits existants, ainsi que les stratégies de recherche fondamentale qui permettraient d'atteindre des applications sans les avoir visées ne sont plus tenables. Dans les *sciences-based industries*, les entreprises sont donc face à de nouveaux défis en matière de stratégie d'innovation. L'innovation répétée est le nouvel impératif stratégique qui s'impose à l'ensemble des secteurs industriels. Le rythme imposé par la compétition de l'innovation intensive enjoint les entreprises à adopter des stratégies de croissance par l'innovation répétée, c'est-à-dire **des stratégies basées sur le renouvèlement permanent de produits et technologies nouveaux sur les marchés**. L'impératif de renouvellement rapide de produits et de technologies ne signifie pas pour autant que les entreprises doivent privilégier les innovations incrémentales afin de réduire les délais et les risques. Au contraire, les innovations introduites se doivent d'être différenciantes. Dans ce contexte, il devient impératif d'introduire de nouveaux espaces de valeurs, de nouvelles fonctionnalités, de nouveaux usages et de nouveaux modèles d'affaires, qui à leur tour stimuleront le développement de nouvelles compétences et expertises techniques. Pour les organisations industrielles, l'enjeu est donc d'être en capacité de proposer de nouveaux produits et technologies qui rediscutent les critères de performances établis, en les déplaçant sur des dimensions encore inexplorées et inconnues. Ainsi, les entreprises se doivent de se doter de nouvelles **capacités d'innovation de rupture, leur permettant de concevoir de nouveaux espaces de valeur et de faire émerger de nouveaux champs d'expertise pour sortir des cadres concurrentiels existants.**

Paradoxalement, peu de travaux se sont intéressés aux formes de coopérations, de GRH et aux modèles d'action collective permettant d'organiser l'émergence d'expertise alors que les champs d'expertise et la nature de leurs relations sont incertains, voire encore inconnus : Comment des acteurs avec des expertises différentes peuvent-ils développer des technologies complexes alors que les architectures sont incertaines et que les champs d'expertise sont inconnus ? Comment mobiliser le savoir

des experts pour l'innovation de rupture ? Comment organiser l'action collective des experts pour permettre l'émergence de nouvelles expertises dans les organisations industrielles ?

L'objet de cette thèse fût de déterminer les relations entre la gestion des experts techniques, la dynamique du renouvellement et de l'émergence de l'expertise et les capacités d'innovation de rupture dans les organisations industrielles. Pour approfondir ces enjeux, nous avons opté pour une démarche exploratoire et longitudinale à partir du cas d'une organisation industrielle faisant face à des problématiques de gestion des experts et de l'expertise en situation d'innovation intensive : STMicroelectronics. L'ambition est alors d'explorer des objets d'études initialement peu étudiés et non-définis afin d'apporter de nouveaux éclairages théoriques et pratiques. **L'enjeu de cette thèse a donc été de répondre aux trois questions de recherche suivante :** Quelles sont les caractéristiques de la dynamique de l'émergence de l'expertise susceptible de provoquer des innovations de rupture ? Comment mobiliser l'émergence d'expertises et son influence sur le potentiel d'innovation dans les organisations industrielles ? Quelle ingénierie gestionnaire pour la gouvernance de l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive ? Notre itinéraire de recherche s'est basé sur un processus récursif mobilisant trois niveaux de raisonnement scientifique : abduction / déduction / induction. Ces différents niveaux se caractérisent respectivement par la mise en évidence d'une anomalie théorique face à des observations empiriques, une modélisation théorique expliquant les faits empiriques et la mise en œuvre d'expérimentations pour tester le modèle théorique. Cette démarche de recherche a permis de mettre en évidence quatre résultats principaux, répondant aux trois questions de recherche que nous avons initialement posées.

Conceptualisation & identification de trois régimes d'émergence d'expertise

En défendant l'idée selon laquelle les concepts de processus d'apprentissage, de recherche industrielle et de production et de gestion des connaissances ne permettent pas de rendre compte de la variété des formes d'émergence d'expertise et des formes de gouvernance associées, nous avons introduit le concept de **régime d'émergence d'expertise.** La notion de régime d'émergence d'expertise vise précisément à mettre en évidence **la variété des formes d'émergence d'expertise, des modes de gouvernance de l'expertise et des potentiels d'innovation atteignables.** Ce concept se distingue de la notion de régime de conception car il se focalise principalement sur la nature des transformations des structures d'expertise dans les organisations. En effet, si la notion de régime de conception se focalise sur les activités de conception des produits, la notion de régime d'émergence d'expertise se concentre sur les formes d'émergence de nouveaux champs d'expertise et de leurs conséquences sur le potentiel d'innovation : minimisation de la générativité de nouveaux concepts innovants et de la réorganisation des expertises existantes ou favorisation d'expansions conceptuelles fortes et restructurations profondes des expertises.

D'autre part, le concept de régime d'émergence d'expertise se distingue aussi du concept de gestion de connaissance, car il ne s'apparente pas et ne se réduit pas à une démarche managériale regroupant un ensemble d'initiatives, de méthodes et de techniques permettant d'identifier, d'organiser et de partager des connaissances dans les organisations. Enfin, en définissant la gouvernance de l'expertise

selon trois dimensions (modèle de coordination et d'action collective, modèle de GRH et modèle du rôle de l'expert dans l'organisation), nous avons **mis en en évidence trois régimes d'émergence d'expertise** [Tableau 41]. Ces différents régimes ne s'opposent pas et ne se substituent pas les uns aux autres. Ils reflètent différentes formes d'émergence de l'expertise ainsi que différents modèles de gouvernance, qui coexistent au sein des organisations. Néanmoins, ces trois régimes d'émergence d'expertise partagent la caractéristique de limiter la générativité de nouveaux concepts innovants et de préserver les structures d'expertise existantes.

Régime d'émergence d'expertise	**Forme d'émergence d'expertise**	**Potentiel d'innovation**	**Gouvernance de l'expertise**		
			Modèle de coordination et d'action collective	**Modèle de GRH**	**Rôle de l'expert dans l'organisation**
Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise	Emergence par cumulativité des champs d'expertise	Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des structures d'expertise	Laboratoire industriel	Double échelle	Expert ressource
Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise	Emergence par combinabilité des champs d'expertise	Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des structures d'expertise	Gestion de projet	Triple échelle	Expert ressource
Régime d'émergence basé sur l'absorptivité des champs d'expertise	Emergence par absorptivité des champs d'expertise	Faible générativité de nouveaux concepts innovants et faible réorganisation des structures d'expertise	Plateformes technologiques, architecture modulaire	Double échelle, triple échelle, *open dual ladder*	Expert ressource

Tableau 41 : Trois régimes d'émergence d'expertise isostructurels

Analyse empirique de la dynamique de l'émergence de l'expertise & mise en évidence d'un quatrième régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise

A partir d'une analyse empirique, nous avons cherché à caractériser la nature et les formes d'émergence d'expertise chez STMicroelectronics. En nous basant sur trois bases de données distinctes (questionnaire, base de données sur les expertises issues de la plateforme Researchgate, base de données des thèses CIFRE chez STMicroelectronics), nous avons mis en évidence un nouveau régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise.

Premièrement, cette analyse nous a permis de **mettre en évidence de nouveaux phénomènes non identifiés par la littérature** : (1) les experts de l'organisation ne sont pas nécessairement membres de la filière technique (double échelle) ; (2) le statut d'expert n'est pas nécessairement corrélé à la durée d'expérience ; (3) les experts sont multi-expertises : ils sont reconnus par leurs pairs selon plusieurs domaines d'expertise ; (4) l'action collective des experts n'est pas circonscrite aux collectifs de métier ; (5) il y a des collaborations entre des experts de différents domaines d'expertise ; (6) les champs d'expertise sont instables et généralement difficilement identifiables ; (7) la dynamique d'évolution des expertises est particulièrement rapide ; (8) l'émergence de nouveaux champs d'expertise est régulière et conséquente ; (9) le rôle des experts ne se limite pas à être une ressource pour le décisionnaire ; (10) les rôles des experts diffèrent de façon importante en fonction du type d'innovation (innovation incrémentale ou innovation de rupture) ; (11) la création de nouveaux champs d'expertise s'effectue à l'intérieur de l'organisation : l'expert a pour mission d'influencer les orientations de recherche dans les laboratoires publics plutôt que de récupérer des connaissances pour ensuite les intégrer dans l'entreprise.

Deuxièmement, en nous appuyant sur la théorie des graphes pour analyser 647 sujets de thèses CIFRE chez STMicroelectronics sur une période de douze ans (entre 2004 et 2015), nous avons **mis au jour des phénomènes tout à fait originaux concernant l'émergence de nouvelles expertises**. Contrairement aux modèles classiques de type *« recherche fondamentale / recherche appliquée »* ou *« capacité d'absorption »*, chez STMicroelectronics l'émergence d'expertise n'est pas une sorte de *« génération spontanée »* à la suite de quoi le nouveau champ d'expertise se constituerait progressivement un réseau de relation avec les autres expertises existantes. D'autre part, ce nouveau champ d'expertise n'est pas non plus une amélioration des champs d'expertise existants. Chez STMicroelectronics, **l'émergence d'expertise s'effectue en provoquant une réorganisation et une restructuration profonde des structures d'expertise existantes**. Autrement dit, le nouveau champ d'expertise émerge de la recomposition des relations d'interdépendance entre les différents champs d'expertises existants.

Proposition d'un modèle formel pour la modélisation de l'émergence de l'expertise et de son influence sur le potentiel d'innovation des firmes

Afin de rendre compte de ces différentes formes d'émergence d'expertise et d'établir leurs influences sur le potentiel d'innovation des organisations industrielles, nous avons proposé un modèle formel intégrateur. Celui-ci a pour objectif de rendre compte de la dynamique des structures d'expertise et de modéliser l'ensemble des formes d'émergence d'expertise : émergence d'expertise sans réorganisation des structures d'expertise et émergence d'expertise avec réorganisation profonde des structures d'expertise. D'autre part, ce modèle nous permet de mettre en évidence le potentiel de générativité de la structure d'expertise.

Afin de caractériser la structure d'expertise uniquement par des relations de dépendances et d'interdépendances, nous avons proposé un modèle formel qui s'appuie sur la théorie des matroïdes. En nous appuyant sur les deux principaux opérateurs de la théorie des matroïdes, *extension* et *co-extension*,

nous avons proposé quatre modèles de l'émergence de l'expertise qui se différencient selon la dynamique de leurs structures d'expertise et de leur générativité. Ce modèle révèle qu'un régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise permet d'augmenter la générativité des structures d'expertise (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise).

Enfin, à partir de ce modèle formel, **nous déduisons de nouveaux enjeux managériaux pour la gestion d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise** : (1) pilotage d'une exploration d'un champ d'innovation focalisé sur de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif ; (2) gestion d'une exploration d'un champ d'innovation ayant pour vocation de faire émerger de nouveaux champs d'expertise ; (3) pilotage de processus de légitimation institutionnelle visant à valoriser l'émergence de proto-expertises dans l'organisation ; (4) gestion des réorganisations des structures d'expertise ; (5) coordination, collaboration des experts de différents domaines d'expertise ; (6) gestion et anticipation des degrés de transformation des structures d'expertise ; (7) reconnaissance du rôle stratégique des experts ; (8) gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation.

Proposition d'un modèle de gouvernance de l'émergence de l'expertise : la *société proto-épistémique d'experts*

A partir **des idéaux-types de communauté et société** (Tönnies, 1957), nous proposons d'introduire le concept de ***société proto-épistémique d'experts***. Ce concept se construit par opposition au concept de *communauté épistémique d'experts*. Une *communauté épistémique d'experts* peut se définir comme un groupe d'individus partageant un même domaine d'expertise permettant une compréhension partagée et ayant un objectif cognitif commun de création de connaissances dans un champ d'expertise spécifique. A l'inverse, le concept de *société proto-épistémique d'experts* se caractérise comme un groupe d'individus partageant des domaines d'expertise différents et ayant pour objectif cognitif commun de **faire émerger une nouvelle proto-expertise et de réorganiser les relations d'interdépendances d'expertise afin de provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs.*** Ainsi, la *société proto-épistémique d'experts* est un modèle de gouvernance ayant vocation à piloter et à organiser un régime d'émergence d'expertise capable de contribuer à la déstabilisation et à la révision des *dominant designs* existants (régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise).

Pour cela, la *société proto-épistémique d'experts* doit être reconnue institutionnellement dans l'organisation : sa mission doit être claire et partagée par l'ensemble des membres de l'organisation, les membres de la *société proto-épistémique* doivent être identifiables, les règles de gestion et de coordination à l'intérieur et à l'extérieur de la *société proto-épistémique* doivent être explicites et admises par tous.

Par ailleurs, la *société proto-épistémique d'experts* est une réponse aux enjeux managériaux qu'impose un régime d'émergence d'expertise basé sur la réorganisation des structures d'expertise. Ainsi, la *société proto-épistémique d'experts* a pour objectif d'organiser des stratégies d'exploration de champs d'innovation, non pas centrées sur la création de produits, mais sur **la conception de nouvelles structures d'expertise à fort potentiel génératif**. D'autre part, étant donné la nature des structures d'interdépendance des expertises, la *société proto-épistémique d'experts* a pour but d'instituer, de gérer et de

piloter les **réorganisations des relations d'interdépendances entre les expertises** pour provoquer la rupture des *dominant designs*. Ainsi, il ne s'agit plus de constituer des stratégies d'exploration propre à chaque domaine d'expertise, indépendamment des autres domaines. Dans ce contexte, la *société proto-épistémique d'experts* permet d'organiser et de gérer **la coordination, la collaboration et l'action collective des experts quels que soient leurs domaines d'expertise respectifs**. En outre, la *société proto-épistémique d'experts* permet la gestion de processus visant l'émergence **de nouvelles proto-expertises dans l'organisation,** tout en permettant de contrôler **le degré de transformation des structures d'expertise afin de maintenir une certaine cohérence entre les différentes expertises.**

Enfin, en tant que collectif d'experts s'appropriant de nouvelles missions pour contribuer à augmenter le potentiel d'innovation de l'organisation, la *société proto-épistémique d'experts* n'est pas seulement un système de gouvernance de l'émergence de l'expertise. En devenant le garant de l'existence de projets d'innovation de rupture dans l'organisation, elle influence la gouvernance de l'entreprise. En se fixant pour objectif de coordonner les experts afin d'organiser le pilotage stratégique du renouvellement des expertises pour favoriser les innovations de rupture dans l'organisation, d'une certaine mesure, celle-ci se rapproche de l'Etat-Major Fayolien. En effet, en proposant un panorama de champs d'innovation aussi exhaustif que possible, la *société proto-épistémique d'experts* n'agit pas sur ordre de la direction mais participe à l'élaboration de nouveaux « programmes d'actions » pour l'entreprise. Ainsi, en voulant précisément organiser la *recherche conceptive* dans les entreprises, le concept de *société proto-épistémique d'experts* semble incarner le renouveau de la doctrine fayolienne dans les organisations du XXIe siècle.

IMPLICATIONS MANAGERIALES

En se basant sur le concept de *société proto-épistémique d'experts*, nous avons expérimenté, chez STMicroelectronics, un nouveau dispositif de gestion permettant d'assurer l'émergence d'expertise en situation d'innovation intensive : **le *Technical Staff College.*** Ce dispositif a été co-construit par une équipe composée d'experts (membres de la filière technique), de managers, de directeurs de l'innovation, de responsables des ressources humaines et des chercheurs en sciences de gestion. Cette nouvelle structure organisationnelle vise à dépasser les outils traditionnels de la gestion des experts et de l'expertise, tels que la double échelle, et à organiser le pilotage de l'émergence et du renouvellement des expertises pour l'innovation de rupture.

Les objectifs de cette nouvelle entité organisationnelle sont de renforcer l'efficacité et l'impact des experts au sein de l'organisation. Ainsi, cette structure organisationnelle a pour principales missions d'appréhender les besoins et les enjeux managériaux que la *société proto-épistémique d'experts* se doit de supporter, et qui ont été mis en évidence dans le cadre d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise :

- Piloter et organiser le renouvellement des expertises pour l'innovation.
- Gérer la dynamique des expertises au sein de l'organisation.
- Gestion des ressources pour l'exploration organisée de champs d'innovation
- Fédérer l'ensemble des membres du personnel techniques (experts).

- Motiver les membres du personnel technique.
- Accompagner, valoriser et soutenir les projets d'innovation incrémentale et de rupture.
- Reconnaître le rôle stratégique des experts.
- Organiser le partage des connaissances et la formation du personnel technique.

Chez STMicroelectronics, le *Technical Staff College* se compose de trois entités principales :

- ***Board of Fellows :*** en charge de coordonner les activités du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts du niveau *Fellow*.
- ***Technical Staff Network :*** en charge de participer aux activités liées aux missions du *Technical Staff College*. Cette entité est composée de l'ensemble des experts de l'organisation.
- ***Advisory Board :*** en charge d'apporter des conseils spécifiques et d'apporter le support nécessaire pour le développement des activités du *Technical Staff College*.

Le principe de fonctionnement de cette organisation repose sur sept groupes de travail, appelés *Technical Staff Office*. Chaque *Office* est géré par un ou plusieurs experts de niveau *Fellow* et tous les membres du personnel technique sont invités à participer aux activités d'un ou plusieurs *Offices*. Cette participation n'est pas obligatoire, mais il s'agit d'un nouveau critère d'évaluation permettant d'évoluer dans l'échelle technique. Cette nouvelle structure organisationnelle a été institutionnalisée au sein de l'organisation, notamment par l'intermédiaire d'une refonte de la charte des experts et de la matrice d'évaluation de la filière technique.

LIMITES DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Les limites de notre recherche portent principalement sur notre matériau de recherche et sur le choix de notre méthodologie de recherche. En optant pour une démarche exploratoire et longitudinale à partir d'une seule étude de cas, nous admettons une limite quant à la généralisation de nos résultats de recherche. Par conséquent, afin de renforcer la validité des résultats et des cadres d'analyse élaborés dans cette thèse, il nous paraîtrait intéressant de les tester sur d'autres terrains de recherche. Par exemple, il pourrait être judicieux d'étudier la dynamique de l'émergence de l'expertise dans des secteurs industriels réputés moins intensif en innovation, parmi lesquels le secteur des transports ferroviaire ou encore l'aérospatiale. Néanmoins, le choix de STMicroelectronics se justifie par son caractère extrême, nous permettant d'analyser, de comprendre et d'expliquer une situation spécifique et complexe et ainsi d'enrichir la connaissance scientifique. En outre, nous estimons que ce cas « extrême » été choisi et analysé avec précision et qu'il constitue une base solide à la constitution d'un « free-standing model », c'est-à-dire un modèle théorique qui paraît plausible en lui-même et pour lequel le cas sert à identifier les principaux paramètres (Siggelkow, 2007). Enfin, le cas n'a pas été choisi pour sa représentativité étant donné qu'il ne vise pas à tester un modèle, mais parce qu'il remet en question le domaine de validité des théories existantes (Eisenhardt & Graebner, 2007).

Par ailleurs, notre étude empirique de l'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics s'est cantonnée à étudier les sujets de thèse CIFRE sur une période de dix ans, ce qui peut nous conduire à

avoir une vision soit sous-estimée, soit surestimée de la dynamique de l'émergence de l'expertise au cours du temps. Ainsi, il nous paraîtrait intéressant de compléter ces données avec d'autres types de données, par exemple des publications scientifiques et des brevets. En outre, il serait judicieux d'étudier ce même type de données dans d'autres entreprises afin de pouvoir comparer les analyses empiriques de la dynamique d'émergence de l'expertise, ainsi que leurs relations avec les modèles théoriques que nous avons proposés.

Sur le plan théorique, le modèle formel que nous avons développé permet de mettre en évidence un phénomène jusqu'ici difficilement interprétable. Cependant la notion de « co-extension des structures d'expertise » pourrait être davantage analysée : la co-extension est-elle plus ou moins facile à piloter en fonction du domaine d'expertise ? Selon les domaines d'expertise, est-ce que toutes les co-extensions engendrent les mêmes effets ? Selon les cas, la co-extension est-elle toujours la stratégie la plus efficace ?

Enfin, l'expérimentation du *Technical Staff College*, résultant de notre recherche-intervention et conçue à partir de notre modèle théorique de la *société proto-épistémique d'experts*, est encore difficilement évaluable. Si l'institutionnalisation du *Technical Staff College* a rencontré un vif intérêt de la part des acteurs, il n'en demeure pas moins que le *Technical Staff College* est encore une jeune institution qu'il s'agira d'évaluer à long terme. D'autant plus que sa potentielle influence dans la gouvernance de l'entreprise peut contribuer à modifier son rôle et ses missions dans l'organisation. Ainsi, ces limites dessinent autant de perspectives de recherche pour approfondir le rôle des experts dans les organisations industrielles.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

En conclusion de ce manuscrit de thèse, nous souhaiterions mettre en avant de nouvelles perspectives de recherche à partir de ces travaux de thèse. Dans notre travail de recherche, nous avons volontairement limité notre périmètre d'étude de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles. Cependant, dans la plupart des secteurs industriels, l'émergence de nouveaux domaines d'expertise ne se limite pas une entreprise en particulier. En effet, nous pouvons penser que l'émergence de nouveaux champs d'expertise dépend fortement de la performance de l'écosystème ou de la filière industrielle, c'est-à-dire de la capacité des entreprises d'une même filière à collaborer pour faire émerger de nouveaux champs d'innovation.

Par ailleurs, le concept de filière industrielle connaît depuis quelques années un regain d'intérêt, aussi bien chez les décideurs publics que chez les chercheurs en sciences de gestion. Initialement proposé dans les années 1950 pour analyser l'industrialisation du secteur agroalimentaire, il s'est ensuite élargi à l'ensemble des industries pour penser l'ensemble des stratégies d'innovation à l'échelle d'un secteur industriel. Aujourd'hui, le concept de filière semble être un cadre d'analyse privilégié pour penser les stratégies d'innovation et les stratégies de renouvellement de l'expertise scientifique et technologique. En effet, la notion de filière permet de mettre en évidence les combinaisons d'acteurs assurant des fonctions techniques et économiques particulières dans le processus d'élaboration d'un bien, depuis la matière première jusqu'au produit final (Aujac, 1960 ; Toledano, 1978 ; Lançon et al., 2016). L'approche en termes

de filière permet également d'analyser la création de valeur ajoutée et sa répartition entre les différents agents, tout en rendant compte des catégories intermédiaires (méso-économique) qui structurent les coordinations des différents acteurs (Lançon et al., 2016). Le concept de filière nous semble d'autant plus intéressant que la compétitivité et l'innovation dans les secteurs industriels de haute technologie sont fortement dépendantes des capacités collectives des firmes à élaborer des stratégies de développement et de renouvellement des connaissances, expertises, savoirs et savoir-faire. Ces réseaux de connaissances et d'expertises et ces capacités collectives de coopération fortement encastrés dans des tissus industriels locaux, définissent le concept de *bien communs industriels*, proposé par Pisano & Shih (2009) : *« a firm's own capabilities and also those of other companies that serve its industry, including suppliers of advanced materials, tools, production equipment, and components. We call these collective capabilities the industrial commons »*. Il revient donc aux différents acteurs de la filière industrielle la responsabilité de concevoir et d'élaborer des institutions qui permettront, dans un premier temps de maintenir ces *biens communs industriels* et dans un second temps de les renouveler. Il se trouve que de récents travaux en sciences de gestion ont mis en évidence des modèles industriels originaux pour le maintien et le développement de capacités d'innovation dans un secteur économique. A partir d'une étude de cas sur l'ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors), Le Masson et al. (2012) mettent en évidence certaines filières (notamment la filière du semi-conducteur) capables d'inventer des organisations visant à stimuler l'innovation de manière répétée et dans la durée. Les auteurs nomment ces organisations *« collèges de l'inconnu »*, afin de souligner que l'enjeu du maintien des capacités d'innovation réside dans la préservation d'un inconnu commun pour susciter l'innovation collective. Ces *« collèges de l'inconnu »* se situent à un niveau intermédiaire entre la firme et le secteur industriel dans son ensemble. Ils permettent aux différents acteurs[108] d'un secteur industriel de collaborer pour faire émerger des innovations et des nouveaux domaines d'expertise. Cela n'empêche pas les entreprises d'identifier des solutions concrètes et de les développer, mais ces organisations visent à faire perdurer un inconnu commun, c'est-à-dire un espace de conception collective (Cogez et al., 2010 ; Agogué, 2012 ; Robinson et al., 2012 ; Le Masson & Weil, 2014).

Par conséquent, il nous paraît intéressant d'explorer de nouvelles problématiques de recherche parmi lesquelles : Quelles peuvent être les relations entre les *« collège de l'inconnu »* et les différentes *sociétés proto-épistémiques d'expert* ? Comment organiser la collaboration entre différents acteurs dont les savoir-faire sont parfois volontairement gardés secret ? Comment organiser l'exploration de nouvelles voies d'innovation à l'échelle de la filière industrielle ? Quelles sont les caractéristiques et les conditions d'une ingénierie du renouvellement des expertises à l'échelle d'une filière industrielle ? Quelles sont les formes de gouvernance et les méthodes de conception innovante collégiale au sein d'une filière industrielle ?

[108] Les acteurs sont généralement en compétition.

Annexes

Annexes 327

Annexe 1 – Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question 329

Annexe 2 – L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise 351

Annexe 3 – Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor 363

Annexe 4 – Questionnaire sur la gestion des experts & la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 389

Annexe 5 – Listes des sujets de thèses CIFRE chez STMicroelectronics de 2004 à 2015 409

Annexe 6 – From FMEA as problem solving to design-oriented process : toward a design perspective of FMEA 429

Annexe 7 – *Disruptive Innovation Exploration Application Form* 441

Annexe 8 – Analyse statistique de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 449

ANNEXE 1 – COMPETENCE, SAVOIR & CONNAISSANCE : DES CONCEPTS EN QUESTION

Annexe 1 – Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question 329

1. Compétence & connaissance dans la théorie des organisations 330

1.1. La théorie béhavioriste de la firme 331

1.2. La théorie évolutionniste 332

1.3. Les compétences en management stratégique 333

1.4. Caractérisation & typologies des compétences et des capacités de la firme 336

2. Compétence & savoir dans la gestion des ressources humaines 340

2.1. La gestion prévisionnelle des emplois et des compétences 340

2.2. De *Job-Based Organizations* à *Competence-Based Organizations* 341

3. Dynamique des connaissances & apprentissage organisationnel 342

3.1. Nature & support des connaissances dans l'organisation 342

3.2. Gérer le *knowing* plutôt que le *knowledge* 343

3.3. De l'apprentissage individuel à l'apprentissage organisationnel 346

3.3.1. L'apprentissage organisationnel et les boucles d'apprentissage d'Argyris & Schön 347

3.3.2. L'apprentissage organisationnel par les routines de Levitt & March 349

3.3.3. L'organisation apprenante de Senge 349

L'enjeu de cette annexe est de parcourir la généalogie de ces différents concepts de compétences, de savoir et de connaissance, afin d'en faire ressortir leurs principales caractéristiques. Nous présenterons subséquemment les différents courants théoriques qui ont fait émerger ces concepts. Nous nous appuyons principalement sur les développements de la théorie des organisations, sur l'approche de la gestion des ressources humaines et sur le courant de l'apprentissage organisationnel. Premièrement, nous nous intéresserons particulièrement à l'expression de ces concepts dans la théorie behavioriste de la firme, dans la théorie évolutionniste du changement économique et dans le champ du management stratégique. D'autre part, nous soulignerons le rôle de ces concepts, en particulier celui de compétence, dans la caractérisation et la qualification des ressources humaines. Enfin, nous terminerons par l'étude des enjeux stratégiques d'apprentissage organisationnel, c'est-à-dire aux processus de création et de formation des savoirs au sein des organisations.

1. COMPETENCE & CONNAISSANCE DANS LA THEORIE DES ORGANISATIONS

Dans la théorie des organisations, l'approche dite *« fondée sur les compétences »* s'est constituée au cours des années 1980 en tant qu'alternative principale aux théories contractuelles de la firme, parmi lesquelles la théorie des coûts de transaction de Williamson (1975), la théorie de l'agence (Jensen & Meckling, 1976) ou encore la théorie des contrats incomplets (Grossman & Hart, 1986 ; Hart & Moore, 1990). Cette nouvelle perspective théorique alternative ne constitue cependant pas une théorie unifiée, mais les différents courants la constituant partagent ensemble une même approche de la firme fondée sur le concept de compétence et sur des dynamiques d'apprentissages individuels et collectifs (Coriat & Weinstein, 2010). Les théories contractuelles de la firme émanent des questionnements et des analyses de Ronald Coase (1937) sur *« la nature de la firme »* : qu'est-ce qu'une firme, et pourquoi les firmes existent elles ? La réponse de Coase propose alors de considérer que la firme constitue un mode de coordination économique alternatif au marché, un mode de coordination basé sur la hiérarchie et non sur le système de prix. Pour les théoriciens de la perspective dite *« fondée sur les compétences »* l'enjeu est plutôt d'expliquer *« pourquoi les firmes diffèrent-elles durablement les unes des autres dans leurs caractéristiques, leur comportement et leurs performances »* (Dosi & Marengo, 1994). L'explication de la dissemblance des firmes se base alors sur la différence de la nature des connaissances et de compétences spécifiques que les firmes sont capables de concevoir, de produire, d'accumuler, et qui constituent leurs ressources essentielles. Dans cette approche, la firme est considérée comme un *« corps de compétences »* et non plus comme un *« nœud de contrats »*. Pour Weinstein (2012), cette approche présente trois traits principaux :

- La firme est un lieu de production où les enjeux de division et de coordination du travail sont essentiels (Marengo & Dosi, 2005).
- Les enjeux de la connaissance et de l'apprentissage prennent une place centrale dans les analyses réduisant ainsi le rôle de l'information en tant qu'objet d'analyse.
- L'analyse de la firme s'effectue dans une perspective dynamique ayant pour objectif de caractériser les comportements et les interactions entre les agents, et d'étudier les organisations.

L'ambition est de comprendre les conditions d'émergence et de transformation de ces organisations ainsi que leurs dynamiques d'évolution.

Bien que la perspective dite *« fondée sur les compétences »* regroupe un large ensemble de propositions et de constructions souvent hétérogènes, on peut cependant identifier trois courants de recherche principaux qui alimentent cette approche. Dans les années 1960, la théorie béhavioriste de la firme (March & Simon, 1958 ; Cyert & March, 1963) constitue l'un des premiers fondements théoriques. L'ambition de cette approche est de déterminer les processus de formation des savoirs au sein des organisations, de caractériser la nature des connaissances et de révéler l'origine de la capacité des firmes à se transformer et à s'adapter aux changements de l'environnement. La théorie évolutionniste initiée par les travaux fondateurs de Nelson & Winter (1982) place, elle aussi, les notions de compétences et d'apprentissages organisationnels au cœur de l'analyse théorique. Pour les économistes évolutionnistes le moteur de l'entreprise n'est pas le profit mais la *« volonté biologique de survie »* face un environnement changeant (Plane, 2013). L'ambition est donc d'étudier les processus d'adaptation au milieu des entreprises, leurs capacités d'innovation, d'apprentissage et d'auto-organisation. Enfin, le troisième courant de recherche relève du champ du management stratégique et trouve son origine dans les théories dites *« fondées sur les ressources »* (Wernerfelt, 1984 ; Barney, 1991) et dans les travaux d'Edith Penrose (1959) sur la croissance de la firme. L'objectif principal de ce courant est d'expliquer comment les entreprises sont capables d'acquérir et de conserver un avantage concurrentiel durable.

1.1. LA THEORIE BEHAVIORISTE DE LA FIRME

Pour les tenants du courant behavioriste, l'entreprise doit être pensée comme étant une structure singulière et organisée pour la prise de décision. Cette conception de la firme vise à expliquer l'existence d'évolutions et de performances différentes entre firmes, y compris lorsqu'elles font parties d'un même secteur d'activité (Coriat & Weinstein, 2010). L'ambition est alors d'expliquer comment les informations sont recueillies et traitées au sein de l'organisation. La firme s'envisage ainsi comme processeur d'information, capable d'organiser et de gérer des processus de prise de décision. Contrairement à l'approche de la firme « boite noire »[109] de la théorie économique néo-classique, March & Simon (1958) défendent l'idée selon laquelle la firme est un lieu de prises de décision et d'apprentissage collectif qui dépendent des interactions entre individus qui la compose. De plus, les auteurs insistent sur le fait que la firme est un lieu de conflit d'intérêts dès lors que les préférences, les informations et les connaissances diffèrent entre les agents.

> *"A system of coordinated actions among individuals and groups whose preferences, information and knowledge differ" (March & Simon, 1993).*

Le mécanisme de prise de décision est donc un processus imprévisible qui dépend des coalitions et des négociations entre les différents individus et groupes (dirigeants, chefs de projets, experts, financiers, commerciaux, etc.) constituant l'organisation.

[109] Dans la théorie de l'équilibre général l'entreprise est assimilée à un agent économique individuel. La firme de ne joue pas un rôle central : seuls les inputs (capital, travail, matières premières, etc.) et les outputs (quantité de biens, etc.) comptent.

"Organization theories describe the delicate conversion of conflict into cooperation, the mobilization of resources and the coordination of efforts that facilitate the joint survival of an organization and its members" (March & Simon, 1993).

1.2. La theorie evolutionniste

A partir des travaux liés au courant behavioriste, les évolutionnistes vont proposer de nouveaux développements et introduire une nouvelle vision de la firme : la firme comme processeur de connaissances. Pour l'école évolutionniste, la firme ne peut se circonscrire à une structure organisationnelle dédiée à la gestion d'information et à la prise de décision. La firme doit être pensée comme un réservoirs de compétences, capable d'organiser la coordination et le traitement des connaissances au sein de l'organisation. La différence entre information et connaissance est fondamentale (Cohendet & Llerena, 1999). Cette distinction a été introduite notamment dans les travaux de Machlup (1983). Selon l'auteur, l'information peut se concevoir comme étant un flux (de messages) alors que la connaissance se conçoit comme un stock résultant en partie d'un flux d'information, mais pas seulement. Un flux d'information peut modifier le stock de connaissances existant, soit par un principe d'accumulation ou en imposant une restructuration en profondeur de ce stock. La connaissance est donc d'abord une structure complexe composé d'ensembles connectés et interdépendants les uns des autres.

"We cannot regard knowledge as simply the accumulation of information in a stockpile, even though all messages that are received by the brain may leave some sort of deposit there. Knowledge must itself be regarded as a structure, a very complex and frequently quite loose pattern, ... with its parts connected in various ways by ties of varying degrees of strength. Messages are continually shot into this structure; some of them pass right through its interstices ... without effecting any perceptible change in it. Sometimes messages "stick" to the structure and become part of it... Occasionally, however, a message which is inconsistent with the basic pattern of the mental structure, but which is of a nature that it cannot be disbelieved hits the structure, which is then forced to undergo a complete reorganization." (Boulding, 1955 pp. 103-104, cité dans Machlup, 1983 p. 643).

Ainsi, dans la théorie évolutionniste, ce qui distingue les firmes les unes par rapport aux autres se caractérise par la nature et l'ampleur du réservoir de compétences (mécanismes de coordination et de traitement des connaissances). Pour les évolutionnistes, la variété de natures et de performances des firmes ne résulte non pas de la délibération entre les différents agents ; mais de procédures « routinières » résultant des interactions et des apprentissages entre les différents individus composant la firme. Nelson & Winter (1982) désignent ces procédures par le terme de *routines* ou de *routines organisationnelles*. Si la notion de routine existait déjà dans les travaux de Cyert & March (1963), celle-ci était circonscrite aux mécanismes de traitement des informations dans les processus de prise de décision. Dans le courant évolutionniste, **le concept de routine désigne un ensemble de savoir-faire, de protocoles répétitifs pour la mise en œuvre des connaissances**. Les routines sont à la fois le stock de connaissance et la capacité de mobilisation de ce dernier dans une activité donnée (Lazaric, 2010). Elles se caractérisent aussi comme étant la mémoire organisationnelle de l'organisation, i.e. une sorte d'ADN de l'organisation.

D'autre part, les auteurs distinguent aussi le concept de routines organisationnelles par analogie avec les compétences ou les « skills » des individus : *"Individual skills are the analogue of organizational routines"* (Nelson & Winter, 1982). Pour Nelson & Winter (1982), les routines (individuelles ou organisationnelles) ont essentiellement une dimension cognitive. Dans cette perspective, les routines s'assimilent à des connaissances accumulées, cristallisées dans des *« organization members »* (Nelson & Winter, 1982 p.97). Le terme *« organization member »* peut aussi bien désigner les individus que des groupes de travail, des objets, des machines et toutes sortes de dispositifs appartenant à une organisation. En tant que ressources spécifique de la firme et répertoire collectif de compétences, les routines sont difficilement reproductibles (Winter, 1995).

Comme l'indique Lazaric (1999), *« le caractère situé de l'apprentissage rend les routines hautement dépendantes du contexte dans lequel elles ont été produites »*. Les connaissances ainsi conservée dans les routines peuvent être *« articulées »* ou *« tacites »*. Les connaissances sont articulables si elles peuvent être transmissibles par l'intermédiaire d'un langage symbolique ou formel. Elles ne le sont pas si la retranscription est impossible (articulation non réalisée par manque de volonté des acteurs ou articulation trop couteuse et donc non envisagée). Le concept de connaissance tacite est emprunté à Michaël Polanyi (1958). La connaissance tacite, par opposition à la connaissance explicite ou articulée, exprime une connaissance informulée, basée sur la pratique et le vécu (Lazaric, 1999). L'introduction de ce concept dans la définition des routines permet de mettre en évidence une nouvelle facette de la nature des savoirs de l'entreprise**. Ces savoirs, définis comme étant la frontière entre ce qu'une entreprise peut concevoir, réaliser et produire et ce qu'elle ne peut pas réaliser, sont fortement contextualisés et n'existent que dans les pratiques.** Cette conception renouvelée de la nature des savoirs de la firme permet notamment de remettre en question la vision néo-classique de la firme, dans la mesure où celle-ci s'appuie sur deux métaphores liées : (1) *« l'annuaire des techniques »*, suggérant que les connaissances sont complètement articulables et disponibles à tout moment, (2) *« l'ingénieur chef »*, suggérant qu'il est possible d'effectuer un choix pleinement informé sur l'ensemble des savoirs dont la firme dispose, sans qu'il existe de problèmes particuliers de mise en œuvre (Manglote, 1998).

Le concept de connaissance tacite participe ainsi à éclairer ce qui fonde la variété, la performance et la spécificité des firmes. Ce concept illustre que la connaissance tacite constitue le lien de dépendance entre le passé de la firme et son futur, que la transformation de la firme passe nécessairement par l'acquisition de nouvelles connaissances, elles-mêmes largement dépendantes des connaissances déjà accumulées dans la firme. Ainsi, il contribue à expliquer la nature et la forme des trajectoires d'évolution des firmes.

1.3. LES COMPETENCES EN MANAGEMENT STRATEGIQUE

Dans les années 1980, un renouveau du discours stratégique a émergé dans la littérature en management stratégique. Ce renouveau théorique, en partie en réaction aux travaux de Michael Porter (1980), est basé sur l'idée selon laquelle les concepts de ressources, de routines et de compétences de la firme doivent faire l'objet d'une théorie pour penser les enjeux d'acquisition et de conservation de l'avantage concurrentiel durable des firmes. La théorie dite *« fondées sur les ressources »* ou *Resource-Based*

View (RBV) est le courant fondateur de l'approche ressources et compétences. Ce premier courant est représenté par les travaux de Wernerfelt (1984) et de Barney (1986, 1991). Le point de départ de ce courant repose sur les développements d'Edith Penrose (1959), selon lesquels la firme ne peut pas se circonscrire à une fonction de production. Pour Penrose, la firme est une entité organisée et administrée, mais pas seulement, elle est aussi une entité constituée de différents types de ressources dont l'exploitation peut être diverse et variée.

> *"The activities of the groups which we call an industrial firm are further distinguished by their relation to the use of productive resources for the purpose of producing and selling goods and services. Thus, a firm is more than an administrative unit; it is also a collection of productive resources the disposal of which between different uses and over time is determined by administrative decision" (Penrose, 1959 p. 24).*

Pour Penrose (1959) les ressources désignent un ensemble d'actifs tangibles et intangibles mobilisables par la firme, pour la réalisation de ces objectifs et l'amélioration de ses performances. Dans son article séminal, Wernerfelt (1984) reprendra cette définition des ressources en y apportant quelques exemples, parmi lesquels la marque, les connaissances technologiques, les compétences des employés, le capital, les procédures, etc.

> *"By a resource is meant anything which could be thought of as a strength or weakness of a given firm. More formally, a firm's resources at a given time could be defined as those (tangible and intangible) assets which are tied semi-permanently to the firm (see Caves, 1980). Examples of resources are: brand names, in-house knowledge of technology, employment of skilled personnel, trade contacts, machinery, efficient procedures, capital, etc." (Wernerfelt, 1984 p.172).*

Dans ce courant, la stratégie dépend essentiellement des ressources et compétences idiosyncratiques dont la firme dispose, et non plus exclusivement de l'analyse des facteurs environnementaux. De son côté Barney (1986, 1991) clarifia la définition de ressource en désignant par ce terme l'ensemble des actifs, capacités, processus organisationnels, attributs de la firme, informations, avoirs, contrôlés par une firme qui lui permettent de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies qui améliorent son bon fonctionnement et son efficacité. De leurs côtés, Amit & Schoemaker (1993) s'intéressent à la nature des propriétés et des caractéristiques des ressources. Ils mettent en évidence que les ressources stratégiques sont rares, difficiles à imiter et à acquérir.

La littérature s'intéresse aussi à proposer plusieurs typologies de ressources. Barney (1991) distingue trois catégories de ressources : les ressources de capital physique, les ressources de capital humain et les ressources de capital organisationnel. Eriksen & Mikkelsen (1996) utilisent la trichotomie suivante : ressources tangibles (capital, usine, etc.), ressources intangibles (marques, brevets, etc.) et la connaissance des produits et processus. Quant à Gant (1991), il retient six catégories de ressources : ressources financières, ressources humaines, ressources physiques, ressources organisationnelles, ressources technologiques, et ressources de réputation. De nombreux auteurs, parmi lesquelles Peteraf

(1993), Foss (2000) et Makadok (2001), ont par la suite tenté de clarifier la définition et les propriétés des ressources stratégiques. En ce qui nous concerne, nous retenons la définition suivante :

Le **concept de ressource** désigne l'ensemble des actifs détenues et mobilisables par la firme, souvent rares et difficiles à imiter ou à acquérir, lui permettant de mettre en œuvre des stratégies pour la réalisation de ses objectifs et pour l'amélioration de son fonctionnement et de son efficacité.

Dans le prolongement de la RBV, de nouveaux développements vont émerger en se focalisant particulièrement sur les ressources difficilement échangeables. Dans la *« Knowledge-Based View »* (KBV) et la *« Compentence-Based View »* (CBV), initiées par Demsetz (1988), Conner & Prahalad (1996), Spender (1996) et Kogut & Zander (1996), les auteurs s'intéressent tout particulièrement aux ressources intangibles que sont les connaissances et les compétences. L'accent est mis sur les enjeux de la dynamique des organisations. Si dans la RBV le cadre d'analyse est statique, dans les développements les plus récents l'ambition est d'élaborer un cadre dynamique pour penser les conditions de création, de modification, de transformation et d'évolution des connaissances et des compétences des firmes. Ainsi, du concept de ressource, on passe aux concepts de compétence ou de capacité, que l'on retrouve dans la littérature anglo-saxonne sous les terminologies suivantes : *competences*, *capability* et *capacity*. Les concepts de compétence ou de capacité sont définis en tant qu'aptitude à mobiliser des ressources pour accomplir une tâche ou une activité (Grant, 1991). Ces concepts tentent d'illustrer le fait que la simple possession d'une ressource ne saurait garantir l'accès aux bénéfices que celle-ci pourrait procurer. Pour exploiter une ressource, la firme se doit d'être en capacité d'utiliser et d'appliquer des connaissances, de maîtriser des technologies et des méthodes de productions, de maîtriser des dispositifs de gestion, de contrôler et de piloter la coordination des individus et des différents groupes de travail, d'anticiper les besoins et les futures tendances du marché, etc. Pour Chandler (1990), les capacités organisationnelles sont aussi bien les installations physiques (machines, laboratoires, etc.) que les compétences humaines des individus composant l'organisation.

> *"At the core of this dynamic were the organizational capabilities of the enterprise as a unified whole. The organizational capabilities were the collective physical facilities and human skills as they were organized within the enterprise. These included the physical facilities in each of the many operating units – the factories, offices, laboratories - and the skills of the employees working in such units" (Chandler, 1990 p. 594).*

Le **concept de capacité** est défini comme étant l'ensemble des ressources et des aptitudes organisationnelles de mise en œuvre d'actifs (savoirs, ressources, connaissances, etc.) pour la création, la conception et la production de produits ou de services.

De son côté, Leonard-Barton (1992) identifie quatre dimensions des compétences des firmes : (1) « *Employee knowledge and skills* » ; (2) « *Physical technical systems* » (équipements, logiciels, bases de données, etc.) ; (3) « *Managerial systems* » (structure organisationnelle, règles, systèmes d'incitation, etc.) ; (4) « *Value and norms* » (« *system of castes and status, rituals of behavior and passionate beliefs* »). Enfin, Lowendahl et Haanes (1997) définissent la compétence comme *« an ability to sustain the coordinated deployment of assets in a way that helps a firm to achieve its goals »*.

Le **concept de compétence** est défini comme étant l'ensemble des activités de la firme permettant le déploiement coordonné des actifs pour l'accomplissement de ses objectifs.

Le tableau ci-dessous [Tableau 42], proposé par Johnson et al. (2014), permet de visualiser les relations entre les concepts de ressources, de compétences et de capacité stratégique.

Capacité stratégique		
Ressources : ce que la firme possède		**Compétences : ce que la firme sait faire**
Machines, bâtiments, matières premières, produits, brevets, bases de données, systèmes d'information	Physiques	Compétences industrielles, efficience, productivité, flexibilité, marketing
Actifs, trésorerie, investisseurs	Financières	Capacité à lever des fonds et à gérer des flux de trésorerie, des créancier, des débiteurs, etc.
Managers, employés, partenaires, fournisseurs, clients	Humaines	Comment les individus acquièrent de l'expérience, des connaissances, des savoir-faire, construisent des relations, motivent et innovent

Tableau 42 : Relations entre les concepts de ressources, de compétences et de capacité stratégique (Johnson et al., 2014).

1.4. Caracterisation & typologies des competences et des capacites de la firme

Les définitions ci-dessus nous ont permis de mettre en évidence que les ressources existent indépendamment de leurs usages, alors que les compétences expriment une intention d'atteindre des objectifs par l'action. Si certaines ressources sont consommées par les usages, les compétences s'accumulent et se développent au cours de leurs utilisations (Tarondeau, 2002). Aussi, c'est l'accumulation des apprentissages, des savoirs organisationnels et individuels, qui permettent de générer les capacités et les compétences de la firme. Comme l'illustre la figure ci-dessous [Figure 150], les

ressources, notamment le savoir, deviennent des capacités dès lors qu'elles sont combinées, intégrées et coordonnées dans le contexte d'une activité (Lowendahl & Haanes, 1997).

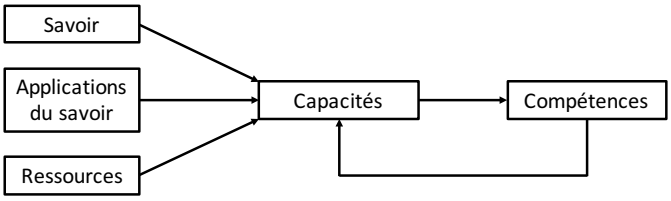


Figure 150 : Ressources, capacités, savoir et compétences (Tarondeau, 2002).

Ainsi, ce n'est pas seulement la possession de ressources qui expliquent la performance des firmes, mais bien l'exploitation et le développement continu des compétences dans différents domaines d'activités.

Dans la littérature, le **concept de savoir** fait lui aussi l'objet de multiples définitions et interprétations. Les définitions se basent généralement sur des distinctions duales de la nature des savoirs : savoir individuel/savoir organisationnel ; savoir tacite/savoir codifié ; etc. (Nonaka, 1994 ; Nonaka & Hirotaka, 1995). Avec Tarondeau (2002), nous définissons le savoir individuel comme étant *« l'ensemble des croyances d'un individu sur les relations de cause à effet entre phénomènes »*. De même, le savoir organisationnel se définit comme *« l'ensemble des croyances partagées au sein d'une organisation sur les relations causales entre phénomènes »* (Tarondeau, 2002).

Le **concept de savoir (individuel/organisationnel)** se définit comme l'ensemble des croyances **(d'un individu/partagées au sein d'une organisation)** sur les relations causales entre phénomènes.

Dans cette vision, le savoir et l'application du savoir dans l'action constituent les capacités et les compétences. Comme le remarque Pelletier (1996), les compétences relèvent de l'ordre du *« comment »* et les savoirs de l'ordre du *« pourquoi »* [Tableau 43].

Compétences **(ordre du « comment »)**	**Savoirs** **(ordre du « pourquoi »)**
« Les compétences sont des habiletés, des savoir-faire, susceptibles d'être mobilisés par l'acteur pour l'intervention. Les compétences relèvent de l'ordre du « comment » [...] » (Pelletier, 1996)	*« Les savoirs sont des référentiels d'analyse des codes et métacodes susceptibles d'être mobilisés pour la compréhension de l'action. Les savoirs relèvent de l'ordre du « pourquoi » [...] »* (Pelletier, 1996)

Tableau 43 : Compétences & savoirs (Pelletier, 1996)

D'autre part, certains savoirs sont qualifiés de *tacites* ou de *codifiés* (ou *explicites*). Cette distinction existe déjà dans les travaux de Polanyi (1958), mais elle est rendue célèbre en management par les travaux de Nonaka (1994) :

> *"Explicit or codified knowledge refers to knowledge that is transmittable in formal, systematic language. On the other hand, tacit knowledge has a personal quality, which makes it hard to formalize and communicate. Tacit knowledge is deeply rooted in action, commitment, and involvement in a specific context" (Nonaka, 1994 p. 16)*

Nonaka (1994) identifie donc un ensemble de connaissances qui ne peut pas être géré selon des méthodes classiques de transfert d'information. En effet, si les connaissances ou savoirs explicites peuvent être codifiés de telle sorte qu'ils puissent faire l'objet de transmission, ce n'est pas le cas des connaissances ou savoirs tacites. Les savoirs tacites ne peuvent pas être codifiés dans un langage permettant la transmission. Ils se transmettent principalement par l'imitation et par l'expérience.

Au-delà des définitions générales, il nous semble important d'exprimer plus finement l'évolution et la diversité des concepts de compétences et de capacités que l'on retrouve dans la littérature. Le tableau 44 regroupe les principales notions et définitions des différents concepts utilisés dans la littérature en management stratégique.

Concepts	Référence/Auteurs	Définition
Core competence	Prahalad & Hamel (1990)	*"a core competence provides potential access to a wide variety of markets"; "a core competence should make a significant contribution to the perceived customer benefits of the end product"; "a core competence should be difficult for competitors to imitate. And it will be difficult if it is a complex harmonization of individual technologies and production skills"; "core competencies are built through a process of continuous improvement and enhancement that may span a decade or longer."*
Core competence	Mahoney (1995)	*"Core competencies are a function of the tacit understanding, skills, and resources that a firm accumulates over time. Core competencies that accumulate over time must satisfy a customer need better than a competitor."*
Core capabilities/core rigidities	Leonard-Barton (1992)	*"core capabilities such as 'unique,' 'distinctive,' 'difficult to imitate,' or 'superior to competition' render the term self-explanatory, especially if reference is also made to 'resource deployment' or 'skills.'"*
Combinative capabilities	Kogut & Zander (1992)	*"The capability to create new applications to address changes in the environment."*
Architectural competence	Henderson & Cockburn (1994)	*"The ability to use these component competencies – to integrate them effectively and to develop fresh component competencies as they are required."*
Dynamic capabilities	(Teece, Pisano & Shuen, 1997)	*"The firm's ability to integrate, build, and reconfigure internal and external competences to address rapidly changing environments. Dynamic capabilities thus reflect an organization's ability to achieve new and innovative forms of competitive advantage given path dependencies and market position."*
Dynamic capabilities	(Eisenhardt & Martin, 2000)	*"The firm's processes that use resources - specifically the processes to integrate, reconfigure, gain and release*

		resources - to match and even create market change. Dynamic capabilities thus are the organizational and strategic routines by which firms achieve new resource configurations as markets emerge, collide, split, evolve, and die."
Dynamic capabilities	(Teece, 2007)	*"The capacity (1) to sense and shape opportunities and threats, (2) to seize opportunities, and (3) to maintain competitiveness through enhancing, combining, protecting, and when necessary, reconfiguring the business enterprise's intangible and tangible assets."*

Tableau 44: Définitions des principaux concepts de compétence et de capacité utilisées dans la littérature en stratégie

Ces différents concepts permettent de clarifier et de spécifier plus strictement ce que sont les compétences, ainsi que leurs rôles dans la caractérisation des performances des firmes. La notion de *« core competence »*, très présente dans la littérature, permet de distinguer deux types de compétences stratégiques : (1) les compétences qui dans un secteur industriel sont nécessaires et indispensables pour la survie de la firme, mais **qui ne sont pas spécifiques à une firme** ; (2) les **compétences spécifiques à une firme** et qui peuvent, dans un secteur industriel, offrir un avantage durable sur ses concurrents. La notion de *« core competence »* met l'accent sur le deuxième type de compétence. Pour Leonard-Barton (1992), les compétences – qu'elle appelle plutôt *« core capabilities »* – sont créées au cours d'activités. Elle identifie quatre principales activités : (1) la résolution de problème ; (2) l'intégration de procédés ; (3) l'expérimentation de savoir et (4) l'importation de savoir. Selon l'auteur, ces activités permettent de résoudre le paradoxe des *« core capabilities »* qui, parce qu'elles sont le cœur de l'entreprise, peuvent à tout moment se figer dans des routines et se transformer en *« core rigidities »*, empêchant ainsi tout renouvellement des compétences. D'autre part, comme le remarque Warnier (2005), l'ensemble des définitions sur les compétences et les capacités partagent trois principales caractéristiques : (1) les définitions insistent sur la dimension processuelle de la compétence (capacité de mise en œuvre qui résulte d'un apprentissage) ; (2) la compétence est un ensemble de ressources qui sont combinées et assemblées ; (3) la coordination entre les ressources est au cœur des définitions. Enfin, le concept de *« dynamic capabilities »* ou de *compétences dynamiques* met en évidence les enjeux d'émergence et de modification des compétences d'une firme. Pour Teece et al. (1997), les *compétences dynamiques* caractérisent les aptitudes d'une firme à intégrer, construire, reconfigurer les compétences internes et externes pour répondre aux rapides changements de l'environnement. Pour Eisenhardt & Martin (2000), les *compétences dynamiques* sont avant tout des routines organisationnelles et stratégiques permettant de reconfigurer les ressources. Par exemple, les routines de développement de produits, une organisation dédiée à la création de nouveau produits, les processus de décision stratégique, les routines de transfert de connaissances sont des *compétences dynamiques.*

Le **concept de capacité dynamique** illustre l'aptitude d'une firme à intégrer, construire et reconfigurer les compétences internes et externes pour répondre aux rapides changement de l'environnement (Teece et al., 1997).

2. COMPETENCE & SAVOIR DANS LA GESTION DES RESSOURCES HUMAINES

En science de gestion, les concepts de compétence, de savoir et de connaissance ne sont pas seulement l'apanage du management stratégique et de la théorie des organisations. Les notions de compétence et de savoir sont elles aussi très présentes dans littérature en sociologie du travail et en gestion des ressources humaines (GRH). De plus, comme l'ont montré certains auteurs (Durand, 1997 ; Meschi, 1997 ; Cazal & Dietrich, 2003 ; Stankiewicz, 2003), les concepts de compétence et de savoir recouvrent des significations souvent différentes en management stratégique et dans le champ de la GRH.

En GRH, le terme de compétence n'a pas vraiment d'équivalent dans la littérature anglophone, excepté le terme *skill* qui semble s'en rapprocher le plus. Bien que dans les deux courants, les compétences et le savoir sont perçus comme étant des ressources essentielles pour les organisations, pour la GRH il s'agit avant tout de compétences et de savoir individuels. En GRH, les compétences individuelles ou professionnelles servent à qualifier et à gérer les ressources humaines. En outre, les responsables des ressources humaines se cantonnent souvent à un rôle ayant pour objectif d'assurer le soutien, la reconnaissance et la valorisation des compétences des salariés. Dans ce sens, le terme de compétences des salariés correspond aux savoirs, savoir-faire et savoir-être détenus par les individus membres de l'organisation. Pour Cazal & Dietrich (2003), le concept de compétence en GRH désigne *« un savoir en acte dans un contexte donné, finalisé par des objectifs, et permettant d'interroger les interactions individu-organisation, notamment au travers des règles d'organisation du travail »*. Finalement, le concept de compétence *« exprime la conformité du comportement attendu à une situation donnée. […] La compétence est indissociable de l'action, dont elle assure la réussite, et des contextes d'action dans laquelle elle se construit et s'éprouve »* (Cazal & Dietrich, 2003).

2.1. LA GESTION PREVISIONNELLE DES EMPLOIS ET DES COMPETENCES

Cette vision de la compétence se retrouve notamment dans les outils et les instruments de gestion des ressources humaines. Dans la *Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences* (GPEC), instrument de gestion apparu en France dans les années 1990, la notion de compétence traduit à la fois les besoins (les compétences requises) et les ressources (les compétences acquises). Enfin, l'ensemble des termes classiques de la GRH se décline suivant le langage des compétences : de l'acquisition de compétences (recrutement) à leur cession (licenciement), en passant par leur développement (formation) (Gilbert, 1999, 2012). L'ambition principale de la GPEC est de « gérer l'incertitude » concernant l'évolution de la nature des activités et des emplois. L'objectif est de favoriser les capacités d'adaptation à un environnement en perpétuel évolution et de développer l'employabilité en interne et en externe des salariés de l'entreprise. Le développement en interne correspond à l'amélioration de la polyvalence et à l'accroissement de la mobilité fonctionnelle des salariés, notamment pour prévenir l'exclusion de certains. Le développement en externe permet d'accompagner le salarié dans l'acquisition de nouvelles compétences reconnues et valorisables, notamment à l'extérieur de l'entreprise. Généralement, la GPEC s'accompagne d'un référentiel de compétences, résultant de l'analyse des activités dans l'organisation et décrivant les compétences requises pour la réalisation de ces dernières. Le plus souvent, les compétences sont

hiérarchisées et regroupées par grand domaine (technique, stratégique, organisationnel, etc.). Ainsi, ce référentiel constitue un outil de pilotage pour la gestion des compétences des individus de l'entreprise [Figure 151].

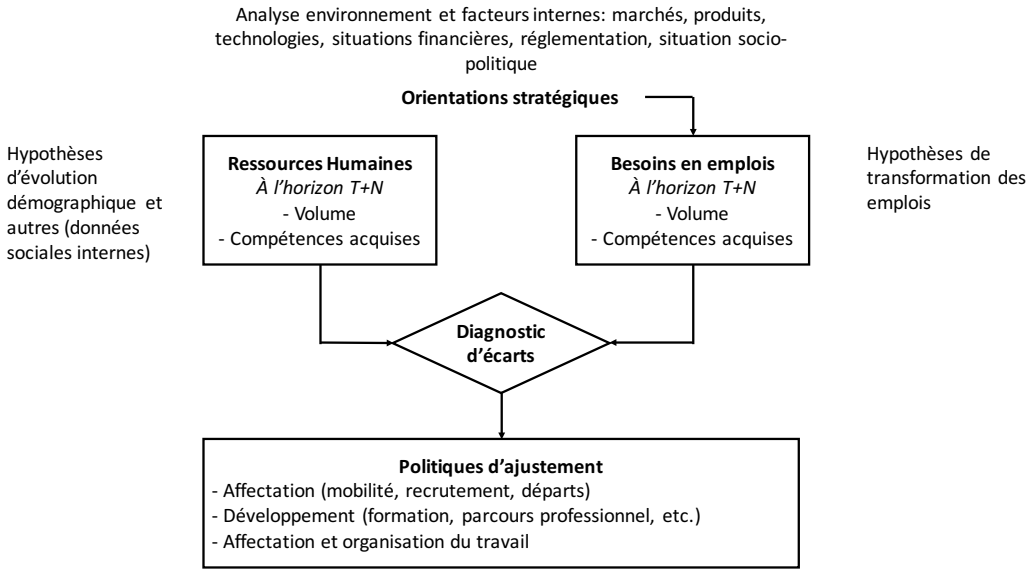


Figure 151: Le schéma classique de GEPC (Gilbert, 2012)

2.2. DE *JOB-BASED ORGANIZATIONS* À *COMPETENCE-BASED ORGANIZATIONS*

A partir des travaux de Taylor (1914), l'organisation du travail s'est fondé sur l'idée selon laquelle les salariés dans l'entreprise possèdent chacun un poste déterminé, caractérisé par des qualifications, des responsabilités, des compétences et un niveau hiérarchique spécifique : *Job-based organization*. Dans cette perspective, le poste ainsi que sa description sont au cœur du modèle de la GRH. La description de poste, spécifiant les qualifications requises, permet de situer et de différencier les postes les uns par rapport aux autres. A partir de cette description, la GRH a pour mission d'orienter les programmes de formation, de recruter la bonne personne et de déterminer le niveau de rémunération adéquat (Meschi, 1997).

Cette vision est pertinente à condition qu'il s'agissait seulement *« d'organiser une production conforme aux besoins peu différenciés du marché »* (Meschi, 1997). Cependant, les enjeux contemporains en termes de compétitivité, d'environnement économique, d'innovation et d'attentes sociales des salariés, imposent aux entreprises de nouveaux impératifs parmi lesquels la flexibilité et la polyvalence.

> *"In many situations there is good reason to believe that the concept of an individual holding a job is no longer the best way to think about organizing and managing individuals. Instead of thinking of people as having a job with a particular set of activities that can be captured in a relatively permanent*

> *and fixed job description, it may be more appropriate and more effective to think of them as human resources that work for an organization." (Lawler, 1994).*

Ces nouveaux objectifs ont ainsi amené les entreprises à repenser leurs méthodes en matière de GRH. Il s'agit d'organiser le travail de façon moins hiérarchique et beaucoup moins spécialisé, notamment afin de concilier au mieux enjeux économiques et sociaux. Dans cette perspective, l'objectif est *« d'obtenir plus de souplesse d'action pour l'équipe dirigeante et d'autre part, de varier et d'enrichir le travail des salariés »* (Meschi, 1997). Aussi, la compétence devient le nouveau concept pour exprimer à la fois, l'enrichissement des postes ainsi que leurs instabilités dans le temps. Le cœur du modèle de la GRH se déplace du poste vers l'individu, de la gestion des emplois et des classifications à la gestion transversale des compétences (Meschi, 1997) : *competence-based organization.*

3. DYNAMIQUE DES CONNAISSANCES & APPRENTISSAGE ORGANISATIONNEL

Les différents développements issus de la théorie béhavioriste, de la théorie évolutionniste, de l'approche dite *« fondée sur les compétences »* en management stratégique renvoient essentiellement aux enjeux stratégiques d'apprentissage organisationnel, c'est-à-dire aux processus de création et de formation des savoirs au sein des organisations. Parallèlement à ces développements, d'autres travaux académiques vont alimenter la réflexion sur ces sujets, notamment ceux d'Argyris & Schön (1978) à travers la notion *« d'apprendre à apprendre »*, ceux de Senge (1990) avec le concept *« d'entreprise apprenante »* et ceux de Nonaka & Takeuchi (1995). En s'appuyant sur les recherches de Levitt & March (1988), Weinstein & Azouley (2000) défendent l'idée selon laquelle l'analyse de l'apprentissage organisationnel dépend de trois principaux principes. Premièrement, les modèles d'interactions entre les comportements individuels sont assurés par les *routines organisationnelles* (Cyert & March, 1963 ; Nelson & Winter,1982). Deuxièmement, les actions organisationnelles sont dépendantes de l'histoire, c'est à dire *« qu'elle sont basées sur des schémas d'interprétation du passé plus que sur les anticipations du futur »* (Weinstein & Azouley, 2000). Enfin, les organisations sont orientées vers des objectifs et des buts, c'est à dire que les comportements des organisations dépendent *« de la relation entre les résultats observés et les résultats souhaités »* (Weinstein & Azouley, 2000).

3.1. NATURE & SUPPORT DES CONNAISSANCES DANS L'ORGANISATION

Quelle que soit l'approche disciplinaire (philosophie, épistémologie, économie, sociologie, gestion, etc.), la connaissance a toujours été une notion large et abstraite. Généralement, et en particulier dans la philosophie occidentale, le but de la connaissance a toujours été associé à la recherche de la vérité. Dès lors, elle peut être formalisée et transmise, négligeant ainsi les connaissances tacites et collectives qui sont pourtant au cœur des enjeux de stratégie dans les organisations. D'autre part, la connaissance est à la fois cumulative et transférable. Dans cette perspective, on peut distinguer un premier courant de recherche qui repose sur une perspective représentationniste de la connaissance organisationnelle (Von Krogh & Ross, 1996).

"To summarize, the representationist view is based on the following general assumptions about knowledge:

- *Knowledge represents a pre-given world.*
- *Knowledge is universal and objective.*
- *Knowledge results from information processing.*
- *Knowledge is transferable.*
- *Knowledge enables problem solving." (Von Krogh & Ross, 1996 p. 12).*

Cette perspective stipule que la connaissance est une matière première durable, pouvant être stockée. Ce courant s'appuie sur les outils fournis par les technologies de l'information et de la communication. La connaissance est ainsi isolée de façon à pouvoir traiter la gestion des connaissances de façon relativement indépendante de la question des relations et de l'action. Cette vision est à la base du courant de la gestion des connaissances ou en anglais du *Knowledge Mangement* (KM). Dans cette perspective, l'accent est mis sur les méthodes et outils destinés à diffuser les connaissances au sein de l'organisation.

« La gestion des connaissances est un ensemble de moyens et de méthodes destiné à mieux utiliser les savoirs et les connaissances potentiellement accessibles à une organisation dans l'objectif d'améliorer ses capacités de mémorisation, d'apprentissage, de collaboration et d'innovation à travers une meilleure gestion de ses actifs intellectuels et informationnels » (Goria, 2006 p. 9).

Le *Knowledge Management* vise à concevoir des dispositifs pour identifier, organiser, analyser, mémoriser et partager des connaissances, tout en incitant l'ensembles des individus détenant des savoirs et savoir-faire à les communiquer et partager au sein de l'organisation.

"Getting the right knowledge to the right people at the right time in the right format without being asked" (Balmisse, 2002 p. 25).

A l'opposé de ce premier courant se trouvent les travaux de Nonaka & Takeuchi (1995). Pour les auteurs, l'enjeu est de comprendre les caractéristiques du processus de création de connaissance. Ce courant cherche à relier la connaissance aux acteurs qui la manipule, s'intéressant particulièrement à la production collective de connaissances au cours de l'activité : il s'intéresse plus au *knowing* qu'au *knowledge*. Dans cette perspective, la connaissance créée par les individus résulte de leurs interactions réciproques et avec l'environnement. Par conséquent, la compréhension de la connaissance doit s'envisager par l'identification et l'analyse des processus interactifs entre individus dont la connaissance émerge.

3.2. GERER LE *KNOWING* PLUTOT QUE LE *KNOWLEDGE*

Dans cette perspective la connaissance n'est plus considérée comme une substance. Même quand la connaissance se revêt d'une forme substantielle, comme par exemple un produit, il faut retenir que celui-ci incorpore aussi ses processus de conception, de développement et de fabrication. Aussi, l'analyse de la

nature de la connaissance conduit à l'introduction d'une distinction nouvelle : *connaissances tacites* et *connaissances codifiées*. Comme mentionné précédemment, Nonaka (1994) identifie un ensemble de connaissances qui ne peut pas être géré selon des méthodes classiques de transfert d'information. En effet, les *connaissances tacites* ne peuvent pas être codifiées dans un langage permettant la transmission. Pour Nonaka & Takeuchi (1995), la création et la circulation de la connaissance dans une organisation reposent sur la maîtrise de l'interaction dynamique entre *connaissance codifiée* et *connaissance tacite*. Cette interaction prend la forme d'une spirale infinie et de quatre modes élémentaires de conversion : l'externalisation (transformation de la connaissance tacite en connaissance codifiée), la combinaison (codifiée vers codifiée), l'internalisation (codifiée en tacite), la socialisation (tacite en tacite) [Figure 152].

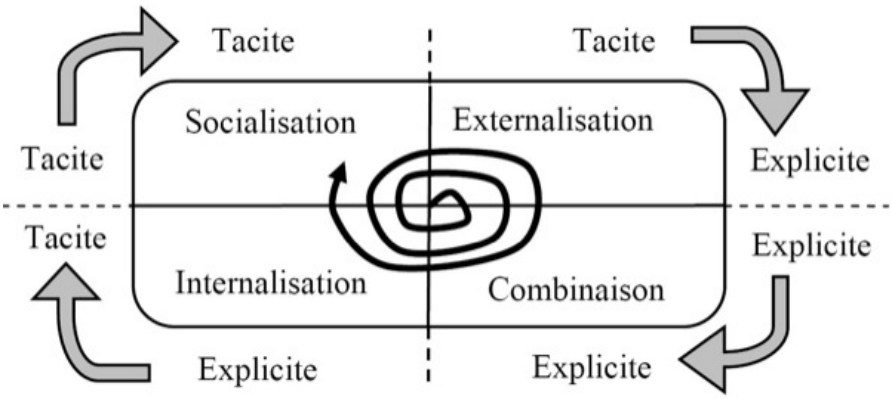


Figure 152 : Modèle de la création de connaissance de Nonaka et Takeuchi (1995)

D'autre part, l'un des enjeux majeurs est de veiller à ce que les *connaissances individuelles* puissent se transformer en *connaissances partagées* (*connaissance sociale*) et réciproquement. L'organisation de rencontres informelles au sein de l'organisation pour l'amélioration de la performance, les apprentissages collectifs à travers les équipes projets, les apprentissages au sein des métiers et le développement d'une base de connaissance commune, sont les principales solutions mises en place par les organisations pour permettre le transfert continu et efficace des connaissances collectives vers les connaissances individuelles et réciproquement (Cohendet & Llerena, 1999). Bien évidemment, l'interaction entre connaissances individuelles et sociales est soulignée par Nonaka & Takeuchi (1995). Cependant, les auteurs insistent principalement sur l'enjeu de création de connaissances au sein de la firme et soulignent que le processus de production de connaissance nouvelle se distingue de l'enjeu de transfert de connaissance parce que la création de connaissance est avant tout un acte individuel :

> *"An organization cannot create knowledge on its own without individuals. It is therefore very important for the organization to support and stimulate the knowledge creating activities of individuals or to provide the appropriate contexts for them. Organizational knowledge creation should be understood as a process that "organizationaly" amplifies the knowledge created by individuals and crystallizes it at the group level through dialogue, discussion, experience sharing and observation" (Nonaka et Takeuchi, 1995).*

La circulation, le transfert et la création de connaissance dans les organisations suppose que la conversion des connaissances puisse s'effectuer efficacement selon deux dimensions principales *individuelle/sociale* et *tacite/codifiée*.

Il faut aussi noter que cette critique des savoirs *« capitalisables »* trouve son origine dans les travaux de Polanyi (1958).

"Knowledge is an activity which should be better described as a process of knowing" (Polanyi, 1958).

Pour Polanyi (1958), la connaissance se définit comme étant une activité pouvant se décrire comme un processus de connaissance. Dans ses travaux, il introduit une hiérarchie du *knowing* : les *skills* correspondent à la capacité d'agir selon des règles, le *know-how* inclut les *skills* mais correspond de surcroît à agir dans un contexte social complexe, enfin la compétence inclut le *know-how* mais désigne aussi une capacité à influencer les règles. Blackler (1995) reprend aussi la distinction *knowing* et *knowledge*. Il met en évidence que dans la littérature sur l'apprentissage organisationnel, les savoirs ont souvent été distingués selon leur localisation. Il propose cinq catégories de savoir : (1) *embrained*, (2) *embodied*, (3) *encultured*, (4) *embedded* et (5) *encoded*. La connaissance *encoded* ou *encodée* correspond à une connaissance objectivée (logique, lois de la physique, etc.), c'est le savoir scientifique. Les connaissances *embedded* et *encultured* (*incorporées* et *enculturées)* sont des connaissances collectives, qui résident réciproquement dans les routines et dans les processus d'acquisition de compréhensions partagées. La connaissance *embrained* ou *gravé dans la mémoire* désigne une connaissance consciente, constituée du savoir formel possédé par un individu donné. Enfin, la connaissance *embodied* ou *incorporée* caractérise le savoir tacite et non conscient permettant à l'individu de comprendre et de développer la connaissance explicite. Dans la littérature on retrouve aussi d'autres typologies de connaissance, parmi lesquelles celle de Spender & Grant (1996) (*connaissance objectivée, collective, consciente et automatique*) et celle de Lundvall & Johnson (1994) (*know-what, know-how, know-why, know-who*). Le tableau ci-dessous [Tableau 45], proposé par Cohendet & Llerena (1999), synthétise les principales typologies de connaissance.

Connaissance	Individuelle	Sociale ou collective
Codifiées	Consciente (Spender et al.) Embrained (Blackler) Know-what (Lundvall et al.)	Objectivée (Spender et al.) Encoded (Blackler) Know-why (Lundvall et al.)
Tacite	Automatique (Spender et al.) Embodied (Blackler) Know-how (Lundvall et al.)	Collective (Spender et al.) Embedded/Encultured (Blackler) Know-who (Lundvall et al.)

Tableau 45 : Typologies de connaissance selon Cohendet & Llerena (1999)

3.3. De l'apprentissage individuel a l'apprentissage organisationnel

Affirmer qu'une organisation possède des compétences, des savoirs et qu'elle est en mesure d'apprendre ne va pas de soi. La simple transposition au niveau collectif de catégories conçues pour l'étude du comportement individuel réduirait la firme à un agent individuel. Dès lors, il est important de ne pas se contenter d'une métaphore sympathique mais dépourvue de sens. Aussi, avant de parler d'apprentissage organisationnel, c'est bien l'apprentissage individuel qui a été au centre de la recherche académique. Les travaux de Piaget (1959), théoricien de la pédagogie et du développement de l'intelligence, s'inscrivent dans une analyse de la construction des connaissances au cours du développement biologique de l'homme. Pour Piaget (1959), le processus d'apprentissage ne se circonscrit pas à une simple accumulation de connaissances, mais résulte en fait d'une recombinaison périodique des anciennes connaissances avec celles dernièrement acquises. Il explicite notamment deux processus différents d'apprentissage : l'*assimilation* et l'*accommodation*. Le *processus d'assimilation* détermine l'intégration d'une information et l'enrichissement des schémas de pensée, sans les remettre en cause. Inversement, le *processus d'accommodation* caractérise le développement de l'intelligence supposant un changement des modèles mentaux et des connaissances déjà acquises afin d'intégrer la nouvelle donnée (Fillol, 2004).

Pour certains théoriciens des organisations, notamment Simon (1991), il n'y a que les individus qui sont en mesure d'apprendre. Ainsi, l'analyse des compétences et des savoirs de la firme se limitera à **étudier les moyens utilisés par l'organisation pour favoriser ou non les apprentissages individuels.**

> *"All learning takes place inside individual human heads; an organization learns in only two ways: (a) by the learning of its members, or (b) by ingesting new members who have knowledge the organization didn't previously have." (Simon, 1991).*

> *"However, we must be careful about reifying the organization and talking about it as "knowing" something or "learning" something. It is usually important to specify where in the organization particular knowledge is stored, or who has learned it." (Simon, 1991).*

Dans cette perspective, les connaissances sont distribuées entre les individus et l'enjeu est d'assurer la coordination des individus détenant des connaissances spécialisées, différentes, mais complémentaires (Weinstein & Azouley, 2000). Ainsi, l'enjeu principal n'est pas tant le transfert ou la diffusion des connaissances entre les individus de l'organisation mais bien l'intégration des connaissances spécialisées dans l'organisation.

A l'inverse, un autre courant de recherche stipule qu'il existe bien un processus d'apprentissage propre à l'organisation. Si dans la première perspective, l'enjeu est de mettre en évidence les dispositifs organisationnels permettant les apprentissages individuels ainsi que l'intégration des connaissances spécialisées dans l'organisation, dans cette nouvelle perspective, l'accent est mis sur **la structure globale de l'organisation ainsi que sa culture**.

"Organizational learning is a social phenomenon and cannot be reduced to the individual learning process of the members of the organization." (Marengo, 1996).

Le courant de l'apprentissage organisationnel ne constitue donc pas un corpus cohérent et uniforme. Plusieurs définitions et visions de l'apprentissage organisationnel coexistent au sein de la littérature académique en gestion. Pour Argyris & Schön (1978) l'apprentissage organisationnel est un processus cognitif *« par lequel les membres d'une organisation détectent des erreurs et les corrigent en modifiant leur théorie de l'action »*[110]. Pour Cyert & March (1963), l'apprentissage organisationnel est une adaptation de l'organisation à son environnement. De leur côté, Levitt & March (1988) définissent l'apprentissage organisationnel comme un processus permettant à l'organisation de codifier et de transformer les *« ingérences du passé »* en routines. Senge (1990) introduit le concept *d'organisation apprenante* pour souligner que *« dans les organisations apprenantes, les individus améliorent sans cesse leur capacité à créer les résultats désirés, de nouvelles façons de penser surgissent et se développent continuellement, la vision collective accorde une marge de liberté importante, et les individus apprennent sans cesse comment mieux apprendre ensemble »*[111].

De façon générale, **l'apprentissage organisationnel** peut être défini comme étant un *« phénomène collectif d'acquisition et d'élaboration de compétences qui, plus ou moins profondément, plus ou moins durablement, modifie la gestion des situations et les situations elles-mêmes »* (Koenig, 2006)

Bien que plusieurs définitions coexistent dans la littérature, on peut cependant distinguer quatre principaux courants de pensée, que nous présentons chronologiquement ci-dessous (à l'exception des travaux de Nonaka & Takeuchi, présentés précédemment) :

- L'apprentissage organisationnel et les boucles d'apprentissage d'Argyris & Schön (1978).
- L'apprentissage organisationnel par les routines de Levitt & March (1988)
- L'organisation apprenante de Senge (1990)
- L'organisation créatrice de connaissance de Nonaka & Takeuchi (1995)

3.3.1. L'apprentissage organisationnel et les boucles d'apprentissage d'Argyris & Schön

L'enjeu des travaux d'Argyris & Schön (1978, 1996) est de comprendre comment les organisations sont capables d'apprendre à partir des individus qui les composent. Pour les auteurs, le schéma générique de l'apprentissage organisationnel est le suivant :

[110] Argyris, C. & Schön, D. A. (2002). *Apprentissage organisationnel, théorie, méthode, pratique*, Paris, Bruxelles, De Boeck université. (Traduction française de Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective.* MA: Addison-Wesley.)

[111] Senge, P. (1992). *La cinquième discipline*, Paris, First. (Traduction française de Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization.* New York: Currency Doubleday)

> *"The generic schema of organizational learning includes some informational content, a learning product; a learning process which consists in acquiring, processing, and storing information; and a learner to whom the learning process is attributed." (Argyris & Schön, 1996 p. 3).*

Les auteurs introduisent la notion de « *théorie de l'action* » pour établir le lien entre les apprentissages individuels et l'apprentissage organisationnel. Lorsque l'organisation est face à une problématique, la *théorie de l'action* doit permettre de proposer un plan d'action pour répondre à ce problème. La *théorie de l'action* peut revêtir deux formes : (1) la « *théorie professée* » (*espoused theory*) qui correspond à un schéma de l'activité projetée et qui explique une stratégie d'action (i.e. ce que l'acteur dit vouloir faire) ; (2) la « *théorie d'usage* » (*theory in use*) qui correspond à un schéma de l'activité réalisée et qui explique le plan d'action réel (i.e. ce que l'acteur fait en réalité). Pour les théoriciens, la connaissance organisationnelle est contenue et révélée par les comportements en action.

Pour permettre les régulations nécessaires à l'évolution des *théories d'action*, Argyris & Schön (1978) distinguent trois types d'apprentissage organisationnel, conceptualisés en « *boucles d'apprentissage* ». L'apprentissage organisationnel est largement envisagé comme un processus de résolution de problème installé dans une dynamique d'action.

> *« Nous apprenons quand nous détectons une erreur et que nous la corrigeons. Une erreur correspond à un écart entre ce que nous attendons d'une action et ce qui se produit effectivement, une fois l'action engagée. Une erreur, c'est l'écart entre l'intention et le résultat obtenu. Nous apprenons également quand nous obtenons pour la première fois une concordance entre l'intention et le résultat. »*[112] *(Argyris & Schön, 1978).*

Premièrement, la **simple boucle d'apprentissage organisationnel** (« *single-loop learning* ») permet l'amélioration des performances des tâches de l'organisation. Elle relève d'une faible modification des règles existantes, sans remettre en cause les normes et les valeurs de l'organisations.

> *"By single-loop learning we mean instrumental learning that changes strategies of action or assumptions underlying strategies in ways that leave the values of a theory of action unchanged." (Argyris & Schön, 1978).*

Deuxièmement, la **double boucle d'apprentissage organisationnel** (*« double-loop learning »)* permet la révision des valeurs et des normes au travers desquelles la performance est définie et évaluée, i.e. un changement des valeurs et des normes dans la *théorie d'usage*. Elle relève d'une importante modification des règles existantes dans l'organisation.

> *"By double-loop learning, we mean learning that results in a change in the values of theory-in-use, as well as in its strategies and assumptions. The double-loop learning refers to the two feedback loops that connect the observed effects of action with strategies and values served by strategies. Strategies*

[112] Argyris, C. & Schön, D. A. (2002). *Apprentissage organisationnel, théorie, méthode, pratique*, Paris, Bruxelles, De Boeck université. (Traduction française de Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective*. MA: Addison-Wesley.)

and assumptions may change concurrently with, or as a consequence of, change in values." (Argyris & Schön, 1978).

Enfin, le **deutéro-apprentissage** *(« deutero-learning »)* correspond à l'apprentissage par lequel l'organisation améliore ses capacités d'apprentissage, i.e. un apprentissage sur l'apprentissage.

3.3.2. L'apprentissage organisationnel par les routines de Levitt & March

Pour Levitt & March (1988), le concept d'apprentissage organisationnel est dépendant du concept de routine. Dans le prolongement de la théorie béhavioriste de la firme (March & Simon, 1958 ; Cyert & March, 1963), March & Levitt (1988) s'intéressent particulièrement à l'évolution des routines qu'ils définissent comme étant l'ensemble des règles, des procédures, des conventions, des méthodes, des technologies constituant l'organisation et lui permettant de fonctionner. Pour les auteurs, on parle d'apprentissage organisationnel lorsque les organisations intègrent dans leurs routines, l'expérience et les enseignements relatif à leur histoire. C'est un processus d'encodage des connaissances dans des routines. Ils distinguent deux types d'apprentissage : ***apprentissage par expérience directe*** et ***apprentissage par expérience d'autrui.***

L'apprentissage par expérience directe s'effectue selon deux processus distincts. L'***expérimentation*** qui est un processus d'essai-erreur.

"The first is trial-and-error experimentation. The likelihood that a routine will be used is increased when it is associated with success in meeting a target, decreased when it is associated with failure." (Levitt & March, 1988).

La ***recherche organisationnelle*** qui a pour objectif de remplacer certaines routines par des routines alternatives.

"The second mechanism is organizational search. An organization draws from a pool of alternative routines, adopting better ones when they are discovered. Since the rate of discovery is a function both of the richness of the pool and of the intensity and direction of search, it depends on the history of success and failure of the organization." (Levitt & March, 1988).

L'apprentissage par expérience d'autrui signifie que l'organisation peut aussi apprendre à partir de l'expérience d'autres organisations. L'organisation est ainsi en mesure de capturer et de s'approprier les connaissances depuis l'environnement vers l'intérieur de l'organisation.

3.3.3. L'organisation apprenante de Senge

L'organisation apprenante (*« learning organization »*) est un concept développé par Senge (1990). Pour l'auteur, l'organisation doit se concevoir comme étant un lieu où *« les personnes augmentent continuellement leurs capacités de créer les résultats qu'ils désirent vraiment, où de nouveaux modèles de pensée sont développés, où les aspirations collectives sont encouragées et où les individus apprennent continuellement comment*

apprendre ensemble »[113] (Senge, 1990). Pour Senge (1990), les principes fondateurs de l'entreprise apprenante sont : (1) *des salariés engagés dans une dynamique permanente d'auto-apprentissage, orientés vers le développement professionnel et personnel* ; (2) *une organisation capable de modifier son comportement, de générer de nouvelles connaissances par une mise à l'épreuve régulière de ses modèles mentaux et cadres d'interprétation dominants* ; (3) *la construction de normes communes et partagées autour d'une « vision » stratégique* ; (4) *l'apprentissage en équipe* ; (5) *le développement d'une pensée systémique qui suggère d'aborder les problèmes dans leur intégralité et leurs interrelations multiples.*

Enfin, le modèle d'organisation apprenante de Senge (1990) se base sur cinq disciplines interdépendantes :

- La maîtrise personnelle (*achieving personal mastery*) permettant aux individus d'améliorer de façon continue leur façon de clarifier et d'approfondir leur vision, de focaliser leur énergie, de développer leur patience, et de voir la réalité objectivement.
- Les modèles mentaux (*shifting mental models*) caractérisant les suppositions enfouies influençant la façon dont les individus comprennent le monde.
- La construction d'une vision partagée (*building shared vision*) permettant de faire émerger une vision partagée du futur en mesure de produire l'engagement de chacun.
- L'apprentissage en équipe (*team learning*) qui insiste sur le dialogue et le travail d'équipe.
- La pensée systémique (*systems thinking*) produisant une vision intégratrice dans une organisation considérée comme un tout.

[113] Senge, P. (1992). *La cinquième discipline*, Paris, First. (Traduction française de Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization.* New York: Currency Doubleday)

ANNEXE 2 – L'EMPIRE DE L'EXPERT : THEORIES & APPROCHES DE L'EXPERTISE

Annexe 2 – L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise 351

1. L'expertise : entre savoir & décision 353

1.1. La vision classique de l'expertise 353

1.2. La vision relativiste de l'expertise 354

2. La performance individuelle de l'expert 355

2.1. *Expertise absolue* & *expertise relative* 356

2.1.1. Domaines dans lesquels les experts excellent 358

2.1.2. Les limites de la performance des experts 358

2.2. Connaissances procédurales & *connaissances déclaratives* 359

2.3. Psychologie sociale de l'expertise & typologie des experts 360

D'un point de vue étymologique, le terme expert vient du latin *expertus « éprouvé, qui a fait ses preuves »*, participe passé de *experiri « éprouver, faire l'essai, tenter de réaliser »*[114]. La notion d'expert désigne ainsi celui *« qui a acquis une grande habileté, un grand savoir-faire dans une profession, une discipline, grâce à une longue expérience »*[115]. A partir de la reconnaissance sociale des connaissances scientifiques et techniques des experts, est née la notion d'expertise, désignant le recours à une analyse compétente dans des situations contentieuses ou incertaines (Calafat, 2011), c'est-à-dire une procédure par laquelle un ou plusieurs experts se voient confier le devoir de donner un avis aux sujets d'éléments d'un différent, quand ceux-ci concerne des enjeux et des aspects techniques. Pour Calafat (2011), cela suppose donc *« la médiation d'un groupe d'expert labellisé comme tel, socialement et/ou institutionnellement, choisi pour mener à bien une procédure éprouvée (technique ou scientifique) »*.

Pour le sociologue Jean-Yves Trépos (1996), l'expertise est un phénomène social complexe et pluriel.

> *« L'expertise, omni présente dans les mots et même dans les faits, ne se laisse pas aisément réduire à type simple. Expertise d'aide à la décision ou expertise d'incitation (ou participante) ; expertise légitimée ou expertise d'alternative ; expertise d'attribution ou expertise de validation ; ce sont autant de variantes de l'acte expert, entre lesquelles il est aisé de voir les différences, voire les antagonismes. » (Trépos, 1996 p. 120).*

Il distingue principalement « *l'expertise de décision* » et « *l'expertise participante* ». Dans le premier cas, l'expertise s'envisage comme étant un moyen d'expérimenter ou de tester, en vue d'une prise de décision. L'expertise est alors une mesure d'accompagnement dans la prise de décision. Dans le second cas, l'expertise participe à la définition de la politique à mettre en œuvre, souvent même à la formulation de la demande. Cette distinction rejoint celle proposée par Castel (1987) qui distingue *« l'expert mandaté »* et *« l'expert instituant »*. L'expert instituant construit l'objet de sa pratique au moment même où il l'expertise. De son côté le psychologue Fernand Gobet (2015) – à partir de la définition proposée par l'*Oxford Talking Dictionary* (1998) définissant l'expertise comme *« expert opinion or knowledge ; know-how, skill, or expertness in something »* – considère, lui aussi, que le concept d'expertise peut prendre plusieurs sens. Dans sa définition, la première partie fait référence aux concepts de connaissance et d'opinion : le *« knowing-that » (« Savoir que faire »)*. La deuxième partie souligne aussi le concept de *skill* (compétence) : le « *knowing-how » (« savoir comment faire »)*. Pour Gobet (2015), la première partie est plutôt l'apanage de la sociologie et du droit, et la seconde partie est celle de la psychologie, des sciences de l'éducation et de la neuroscience. Enfin, en suivant les développements de Jacob et Genard (2004), il est important de rappeler – au-delà de la difficulté à définir l'expertise – que l'acte d'expertise est sans cesse à la frontière, entre le descriptif et le prescriptif, entre le constat empirique et le normatif :

> *« Souvent soupçonnée d'être trop dedans pour pouvoir justifier d'une objectivité suffisante, mais tout aussi souvent accusée d'être trop dehors pour pouvoir réellement répondre à bon escient à la demande des pouvoirs publics, l'expertise ne cesse de devoir jouer avec les frontières [...] L'expert est celui que*

[114] Trésor de la Langue Française Informatisé, « expert » [en ligne] Disponible sur : http://atilf.atilf.fr/
[115] Ibid.

> *l'on vient consulter parce qu'il est suffisamment dehors pour offrir la caution d'indépendance qui sied à la scientificité, mais suffisamment à proximité pour que l'on puisse être convaincu que ses propositions seront opérationnalisables, qu'elles n'apparaîtront pas comme des savoirs éthérés tels que peuvent en produire les « savants » ou les « intellectuels » » (Jacob et Genard, 2004 p.146).*

Pour une acceptation la plus générale, on peut retenir la définition de l'expertise proposée par Lascoumes (2002) et la définition de l'expert proposé par Delmas (2011).

> *« l'**expertise** est classiquement définie comme la mise en œuvre de connaissances spécifiques pour l'action »* (Lascoumes, 2002)

> **L'expert** est *« détenteur d'un savoir particulier, lié à la pratique de son métier ; il devient un spécialiste reconnu dans son domaine, sollicité pour émettre un avis »* (Delmas, 2011)

En définitive, tout comme dans les développements précédents, où nous avons pu constater la pluralité des visions et des définitions concernant les concepts de compétence, de savoir et de connaissance, les notions d'expert et d'expertise sont elle-aussi multiformes, polymorphes, et généralement consubstantielles à une discipline scientifique (sciences politique, psychologie, sociologie, droit[116], sciences de gestion, etc.).

1. L'EXPERTISE : ENTRE SAVOIR & DECISION

Dans le champ des sciences politiques, Clairat (2008) distingue deux visions concernant la notion d'expertise. La première, qu'il qualifie de *« regard classique »* et la seconde qu'il caractérise de *« regard relativiste »*.

1.1. LA VISION CLASSIQUE DE L'EXPERTISE

Pour l'auteur, la vision classique est incarnée par le travail de Philippe Roqueplo (1996) qui définit l'expertise comme *« l'expression d'une connaissance formulée en réponse à la demande de ceux qui ont une décision à prendre et en sachant que cette réponse est destinée à être intégrée au processus de décision »* (Roqueplo, 1996 p. 14). Nous notons, que cette définition est similaire à celle proposée par Trépos (1996) :

> *« L'expertise ce serait : une situation problématique (une difficulté, qui ne peut être surmontée par l'exercice professionnel normal, voire une difficulté que l'on n'arrive pas à localiser), requérant un savoir de spécialiste (mais cette spécialité est-elle celle qui convient ou simplement le plus proche possible de ce qui convient ?), qui se traduira par un avis (le fameux « rapport d'expertise »), donné à*

[116] Voir Favro (2009) pour une revue de littérature.

> *un mandant (qui donne pouvoir à l'expert, éventuellement, de sortir du cadre habituellement autorisé), afin qu'il puisse prendre une décision (parfois pour son propre compte, parfois en vue d'un tiers, le bénéficiaire). » (Trépos, 1996 p. 5)*

Cette vision de l'expertise, largement partagée comme en témoigne les définitions apportées par Ewald (1992) – *« la question de l'expertise relève d'une problématique du jugement et de la décision. Le jugement se situe du côté du savoir, la décision du côté du pouvoir »* – et Delmas (2004) – *« relève de l'expertise la mise en œuvre d'un savoir et/ou d'un savoir-faire, aux fins de remédiation sociale, et qui se traduit par un diagnostic, un avis, des propositions »* – établit une claire distinction entre le monde de ceux qui *« font métier de connaître »* et le monde de ceux qui *« font métier de décider »* (Roqueplo, 1996). Dans le *« regard classique »*, cette nette séparation entre la science et la décision se double aussi d'une séparation entre la science et l'expertise (Clairat, 2008). En effet, bien que l'expert possède un savoir, il agit au nom de sa *« conviction intime »* parce qu'il ne choisit pas la question à laquelle il se doit de répondre et parce que *« le concret déborde fatalement les limites de sa propre compétence »* (Roqueplo, 1996). Le jugement de l'expert ne se circonscrit pas à une analyse indiscutable, il comporte aussi une part de subjectivité. Par opposition, la science est entendue dans son objectivité naturellement présumée (Clairat, 2008). Pour Clairat (2008), la séparation entre le monde de la science et le monde de la décision fait référence aux travaux d'Habermas (2000[117]), qui distinguent deux types idéaux : le *« modèle décisionniste »* (les politiques prennent des décisions, indépendamment des avis d'expert) et le *« modèle technocratique » (« le politique devient l'organe d'exécution d'une intelligentsia scientifique »* (Habermas, 2000)). Dans le *« modèle technocratique »*, la *« scientifisation »* est perçue comme un progrès permettant d'aider les responsables politiques à prendre les meilleures décisions face un environnement social, économique et technologique de plus en plus complexe et incertain. Dans cette perspective, la science est donc nécessaire dans la conduite de l'action publique. A l'inverse, le *« modèle décisionniste »* postule que le politique se doit de résister à l'influence du scientifique, car les décideurs peuvent alors manipuler les experts afin d'atteindre leurs propres objectifs. Dans cette perspective, la science est inévitablement manipulée par les politiques. Cependant, pour Clairat (2008), ces deux visions opposées constituent en fait *« les deux faces d'une même pièce, l'une étant l'envers de l'autre, car elles reposent toutes deux sur la même conception de l'expertise caractérisée par la « naturalisation » du phénomène scientifique et par l'établissement d'une coupure nette entre la science, l'expertise, et la décision publique. »*. Dans cette vision de l'expertise, **la science est nécessairement considérée comme objective et l'expertise se doit de subir un processus d'objectivation pour annuler la part de subjectivité de l'expert, considérant ainsi que le scientifique n'est pas confronté à ce même type de problème.** Ainsi, les réflexions portent essentiellement sur la nature des relations entre les experts et les décideurs.

1.2. La vision relativiste de l'expertise

Dans le *« regard relativiste »*, l'hypothèse selon laquelle il existe une nette distinction entre science, expertise et décision, est rejetée ; il en est de même de l'idée de la « naturalisation » des connaissances. Pour les tenants de cette perspective, **toute connaissance scientifique véhicule également une certaine conception du monde** (Clairat, 2008). Ainsi, même un scientifique doté de la meilleure intention du monde ferait aussi preuve de subjectivité. Cette remise en question provient

[117] L'édition originale allemande date de 1968

essentiellement des travaux de la sociologie des sciences. Dans cette même optique, Callon & Rip (1992) définissent l'expertise comme *« le processus qui assure la régulation entre les trois catégories d'exigence ou de contraintes qui trouvent leur source dans trois pôles »*, le pôle *scientifico-technique* (celui de la construction de savoirs), le pôle *sociopolitique et économique* (celui qui est composé d'acteurs humains intéressés) et le pôle *réglementaire* (celui des procédures et des règles) (Callon et Rip, 1992 p.146). L'expertise est avant tout un *« processus d'adaptation et d'établissement d'un compromis »* où *« les experts vont du côté où les résistances et les oppositions sont les moins fortes »* (Callon et Rip, 1992 p.146). Ainsi, dans cette vision renouvelée de l'expertise, le processus d'objectivation de la pensée de l'expert semble laisser place à la recherche d'un compromis qui permettra de rallier le plus grand nombre de personnes possible. Néanmoins, pour Clairat (2008), cette nouvelle perspective, qu'il qualifie de *« regard relativiste »*, n'est pas uniforme. Il distingue plusieurs *« langues théoriques »*, parmi lesquelles, le regard de l'analyse des politiques publiques, le regard des *« sciences de gouvernement »*, celui des *« controverses sociotechniques »*, et enfin celui de *« l'approche par les instruments »*. Nous ne détaillerons pas ces différents courants, nous nous limiterons à souligner, à la suite de Clairat (2008), qu'ils partagent une même vision, dénonçant le *« mythe »* de la coupure fictive entre savoir et pouvoir, rejetant ainsi l'idée selon laquelle l'enjeu serait d'objectiver l'expertise pour améliorer le processus de décision. La vérité est ici conçue *« en terme de nombres d'alliés »*. Les sciences ne sont pas remarquables parce qu'elles détiennent la vérité mais parce qu'elles multiplient le nombre des *« actants »* qui adhèrent à un point de vue (Latour, 1989).

2. La performance individuelle de l'expert

Au-delà des enjeux de savoir et de décision, une autre manière d'aborder la notion d'expertise consiste à analyser l'expertise au niveau de l'individu, c'est à dire de l'expert. Ce point de vue est généralement la vision dominante dans la psychologie, les sciences cognitives, les sciences de l'éducation et la neuroscience (Ericsson & Smith, 1991 ; Hoffman, 1996 ; Mieg, 2001 ; Feltovich et al., 2006 ; Selinger & Crease, 2006 ; Ericsson et al., 2006 ; Collins & Evans, 2008 ;). Ainsi, la question principale devient : qu'est-ce qu'un expert ? La réponse peut sembler, de prime abord, relativement immédiate : **un expert peut être défini comme un individu doté de connaissances et de compétences de haut niveau et ayant acquis une grande habileté et un grand savoir-faire dans un domaine particulier.** Dans ce cas, les enjeux principaux sont de déterminer comment les experts organisent-ils leurs connaissances ? Comment évaluer leur fonctionnement et leur performance ? Est-il possible d'améliorer l'efficacité de l'apprentissage pour atteindre des niveaux de performance plus élevés ? Pourquoi les individus améliorent-ils leur performance de façons différentes ? Est-il possible de concevoir des dispositifs et des mécanismes permettant de faciliter le développement des experts ? (Ericsson & Smith, 1991 ; Ericsson et al., 2006).

Pour Ericsson & Smith (1991), l'étude de l'expertise cherche à comprendre et à rendre compte de ce qui distingue les personnes *« exceptionnelles »* des individus *« moins doués »* dans un domaine particulier. Pour les auteurs, la performance est attribuée, soit à une caractéristique générale de l'individu, soit à un aspect spécifique. Les constructions et les méthodes théoriques associées reflètent ces dimensions : *héritée* ou *acquise*, *général* ou *spécifique*. Ainsi, le chercheur se concentrera soit sur les effets des traits généraux (par exemple, l'intelligence, la personnalité, etc.), soit sur des capacités spécifiques (par exemple, la capacité

musicale). De même, il s'intéressera soit, aux expériences vécues et éducatives, soit à la formation et aux expériences liées à un domaine spécifique [Tableau 46].

Attribution	Construct	Research approach
Primarily inherited		
General abilities	Intelligence, personality	Correlation with personality profile, general intelligence
Specific abilities	E.g., music ability, artistic ability, body build	Correlation with measures of specific ability
Primarily acquired		
General learning and experience	General knowledge and cognitive strategies	Investigation of common processing strategies
Domain-specific training and practice	Domain or task-specific knowledge	Analysis of task performance, i.e., the expertise approach

Tableau 46 : Différentes approches de la « *performances individuelle exceptionnelle* » (Ericsson & Smith, 1991)

D'autre part, à partir d'une large revue de littérature en psychologie, Feltovich et al. (2006) proposent neuf caractéristiques majeures de l'expertise : *(1) expertise is limited in its scope and elite performance does not transfer ; (2) knowledge and content matter are important to expertise ; (3) expertise involves larger and more integrated cognitive units ; (4) expertise involves functional, abstracted representations of presented information ; (5) expertise involves automated basic strokes ; (6) expertise involves selective access of relevant information ; (7) expertise involves reflection ; (8) expertise is an adaptation ; (9) simple experience is not sufficient for the development of expertise.*

2.1. *EXPERTISE ABSOLUE* & *EXPERTISE RELATIVE*

Pour Michelene Chi, chercheur en science cognitive, l'expertise s'étudie et s'analyse selon deux approches distinctes : *« absolute approach »* (*expertise absolue*) et *« relative approach »* (*expertise relative*) (Chi, 2006). Ces deux approches de la nature de l'expertise impliquent ainsi deux façons d'évaluer l'expertise.

La première approche consiste à étudier des individus dotés de qualités exceptionnelles afin de comprendre comment ils se comportent dans leur domaine d'expertise : *« one way is to study truly exceptional people with the goal of understanding how they perform in their domain of expertise »* (Chi, 2006). Cette perspective suppose qu'il y a une hypothèse tacite selon laquelle les *individus exceptionnels* sont dotés de « *greater mind* » dans le sens où les *« global qualities of their thinking »* seraient différentes du reste de la population (Chi, 2006). **Ainsi, les experts s'assimilent à des individus dont la capacité intellectuelle et l'intelligence seraient largement supérieure à la moyenne de la population.** Cette perspective de recherche correspond à l'approche dite *absolue* (Chi, 2006).

La seconde approche de l'expertise consiste à étudier les experts par rapports aux non-experts, c'est à dire les « *novices* ». Cette approche, dite *relative*, suppose que l'expertise corresponde à un niveau de compétences que les novices pourraient atteindre. A partir de cette hypothèse, l'expertise se définit de manière relative, c'est à dire que les individus les mieux informés, les plus instruits, les plus compétents peuvent être considérés comme des experts, par opposition aux « novices » moins savants (Chi, 2006). Les

termes, *novices* et *expert*, sont ici utilisés de manière générique. Le tableau ci-dessous [Tableau 47] propose des distinctions supplémentaires au sujet du continuum du développement de l'expertise (Foley & Hart, 1992 ; Hoffman, 1996 ; Chi, 2006). Celles-ci s'inspirent directement de la terminologie des « corporations de métiers » du Moyen Ages (Hoffman, 1996).

Naive	*One who is totally ignorant of a domain.*
Novice	*Someone who is new - a probationary member. There has been some ("minimal") exposure to the domain.*
Initiate	*Someone who has been through an initiation ceremony—a novice who has begun introductory instruction.*
Apprentice	*One who is learning—a student undergoing a program of instruction beyond the introductory level. Traditionally, the apprentice is immersed in the domain by living with and assisting someone at a higher level. The length of an apprenticeship depends on the domain, ranging from about one to 12 years in the craft guilds.*
Journeyman	*A person who can perform a day's labor unsupervised, although working under orders. An experienced and reliable worker, or one who has achieved a level of competence. It is possible to remain at this level for life.*
Expert	*The distinguished or brilliant journeyman, highly regarded by peers, whose judgments are uncommonly accurate and reliable, whose performance shows consummate skill and economy of effort, and who can deal effectively with certain types of rare or "tough" cases. Also, an expert is one who has special skills or knowledge derived from extensive experience with sub-domains.*
Master	*Traditionally, a master is any journeyman or expert who is also qualified to teach those at a lower level. Traditionally, a master is one of an elite group of experts whose judgments set the regulations, standards, or ideals. Also, a master can be that expert who is regarded by the other experts as being "the" expert, or the "real" expert, especially with regard to sub-domain knowledge.*

Tableau 47 : Echelle de compétences de l'expertise (Hoffman, 1996)

Ainsi, l'*expert* est défini par rapport au *novice* et par l'intermédiaire d'un continuum. De plus, les niveaux de compétences peuvent être évalués selon plusieurs indicateurs parmi lesquels le diplôme ou le niveau de qualification, l'ancienneté dans un domaine particulier, le niveau d'expérience sur un sujet, le consensus entre les pairs, la connaissance pointue dans un domaine particulier ainsi que par des évaluations au travers de tests (Chi, 2006). Comme le souligne Lelebina & Sardas (2011), cette approche consiste non pas à décrire la nature des connaissances de l'expert, mais à comprendre comment les experts sont capables d'acquérir leur expertise afin de permettre aux autres de devenir experts à leurs tours. Sachant que l'expertise peut être atteinte par une majorité d'individus, l'objectif principal est de comprendre comment permettre à une personne moins qualifiée ou moins expérimentée à devenir plus qualifiée. Aussi, définir les experts comme étant des individus possédant un niveau de connaissance plus important que les non-experts, implique plusieurs hypothèses théoriques fondamentales. Premièrement, cela suppose que les experts ont acquis davantage de connaissances dans un domaine spécifique, et que cette connaissance est organisée et structurée. Deuxièmement, cela présume aussi que les capacités

intellectuelles et de raisonnements des experts et des non-experts sont semblables. Enfin, cela suppose que les différences de performances entre experts et non-experts résultent de la différence de représentation de leurs connaissances (Chi, 2006).

Pour compléter l'étude des caractéristiques distinguant les experts des non-experts, Chi (2006) soumet sept façons dont les experts excellent ainsi que sept limites de la performance des experts, que ce soit dans une approche dite *absolue* ou par rapport aux novices.

2.1.1. Domaines dans lesquels les experts excellent

- *Generating the best (Génération des meilleurs solutions)* : les experts sont capables de générer et de proposer des solutions, plus rapidement et avec plus de précision que les non-experts.
- *Detection and recognition (Détection et reconnaissances des problèmes)*: les experts sont plus efficaces dans la détection, la reconnaissance et l'analyse de la nature profonde des problèmes.
- *Qualitative analyses (Analyse qualitative):* les experts consacrent la plupart de leurs temps à l'analyse qualitative des problèmes. Ils développent ainsi de nouvelles représentations des problèmes.
- *Monitoring (Surveillance)*: les experts sont plus précis et ont plus de facilité dans la détection de problèmes et d'erreurs.
- *Strategies (Stratégies)*: Comparé aux novices, les expert ont plus de facilité à choisir la bonne stratégie face à une situation donnée.
- *Opportunistic (Opportuniste):* les experts sont plus opportunistes que les novices. Ils sont capables de faire usage de toutes les sources d'information disponibles pour la résolution de problèmes, tout en maximisant l'utilisation des ressources disponibles.
- *Cognitive effort (Effort cognitive):* les experts sont en mesure de retrouver les connaissances et les stratégies les plus pertinentes avec un minimum d'effort cognitif.

2.1.2. Les limites de la performance des experts

- *Domain-limited:* l'expertise est limitée à domaine particulier.
- *Overly confident:* les experts peuvent avoir tendance à surestimer leurs capacités et leurs savoirs.
- *Glossing over:* bien que les experts surpassent les novices dans la compréhension et le souvenir de la structure profonde des problèmes, les experts ont tendance à négliger certains détails.
- *Context-dependence within a domain:* la performance des experts est souvent dépendante de repères contextuels.
- *Inflexibility:* Dans des environnements changeant, les expert sont souvent moins flexibles que les non-experts.
- *Inaccurate prediction, judgment, and advice:* les experts ont tendance à surestimer les performances des non-experts.
- *Bias and functional fixedness:* les experts sont soumis à des *« effets de fixation »* les empêchant parfois d'avoir une vision large des problématiques.

2.2. CONNAISSANCES PROCEDURALES & CONNAISSANCES DECLARATIVES

Comme le souligne Feltovich et al. (2006), dans la psychologie cognitive, l'étude de l'expertise et de la performance des experts, est en lien étroit avec les recherches sur l'intelligence artificielle. En effet, ces disciplines s'intéressent particulièrement à la représentation des connaissances : représentation de l'information et de la capacité de mémoire des individus en psychologie cognitive et explicitation des données pour la création des systèmes experts en intelligence artificielle (Lelebina & Sardas, 2011). L'un des points communs entre ces deux disciplines peut s'illustrer à partir de l'article fondateur de Gilbert Ryle (1945) : *Knowing how and knowing that : The presidential address.* L'auteur distingue *knowing how (savoir comment faire)* et *knowing that (savoir que faire).* Ainsi *« A good experimentalist exercises his skill not in reciting maxims of technology but in making experiments »* (Ryle, 1945 p. 8). La production de connaissances ne se circonscrit pas à la seule production et manipulation de propositions, savoir faire quelque chose et savoir le réaliser sont tout aussi importants. Pour Ryle (1945), la possession d'une connaissance théorique comprend le savoir-faire permettant sa mise en application. Sans savoir-faire, la maîtrise, même seulement théorique, reste hors d'atteinte :

> *"A scientist, that is, is primarily a knower-how and only secondarily a knower-that. He couldn't discover any particular truths unless he knew how to discover. […] Effective possession of a piece of knowledge-that involves knowing how to use that knowledge, when required, for the solution of other theoretical or practical problems. There is a distinction between the museum-possession and the workshop possession of knowledge. A silly person can be stocked with information, yet never know how to answer particular questions. The uneducated public erroneously equates education with the imparting of knowledge-that." (Ryle, 1945 p16).*

Comme le souligne De Fornel (1990), ce débat a été en partie repris dans la littérature en intelligence artificielle. D'un côté, il y a les tenants d'une **conception déclarative de la connaissance,** c'est à dire que l'essence de la connaissance réside dans la possession de deux ensembles séparés : un ensemble spécifique de faits, décrivant des domaines particuliers de connaissances, et un ensemble général de procédures pour manipuler ces faits (De Fornel, 1990). De l'autre, il y a les tenants d'une **conception procédurale de la connaissance,** défendant l'idée selon laquelle il n'y a qu'un seul ensemble car la connaissance d'un domaine ne peut être séparée des procédures mises en œuvre pour l'utiliser (De Fornel, 1990).

Le point de vue *procéduraliste* émane des critiques formulées contre les systèmes-experts, dont le modèle de l'expertise se base sur l'hypothèse que la connaissance est indépendante du contexte social et qu'elle peut toujours être disponible pour la résolution de problèmes particuliers. Cette critique du modèle *« déclaratif-propositionnel »* vise à réexaminer et à remettre en cause la conception *déclarative, décontextualisée* et *a-sociale* de l'expertise humaine, représentée dans les systèmes-experts (De Fornel, 1990). Pour De Fornel (1990), la perspective opposée est la suivante : *(1) la connaissance spécialisée est fondamentalement une connaissance tacite* ; *(2) elle est procédurale, car elle ne se réduit pas un stock de connaissances séparées de l'activité concrète de raisonnement* ; *(3) comme la connaissance ordinaire, elle est fondamentalement liée à des contextes sociaux.* Pour l'auteur, cette vision s'inscrit en particulier dans la critique adressée au paradigme représentationnel en sciences cognitives, se basant sur le fait que *« la modélisation de l'expertise*

suppose que l'on représente une situation en termes d'objets identifiables et clairement définis, de façon à ce que l'application à ces situations de règles d'inférence générales soit possible et qu'elle permette de générer de nouveaux faits. » (De Fornel, 1990). A cette approche, Winograd & Flores (1986) oppose une modélisation de l'expertise dont la connaissance est incarnée et fondée sur une relation directe entre l'individu et l'environnement physique et social. En outre, la spécificité d'un expert ne résulte pas tant du mode de représentation des connaissances qu'il possède que de sa capacité de traduire son savoir en action. Dans le cas de l'expertise humaine, l'enjeu est d'analyser quels sont ses principes généraux d'organisation et quel type de savoir elle constitue. D'autre part, il s'agit de tenir compte que l'expertise se caractérise aussi *« par la capacité générative, ou capacité d'agir dans de nouvelles situations, et par le talent, ou capacité de trouver, de façon flexible, des solutions à des problèmes très différents »* (De Fornel, 1990). Ainsi, l'expertise est une *compétence située*, qui émerge telle une propriété des comportements des individus réalisant des activités (De Fornel, 1990).

2.3. Psychologie sociale de l'expertise & typologie des experts

Dans son ouvrage sur la psychologie sociale de l'expertise, Mieg (2001) s'interroge sur les différents types d'experts tels que les scientifiques et les professionnels. Pour l'auteur, il est important de séparer la question épistémique (que savons nous ?) de la question pragmatique (que devons-nous faire ?). Il introduit une typologie des experts en fonction de la connaissance gérée par les experts et de l'usage de cette connaissance. Mieg (2001, 2006) défend l'idée que, la profondeur de l'expertise, est toujours relative à un contexte particulier. Finalement, chacun peut agir en tant qu'expert vis-à-vis des autres. Il propose le modèle *« d'expert-interaction »* afin d'exprimer le rapport entre l'expert et l'environnement. Les acteurs de l'environnement (fournisseurs, clients, management, etc.) s'adressent à l'expert car celui-ci possède une connaissance particulière, correspondant à une fonction (résolution d'un problème concret par exemple). Aussi, deux processus accompagnent cette interaction : premièrement, le public concerné accorde à un individu le statut d'expert et deuxièmement, ce dernier interprète sa fonction selon ses propres connaissances (Mieg, 2001, 2006). La figure ci-dessous [Figure 151], représente ce que Mieg (2001) appelle la *dispositional attribution of "The expert"*, c'est à dire que l'attribution « expert » présuppose une expertise sous la forme d'une connaissance personnelle objective. La connaissance personnelle objective est basée sur l'expérience de l'individu et *l'attribution dispositionnelle* identifie les experts selon leurs connaissances et leurs savoir-faire. Dans sa typologie des experts [Figure 153], Mieg (2001) distingue deux types de connaissance : la connaissance spécifique à un domaine (*domain-specific knowledge*) et la connaissance formelle (*formal knowledge*). La connaissance formelle est une connaissance générale dans la mesure où elle peut être appliquée à plusieurs domaines ; par exemple les mathématiques et la théorie de la décision sont des sources de connaissances formelles. La connaissance spécifique à un domaine se décline en sous catégories : *local knowledge* (ex : les différents arrondissements de Paris), *exclusive knowledge* : connaissance qui est attribuée exclusivement à une seule personne ou un groupe spécifique (Einstein et sa la théorie de la relativité dans les années 1920), *scientific knowledge* (physique, chimie), *pratical knowledge* (cuisine, génie industriel).

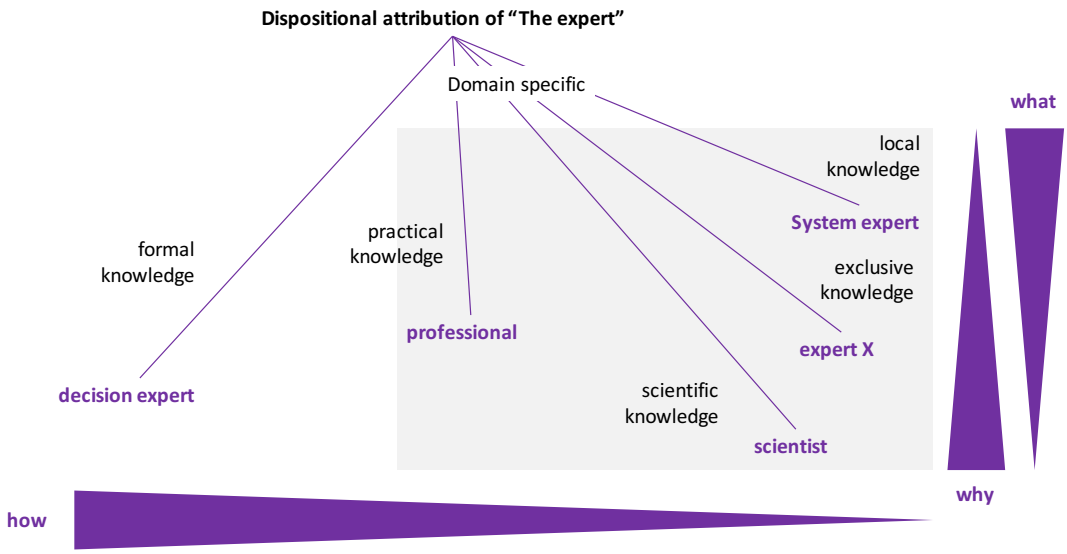


Figure 153: Dispositional attribution of "The expert" (Mieg, 2001)

Enfin, les typologies d'experts sont définies en fonction de leurs types de connaissance. Les catégories ne sont pas exclusives les unes aux autres : un « *professionnel* » peut agir en tant qu'« *expert X* » et un « *scientifique* » peut agir en tant que « *decision expert* ».

ANNEXE 3 – HISTOIRE & PRINCIPES TECHNIQUES DU COMPOSANT DE BASE DE LA MICROELECTRONIQUE : LE TRANSISTOR

Annexe 3 – Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor 363

1. Du tube à vide au transistor 364

1.1. Principe de l'effet amplificateur 364

1.2. De l'effet Edison aux tubes électroniques 365

1.2.1. Les bases de l'électronique à tubes et l'invention de la diode 365

1.2.2. L'invention de la triode 367

1.3. Premières découvertes sur les semi-conducteurs 369

1.3.1. Quelques éléments de la physique des semi-conducteurs 369

1.3.2. Premiers travaux et découvertes sur les semi-conducteurs 372

1.3.3. Développement de la compréhension des propriétés des solides 373

1.3.4. Développement des propriétés de surface 373

1.4. Le processus de conception du transistor dans les Bell Labs 375

2. Principe de fonctionnement d'un transistor 377

2.1. La jonction PN 377

2.1.1. Polarisation directe 378

2.1.2. Polarisation inverse 378

2.2. Le transistor bipolaire à jonction (BJT : Bipolar Junction Transistor) 379

2.2.1. Etat bloqué 379

2.2.2. Etat passant 380

2.3. Le transistor à effet de champ (FET : Field Effect Transistor) 381

2.3.1. Principe de l'effet de champ 381

2.3.2. Transistor MOS et sa technologie de fabrication 382

3. Vers la fin de la miniaturisation CMOS ? 385

3.1. Principe de la réduction d'échelle 385

3.2. Les effets parasites de la miniaturisation du transistor MOS 387

3.2.1. Les effets canaux courts 387

3.2.2. Les résistances en série 388

3.2.3. Les courants de fuites de grille 388

3.2.4. La déplétion de grille 388

1. DU TUBE A VIDE AU TRANSISTOR

1.1. PRINCIPE DE L'EFFET AMPLIFICATEUR

Le principe de l'effet amplificateur illustre le fait d'obtenir, à la sortie d'un système, une grandeur de même nature et proportionnelle à la grandeur d'entrée du système. Par exemple, le levier permet d'obtenir en sortie un effort plus important qu'en entrée, l'engrenage permet d'avoir un déplacement plus important (ou plus faible) pour des mouvements rotatifs. Le transformateur, repose sur le même modèle conceptuel : il permet de multiplier ou de diviser la tension d'entrée. Aussi, quel que soit le cas, il est important de souligner que la variable de sortie est de même nature que la variable d'entrée et que le coefficient de proportionnalité est indépendant de l'entrée (i.e. intrinsèque au système)[118]. Ces types de systèmes sont généralement qualifiés de composants amplificateurs ou de dispositifs amplificateurs. D'autre part, il existe aussi d'autres systèmes qui permettent d'augmenter l'énergie en sortie, tout en conservant les caractéristiques présentées ci-dessus (i.e. l'énergie à la sortie du système est plus importante que l'énergie fournie à l'entrée du système). Evidemment, il impossible d'obtenir une génération d'énergie de façon ponctuelle. C'est donc au dispositif amplificateur de fournir cette énergie, notamment par l'intermédiaire d'une entrée supplémentaire directement reliée à une autre source d'énergie.

Puissance et énergie

La puissance est définie comme étant la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. En courant continu, la puissance absorbée P par un récepteur soumis à une tension U et traversé par un courant d'intensité I est donnée par la relation suivante :

$$P=UI$$

U en volts (V), I en ampères (A), P en watts (W)

L'énergie est la capacité d'un système à produire un travail, entrainant par exemple un mouvement, de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. L'énergie électrique consommée par un appareil est égale au produit de sa puissance P consommée par la durée t de fonctionnement :

$$E=Pt$$

E en joule (J), P en watts (W) et t en secondes (s)

Ce type de système est particulièrement intéressant dans la mesure où il est capable de réguler l'énergie tout en maintenant la régulation proportionnelle au signal d'entrée. En électronique, un tel dispositif est particulièrement intéressant car il permet, à partir de signaux de faible niveau, d'amplifier un signal, et de commander des actionneurs gourmands en puissance (haut-parleurs, moteurs, etc.) [Figure 154].

[118] Chevassu, C., Transistor bipolaires, polycopié de cours, 30p.

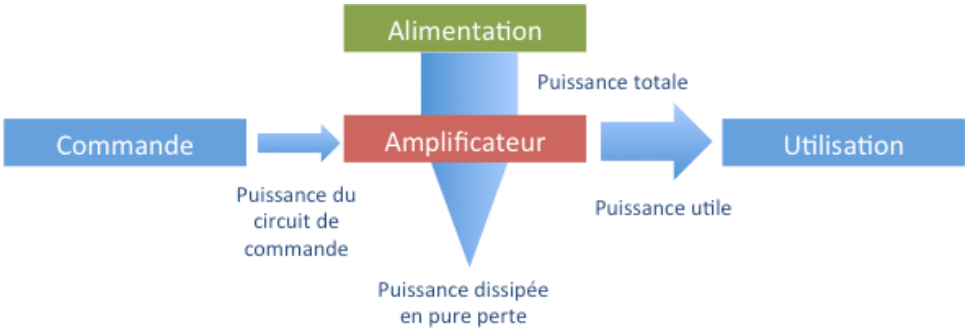


Figure 154: Modèle conceptuel d'un amplificateur de puissance

En électronique, le transistor à jonction sera l'un des principaux composants à pouvoir remplir cette fonction. Cependant, avant l'invention du transistor en 1948, cette fonction était remplie par des tubes à vide.

1.2. De l'effet Edison aux tubes electroniques

1.2.1. Les bases de l'électronique à tubes et l'invention de la diode

En 1883, Thomas Edison (1847-1931), inventeur et industriel américain, travaillait sur l'amélioration de sa lampe à incandescence. Le principe de fonctionnement de cette lampe était entièrement basé sur le phénomène d'incandescence. Lorsqu'un filament conducteur était porté à haute température par le passage d'un courant électrique, le filament émettait alors de la lumière. Edison étudia les causes de la détérioration de sa lampe et installa une plaque métallique dans l'ampoule. Il remarqua alors qu'un courant électrique pouvait passer entre le filament et la plaque métallique. Lorsqu'il appliquait une tension positive à la plaque de métal par rapport au filament il pouvait observer la circulation d'un courant. Cependant, lorsque cette tension était négative par rapport au filament, rien ne se passait. Cette unidirectionnalité du courant fût baptisée « effet d'Edison » [Figure 155]. En réalité, ce phénomène a été redécouvert accidentellement par Edison. En effet, l'émission d'un flux d'électron provenant d'un métal avait été déjà observée par le professeur Frederick Guthrie (1833-1886) en 1873. Ce phénomène est aussi appelé « émission thermoïonique ».

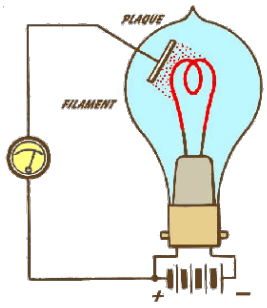


Figure 155: Illustration de l'effet Edison

C'est à partir de 1904, que le physicien anglais John Ambrose Fleming (1847-1931) invente et brevette le premier tube électronique, baptisé « valve ». Cette invention est considérée comme étant le point de départ de l'électronique. La lampe de Fleming est alors le premier redresseur à lampe[119] et est appelé indifféremment diode à vide, lampe à effet thermoïonique, redresseur de Fleming ou encore tube thermoïonique. Le fonctionnement repose sur un principe d'échange d'électron entre une cathode et une anode. Le potentiel négatif (« émetteur » d'électron) est appelé « cathode » et le potentiel positif est appelé « anode ». Lorsque l'on chauffe la cathode, des électrons vont s'échapper de la cathode et vont se retrouver dans le vide de l'ampoule entre les deux électrodes[120]. En effet, si certains électrons vont pouvoir rejoindre l'anode (qui va alors se charger légèrement négativement), la plupart d'entre eux vont former, à proximité de la cathode, un nuage d'électrons : la charge d'espace. Cette charge atteindra un niveau d'équilibre en fonction de la température de la cathode (i.e. de la tension de chauffage)[121] [Figure 156].

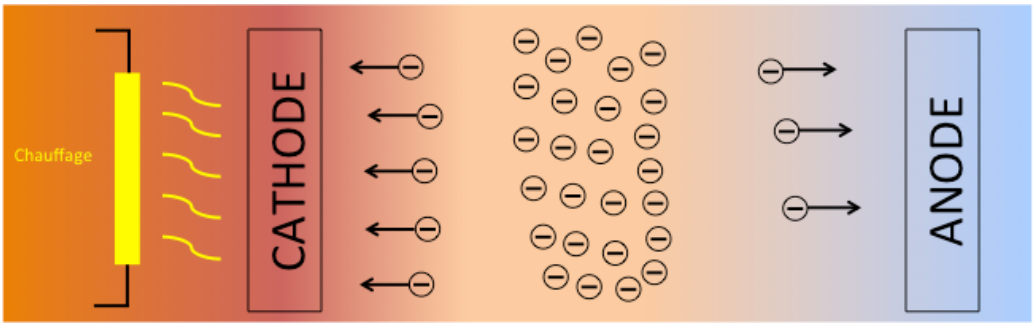


Figure 156: Modèle conceptuel de la charge d'espace dans un tube électronique (sans tension positive sur l'anode)

Lorsqu'on applique une tension positive à l'anode, on observe alors que les électrons, situés dans la charge d'espace, sont attirés par l'anode. De plus, de nouveaux électrons émis par la cathode vont alors rejoindre la charge d'espace. En effet, la densité de la charge d'espace reste constante [Figure 157].

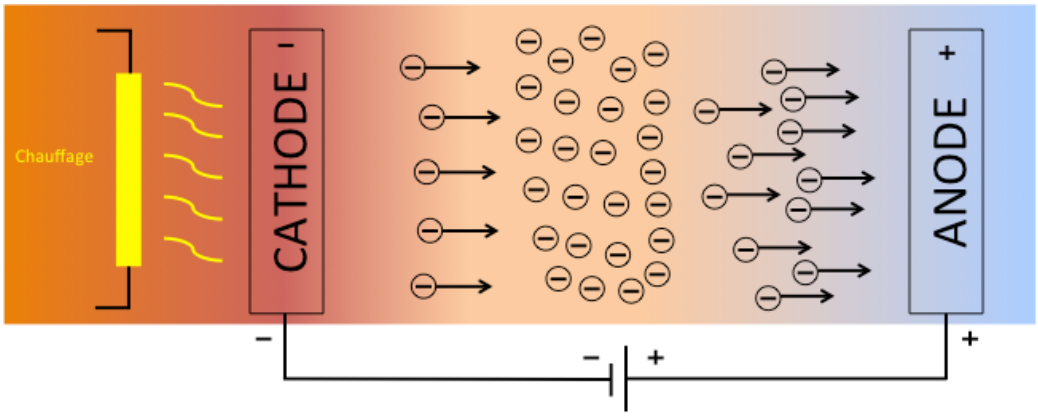
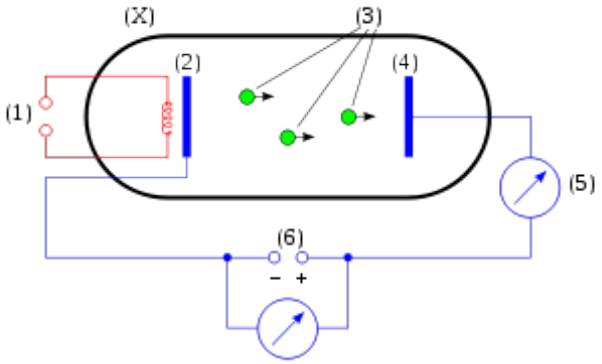


Figure 157 : Modèle conceptuel de la charge d'espace dans un tube électronique (avec tension positive sur l'anode)

[119] Redresser le courant, c'est l'obliger à circuler dans un seul sens.
[120] Pièce conductrice destinée à être mise en contact avec un milieu de conductivité (on appelle respectivement anode et cathode l'électrode par laquelle le courant entre dans le milieu et sort du milieu) (source : Dictionnaire Larousse).
[121] Les tubes électroniques : comment ça marche ? Histoire d'une révolution. (En ligne). http://anjeanje.free.fr/OldHeaven/OldHeavenTubes.htm (Consulté le 04/07/2014).

L'anode puise donc les électrons dans la charge d'espace, ce qui va produire un flux électronique (i.e. un courant) et cela indépendamment des conditions aléatoires d'émission électronique de la cathode. L'invention de Fleming aura un impact considérable sur le développement du télégraphe. Cependant, il faudra quelques années pour obtenir un système capable d'amplifier le signal.

Modèle conceptuel d'un tube électronique



1. Filament chauffé par une source électrique auxiliaire.
2. Cathode : chargée négativement.
3. Flux d'électrons se déplaçant de la cathode vers l'anode.
4. Anode : chargée positivement.
5. Courant électrique mesuré dans le circuit.
6. Source de tension permettant de charger positivement l'anode.

Source : Wikipédia

1.2.2. L'invention de la triode

En 1907, l'américain Lee de Forest (1873-1961) proposa d'introduire une grille entre le filament chauffé (cathode) et la plaque de la diode (anode) [Figure 158]. Il s'aperçut que les faibles variations de tension appliquées à la grille pouvaient entrainer de grandes variations de courant dans la plaque : la grille permettait donc de contrôler le déplacement du flux d'électrons. Grâce à cette invention, baptisée « l'Audion » [Figure 159] mais aussi appelé triode ou encore tube à trois électrodes, il était alors possible de contrôler et de doser les puissances d'émission radio et de récupérer des messages sonores de bonnes qualités[122]. Cette invention fut à l'origine de la radio, de la télévision, des radars et des premiers ordinateurs. Le principe de fonctionnement repose sur le fait que la grille possède un potentiel négatif par rapport à la cathode. Les électrons émis par la cathode constituent une charge d'espace située entre la cathode et la grille.

[122] Chevassu, C., Transistor bipolaires, polycopié de cours, 30p.

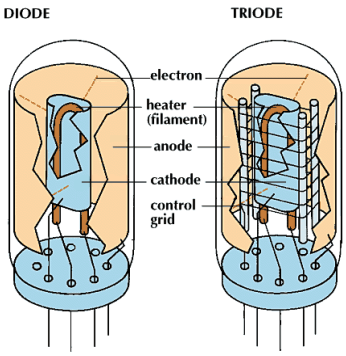


Figure 158: schéma illustrant une diode et triode

Suivant le potentiel plus ou moins négatif de la grille, les électrons seront plus ou moins freinés pour rejoindre l'anode. Ainsi, le flux d'électron (i.e. le courant) est contrôlé et piloter par la tension de la grille[123]. La triode, également appelée tube électronique ou tube à vide, est alors le premier système amplificateur d'un signal électrique.

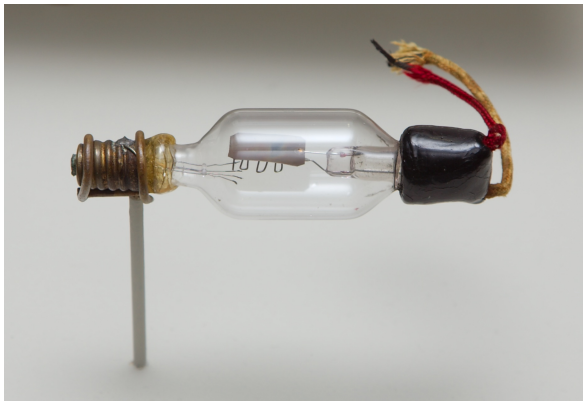


Figure 159: L'Audion de Lee De Forest, 1906.

<u>Joseph John Thomson et la découverte de l'électron</u>

A cette même époque (1906), Joseph John Thomson (1856-1940) recevait le prix Nobel de physique pour ses travaux sur la conductivité électrique dans les gaz. Thomson avait montré que « les rayons cathodiques » observés dans les tubes à vide étaient formés de corpuscules chargés négativement : l'électron. Pour Thomson, cette découverte fut fondamentale dans la mesure où elle permit de formuler l'hypothèse selon laquelle il était envisageable de considérer un « nouvel état de la matière », constitué de « corpuscules » de dimension inférieure à la matière habituelle.

Source : Marage, P. (1997), Il y a cent ans : la découverte de l 'électron, Histoire des sciences, 6p.

[123] En théorie, ce contrôle s'effectue sans consommer de puissance à la source du signal. En effet, dans une triode parfaite aucun courant ne peut circuler dans le circuit de grille.

1.3. PREMIERES DECOUVERTES SUR LES SEMI-CONDUCTEURS

1.3.1. Quelques éléments de la physique des semi-conducteurs

Dans les matériaux, la conduction électrique s'effectue principalement par les électrons libres à l'intérieur de ces matériaux. Il existe trois principales caractéristiques de matériaux concernant la conduction électrique :

- **Les isolants (verre, mica, silice, etc.)** : matériau dans lequel les électrons ne passent pas facilement d'un atome à un autre.
- **Les métaux (cuivre, or, argent, aluminium, etc.) :** matériau dans lequel les électrons se déplacent facilement entre les atomes.
- **Les semi-conducteurs (silicium, germanium, etc.) :** matériau dans lequel les électrons se déplacent assez bien entre les atomes.

La capacité d'un matériau à s'opposer ou non à la circulation d'électrons est représenté par sa résistivité.

Résistivité d'un matériau

La résistivité d'un matériau représente la capacité d'un matériau à s'opposer à la circulation du courant électrique. Cette résistivité s'exprime en ohm.mètre (Ω.m). Cette résistivité évolue en fonction de la température du matériau. Pour les métaux, la résistivité croit linéairement avec la température. Pour les semi-conducteurs, elle décroît avec la température.

Les électrons d'un atome se répartissent sur des niveaux d'énergie qui peuvent accueillir un nombre limité d'électrons. Ce nombre est égal à $2n^2$ où n correspond au numéro du niveau (couche) en partant du noyau[124]. Les électrons se répartissent suivant les différentes couches en occupant, dans un premier temps, les niveaux les plus proches du noyau. Pour le silicium, dont le numéro atomique Z est égal à 14, il y aura 2 électrons sur le premier niveau, 8 sur le second et 4 sur le dernier (ce niveau n'est donc pas plein car il peut en contenir jusqu'à 18 électrons ($2x3^2$)). La figure ci-dessous [Figure 160] illustre une représentation symbolique des atomes de silicium et de germanium, constitués de leurs niveaux d'énergie et des électrons qui les occupent.

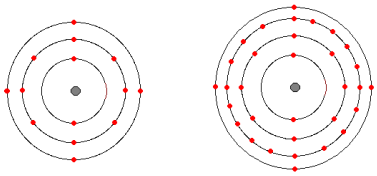


Figure 160: atome de silicium et atome de germanium

Un élément est stable quand il est constitué de huit électrons sur sa couche externe, ce qui n'est pas le cas des atomes isolés de silicium et de germanium (seulement 4 électrons sur la couche externe). Lors de la

[124] Chovet, A., Masson, P. (2005), Physique des semi-conducteurs, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, 75p.

formation d'un cristal[125], l'atome de silicium va « gagner » quatre électrons en formant des liaisons covalentes, qui correspond à la « mise en commun » de ses quatre électrons avec les atomes voisins [Figure 161]. Ainsi, afin d'obtenir huit électrons sur sa couche externe, un atome de silicium va s'allier à quatre autres atomes de silicium. Si aucune liaison n'est brisée, il n'y aura pas d'électrons libres. Le cristal sera donc isolant.

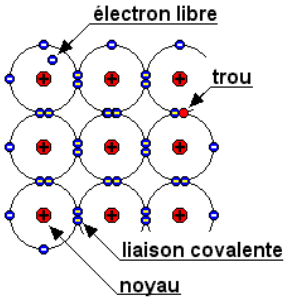


Figure 161: Représentation d'association d'atomes de silicium

En apportant une énergie suffisante (thermique ou lumineuse), il devient possible de briser une liaison de valence. Ainsi, les électrons libres ne participent plus à des liaisons cristallines et peuvent alors participer à la conduction électrique. Lorsqu'il apparaît un électron « libre » dans la bande de conduction, il apparaît dans le même temps une place libre dans la bande de valence qui peut alors être occupée par un autre électron de la bande de valence [Figure 162]. A cette place libre (appelée « trou ») est affectée une charge positive +q. Son déplacement se fera donc dans le sens opposé à celui des électrons lors de l'application d'un champ électrique.

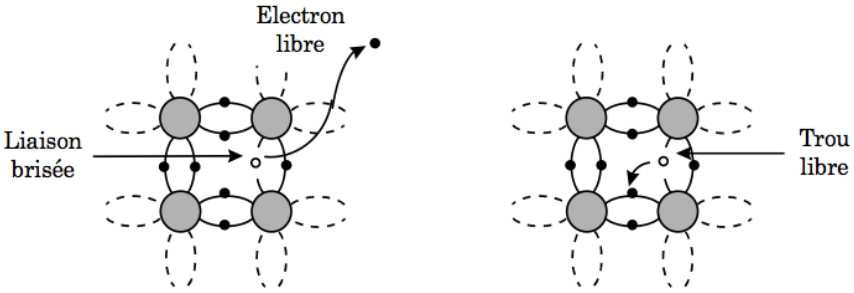


Figure 162: Apparition d'un trou et d'un électron lors d'une rupture de liaison covalente[126]

Théorie des bandes

Théorie modélisant les valeurs d'énergie que peuvent prendre les électrons d'un solide. Deux bandes d'énergie jouent un rôle particulier. La dernière bande complètement remplie se nomme la « bande de valence ». La bande d'énergie qui la suit s'appelle la « bande de conduction » (elle peut être vide ou partiellement remplie).

[125] Solide dont la structure atomique est ordonnée et périodique dans les trois directions de l'espace. (Dictionnaire Larousse)
[126] Chovet, A., Masson, P. (2005), Physique des semi-conducteurs, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, 75p.

Lorsqu'un cristal n'est pas pollué par des impuretés pouvant favoriser l'apparition de porteurs libres, un semi-conducteur est dit intrinsèque. Cependant, des électrons peuvent toujours devenir « libre », notamment à cause de la température du matériau. En effet, plus la température est élevée, plus il est probable qu'un électron obtienne l'énergie suffisante pour changer de bande. D'autre part, il est possible d'introduire certaines impuretés dans certain type matériau semi-conducteur. Cette introduction permet de modifier le nombre de porteurs libres, de choisir le type de conduction (par électrons ou par trous) et de contrôler la conductivité [Figure 163]. On parle alors de semi-conducteur extrinsèque ou de dopage.

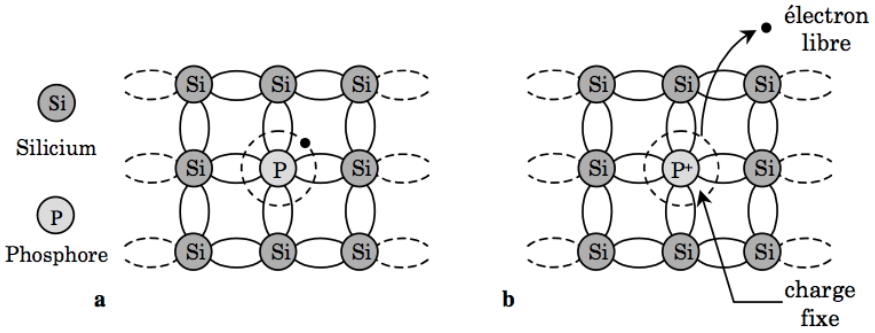


Figure 163: Silicium dopé au phosphore[127]

– **Semi-conducteur de type n**

Pour des semi-conducteurs de type n, des impureté (atome) de type donneur d'électron ont été introduits afin de permettre la conduction par électrons plutôt que par trous. La figure ci-dessus est un exemple de silicium dopé au phosphore (Z=15) qui possède cinq électrons sur la couche externe. Les quatre atomes voisins (de silicium) « prêtent » un électron à l'atome de phosphore, qui à son tour met en commun quatre de ses cinq électrons de sa couche externe. Un faible apport d'énergie peut alors « libérer » le cinquième électron de l'atome de phosphore qui se retrouve alors ionisé[128] positivement (charge fixe). La concentration en électrons (appelée concentration en porteurs « majoritaires ») sera alors égale à la concentration en dopant N_D.

– **Semi-conducteur de type p**

Pour des semi-conducteurs de type p, des impuretés (atome) de type accepteur d'électrons ont été introduits. La figure ci-dessous est un exemple de cristal de silicium dans lequel on a introduit des atomes de bore. L'atome de bore (Z=5), comporte deux électrons sur sa couche externe, et sept électrons lorsqu'il est lié à quatre atomes voisins de silicium. Pour être stable, il aura tendance à subtiliser un autre électron à un autre atome, qui lui-même peut en prendre un à ses voisins, et ainsi de suite. Le bore se retrouve ainsi ionisé négativement et on assiste au déplacement d'un trou (libre) d'atome en atome [Figure 164].

[127] Chovet, A., Masson, P. (2005), Physique des semi-conducteurs, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, 75p.
[128] Un ion est une espèce chimique électriquement chargée

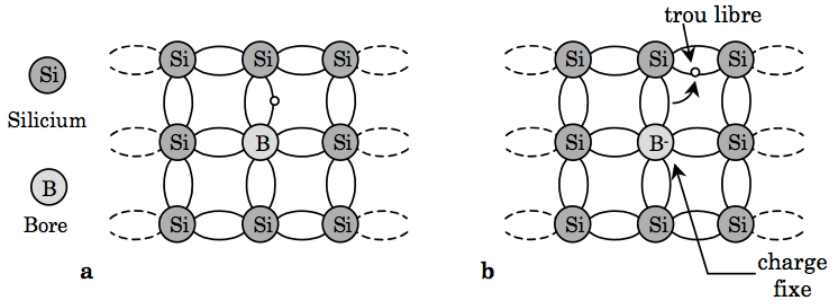


Figure 164: Silicium dopé au bore

1.3.2. Premiers travaux et découvertes sur les semi-conducteurs

C'est en 1833, que Faraday (1791-1867) observa pour la première fois qu'un matériau pouvait avoir un coefficient de température négatif[129]. C'est sans doute la première observation sur les semi-conducteurs, dans la mesure où cette caractéristique est différente de celles des métaux. En effet, les métaux ont une résistance électrique croissante avec la température. Une autre contribution majeure fut l'observation, en 1839 par Becquerel (1852-1908), d'une tension produite par un éclairement de la surface d'une électrode dans un électrolyte[130]. A partir de 1874, Braun (1850-1918) fut un des premiers à découvrir que les contacts entre certains matériaux pouvaient redresser la tension, c'est à dire que la résistance électrique de certains matériaux n'obéissait pas à la loi d'Ohm, mais dépendait de l'amplitude et du signe de la tension appliquée[131]. Ainsi, jusqu'en 1885, les propriétés fondamentales des semi-conducteurs se résumaient à la résistance à coefficient de température négatif, à l'effet de redressement, à la photoconductivité[132] et enfin à la photo-électricité[133]. Toutes ces propriétés avaient été observées sur des matériaux différents. En 1888, Hertz (1857-1894) démontra l'existence d'ondes radioélectriques dans les semi-conducteurs. Il fallut attendre 1904, pour la mise au point de détecteurs d'ondes radioélectriques. Pierce mis au point un détecteur basé sur une pointe mise en contact avec de la galène, du carbure de sélénium et du silicium. Avec la venue des tubes à vide, l'intérêt pour les détecteurs à pointe diminua considérablement. A partir de 1920, le développement commercial des redresseurs et des cellules photo-électrique marqua une nouvelle période dans l'utilisation des matériaux semi-conducteurs. A cette époque, les redresseurs étaient utilisés pour les chargeurs de batterie et les cellules photo-électriques pour la photographie. Cependant, la réelle compréhension de ces phénomènes viendra avec l'avènement de la mécanique quantique et avec l'amélioration de la connaissance des propriétés des solides.

[129] Le coefficient de température représente la variation d'une propriété physique (résistance d'un conducteur, capacité d'un condensateur, etc.) en fonction de l'augmentation de la température. Le coefficient peut être positif, lorsque la grandeur concernée augmente avec la température ou négatif dans le cas contraire.
[130] Un électrolyte est une substance conductrice, car elle contient des ions mobiles.
[131] Renard, G. (1963), La découverte et le perfectionnement des transistors, Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, Tome 14 n°4, 323-358.
[132] Accroissement de la conductivité électrique d'un matériau semi-conducteur quand il est éclairé par un rayonnement électromagnétique
[133] Emission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière

1.3.3. Développement de la compréhension des propriétés des solides

En 1879, le scientifique américain Edwin Hall (1855-1938) découvrît qu'un courant d'électrons, soumis à champ magnétique perpendiculaire à sa direction, pouvait être dévié (effet Hall). Cette découverte fut une avancée importante pour la compréhension des processus de conduction. Lorsque les mesures de l'effet Hall furent appliquées sur les matériaux semi-conducteurs, il en ressortit plusieurs conclusions parmi lesquelles que le nombre de porteurs est plus petit dans les semi-conducteurs que dans les métaux et que la mobilité des porteurs est plus importante dans les semi-conducteurs. La mobilité devint une propriété essentielle du solide et on observa, pour les métaux, qu'elle décroisait lorsque la température augmentait. Ainsi, la différence entre métaux et semi-conducteurs était maintenant fixée. En effet, la communauté de chercheurs s'accordait sur le fait que pour les métaux, la mobilité était légèrement sensible à la structure et décroissait avec une augmentation de la température (le nombre de porteurs restant presque constant). Cependant, pour les semi-conducteurs, la mobilité des porteurs étaient plus faibles et croissaient avec la température. La résistance électrique d'un semi-conducteur était donc sensible à la structure ou à la propriété extrinsèque[134] de ce dernier. En même temps que les travaux sur la mécanique quantique progressaient, les recherches de Davison (1881-1958), Germer (1896-1971) et ceux de G. P. Thomson (1892-1975) démontèrent la nature ondulatoire de l'électron. Le concept d'énergie avec un électron par niveau, le principe d'exclusion de Pauli (1900-1958), et la statistique de Fermi-Dirac[135], permirent aussi une meilleure compréhension des phénomènes de conduction métallique. A partir de 1931, A. H. Wilson (1906-1995) proposa un modèle de mécanique quantique du solide semi-conducteur, qui devînt fondamental pour comprendre le comportement des semi-conducteurs[136]. Ce modèle pouvait être décrit comme une représentation de l'électron en tant qu'une onde dans le solide. Cela conduisit au concept des bandes d'énergie dans le solide.

1.3.4. Développement des propriétés de surface

Dans les années 30, les scientifiques ont observé qu'il était possible d'obtenir de plus ou moins grand redressement en fonction des contacts entre métaux et semi-conducteurs. Il devînt alors clair que le redressement et que les propriétés non ohmiques des semi-conducteurs pouvaient être liés à des effets de surface[137]. A cette époque, l'objectif principal pour les chercheurs était d'expliquer le redressement à la surface. Il avait été observé, que lorsqu'on éclairé fortement les contacts redresseurs, ces mêmes contacts produisaient une force électromagnétique. On observait aussi que les semi-conducteurs de type p (trou) se chargeaient positivement alors que ceux de type n (électron) se chargeaient négativement. Cependant, on ne comprenait pas encore pourquoi il y avait des porteurs de signe positif en plus des porteurs négatifs (électron). A partir de 1939, W. Schottky (1886-1976), N. F. Mott (1905-1996) et B. Davydov, proposèrent les premiers modèles théoriques expliquant le redressement. Pendant la même période, des avancées en chimie et en métallurgie permirent d'obtenir du silicium pur. D'autre part, des études proposèrent des façons de préparer le silicium de type p ou de type n. A partir de silicium de type n, on

[134] Semi-conducteur dopé par des impuretés qui permettent de contrôler sa résistivité
[135] Introduite en 1926 par Enrico Fermi (1901-1954) et Paul Dirac (1902-1984).
[136] Renard, G. (1963), La découverte et le perfectionnement des transistors, Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, Tome 14 n°4, 323-358.
[137] Modifications des états électroniques à la surface du matériau

réussissait à obtenir du silicium de type p, grâce au dopage[138]. C'est à cette période que la jonction PN fut développée.

Jonction PN

Une jonction PN correspond à la mise en contact de deux zones respectivement dopées P et N. Lorsque les deux zones sont en contact, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant (tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre). Les trous de la zone P vont rejoindre la région N laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui vont rejoindre la région P laissant derrière eux des charges positives. Il apparait aussi au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives : La région dépeuplée de porteurs mobiles est appelée zone de charge d'espace (ZCE) ou encore zone de déplétion [Figure 165].

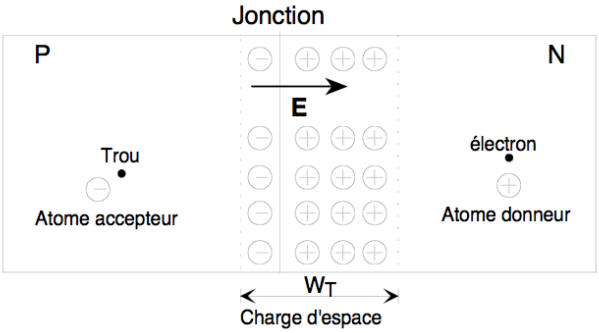
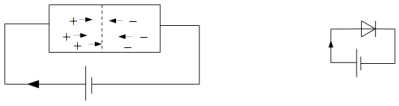
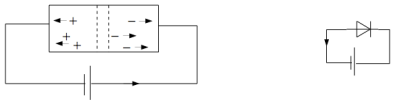


Figure 165: Représentation d'une jonction PN

Lorsque la partie P est reliée à un pôle positif d'une source de tension, la jonction PN se comporte comme un conducteur.



Lorsque la partie N est reliée à un pôle positif d'une source de tension, la jonction PN s'élargit et s'oppose à toute migration de charges.



Source : Diodes à Jonction (Cours Université de Limoges)

[138] Action d'ajouter des impuretés afin d'obtenir de nouvelles propriétés de conductivité.

1.4. Le processus de conception du transistor dans les Bell Labs

Les avancées dans la compréhension des effets de conduction dans les matériaux, ainsi que l'analogie avec les tubes à vides, suggéraient aux chercheurs de concevoir de nouveaux dispositifs susceptibles de remplacer la triode. En effet, les triodes étaient particulièrement encombrantes, fragiles et consommaient beaucoup de puissance. Cependant, la Seconde Guerre mondiale bouleversa les programmes de recherche et notamment les travaux sur les semi-conducteurs. Les scientifiques d'un domaine particulier furent recrutés dans d'autres domaines et *vice versa*[139]. D'autre part, la plupart des études réalisées autour des années 30 et 40 furent placés sous secret et n'ont donc pas été publiés. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les laboratoires Bell[140] (Bell Labs) furent l'un des principaux bénéficiaires des fonds gouvernementaux. Pendant cette période, les Bell Labs réalisèrent plus de 2 000 projets de recherches pour les armées et le ministère de la défense. De plus, entre 1949 et 1959, le gouvernement américain finança, à auteur de 600 millions de dollars, certains programmes de recherche des Bell Labs (soit 50% du budget total de recherche des Bell Labs)[141]. Au sein des Bell Labs, Mervin J. Kelly (1895-1971) fut le premier à proposer l'idée de concevoir et de développer un dispositif de commutation[142] à l'aide de matériaux semi-conducteurs. Keely était le directeur de la recherche au sein des Bell Labs et avait eu l'idée visionnaire de vouloir remplacer les relais téléphoniques[143] (composé de triodes) par des dispositifs à l'état solide.

Avant la Guerre, en 1936, Keely avait recruté un jeune docteur William B. Shockley (1910-1989) au sein des Bell Labs. Dans un premier temps, Shockley fut affecté au département des tubes électroniques (Vacuum Tube Department). Ce n'est qu'en 1939 que Kelly devient directeur des Laboratoires Bell et qu'il nomma Shockley responsable des projets en liens avec les matériaux semi-conducteurs. Malheureusement, ces travaux de recherches seront interrompus pendant la guerre. Au printemps 1945, Keely fut nommé vice-président des Bell Labs, en charge de la recherche. En juin 1945, il réorganise les objectifs de recherche et établit de nouveaux groupes de recherche. C'est à ce moment que Kelly créa le Solid State Physics Department, à la tête duquel il plaça Shockley et le chimiste Stanley Morgan. Peu de temps après, les scientifiques Walter Brattain (1902-1987) et John Bardeen (1908-1991) rejoignirent le Solid State Physics Department. L'objectif principal du Solid State Physics Department était de trouver un nouveau moyen d'amplifier le courant. En 1945, Shockley avait conçu un premier prototype amplificateur à semi-conducteur : « *a small cylinder coated thinly with silicon, mounted close to a small, metal plate* »[144]. Cependant, le dispositif n'a pas fonctionné et Shockley avait alors affecté Bardeen et Brattain afin d'en comprendre les causes. Entre le 17 novembre 1947 et le 23 décembre 1947, Brattain et Bardeen effectuèrent de nombreuses expériences afin de comprendre et d'améliorer le premier dispositif. Pendant ces recherches, ils mirent aussi en évidence les effets de champ dans des matériaux semi-conducteurs. Le 16 décembre

[139] Renard, G. (1963), La découverte et le perfectionnement des transistors, Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, Tome 14 n°4, 323-358.
[140] Laboratoire de recherche des entreprises American Telephone & Telegraph et Western Electric.
[141] Millman, S. (Editor) (1983), A History of Engineering and Science in the Bell System, AT&T Bell Laboratories, 521 p.
[142] Un dispositif de commutation peut être assimilé à interrupteur ouvert ou fermé (diode par exemple).
[143] Dispositif permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande.
[144] Levine, A. (2008), John Bardeen, William Shockley, Walter Brattain, Invention of the Transistor - Bell Laboratories, American Physical Society, http://www.aps.org/programs/outreach/history/historicsites/transistor.cfm, page consultée le 9 juillet 2014.

1947, un semi-conducteur composé d'un bloc de germanium est mis en contact avec le sommet un triangle en plastique constitué de deux pointes en or (émetteur et le collecteur) [Figure 166]. Les deux points de contact en or étaient isolés électriquement et très proche l'un de l'autre.

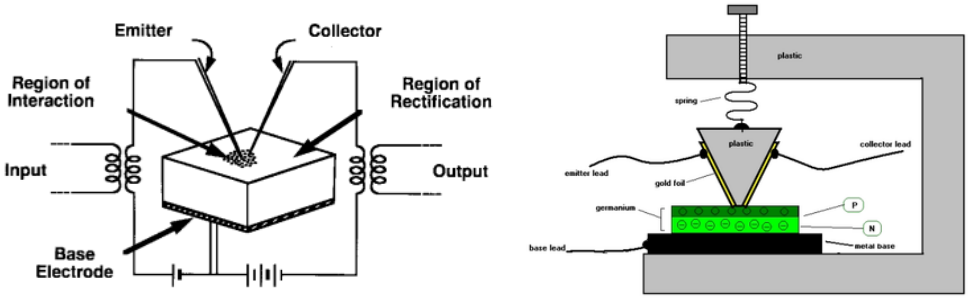


Figure 166: Modèle conceptuel du transistor à pointe

Au cours de l'expérience, ils remarquèrent qu'un petit courant positif appliqué à l'un des deux contacts avait une influence sur la valeur du courant qui se propageait dans l'autre contact et dans le substrat de germanium. Une faible variation du premier courant impliquait une plus grande variation dans le second courant de contact. Il était donc possible d'amplifier un courant par l'intermédiaire d'un composant solide. Pour la première fois, un système amplificateur à l'état solide avait été conçu : le transistor[145] [Figure 167]. Les trois scientifiques reçurent le prix Nobel de physique en 1956 pour leurs travaux.

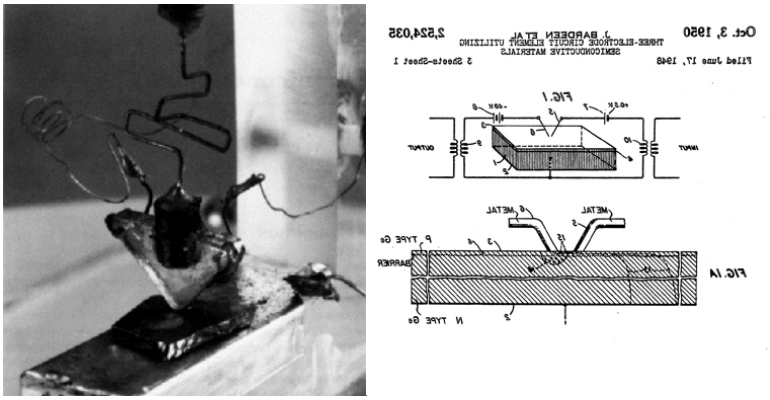


Figure 167: Premier transistor et son brevet en 1947

Peu de temps après, en 1949, Shockley mis au point la théorie des jonction P-N. Il conçu, deux ans plus tard, le transistor à jonction (transistor bipolaire) et, en 1952 il inventa le transistor à effet de champ, basé sur un effet qui avait été précédemment découvert par Lilienfield en 1928. Le premier récepteur radio à transistor apparu en 1955 et c'est en 1959 que Jack S. Kilby (1923-2005) conçu le premier circuit intégré (appelé aussi « puce »).

[145] Le nom transistor vient de la contarction TRANsfer reSISTOR, donnée par J.R. Pierce (1910-2002)

2. Principe de fonctionnement d'un transistor

2.1. La jonction PN

La base de la structure des transistors repose sur la jonction PN. Cette jonction permet notamment le passage du courant dans un sens unique (diode). Dans la figure si dessous [Figure 168], la zone de type P est constitué de trous (porteurs majoritaires) et d'électrons (porteurs minoritaires). La zone de type N est constitué d'électrons (porteurs majoritaires) et de trous (porteurs minoritaires).

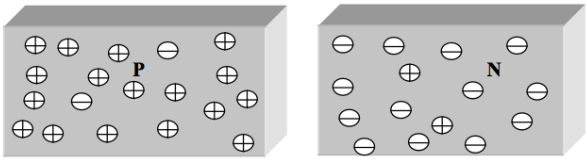


Figure 168: Jonction PN

1ière Phase : collage des deux substrats

Les charges vont se déplacer par diffusion naturelle : Puisque des électrons libres majoritaires sont mis en présence de trous libres majoritaires, les porteurs libres de chaque jonction vont se recombiner[146] [Figure 169].

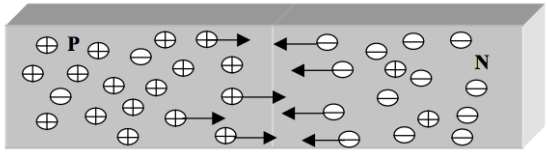


Figure 169: Phase1, collage des deux substrats

2ème Phase : formation de la zone de charge d'espace (ZCE)

La recombinaison autour de la jonction fait apparaître une zone électriquement neutre appelée Zone de Charge d'Espace (ZCE) ou zone de déplétion [Figure 170].

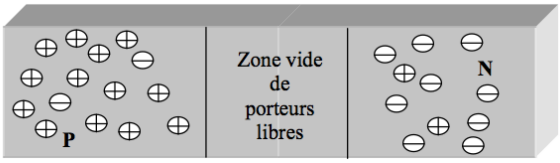


Figure 170: Phase 2, formation de la zone de déplétion

[146] Lasne, L. (2003), Physique et technologie des composants de puissance, Département E.E.A, Université Bordeaux 1, 33p.

3ème Phase : Le champ électrique de la ZCE, jonction stabilisée

Les charges fixes laissées par le départ des porteurs libres voisins de la ZCE provoquent une polarisation électrique de la ZCE, c'est à dire un champ électrique interne[147] [Figure 171].

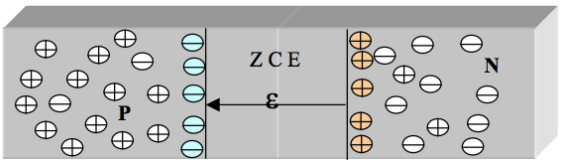


Figure 171: Phase 3, champ électrique de la ZCE

A ce stade, le déplacement des charges par diffusion s'oppose à l'action du champ électrique (ε). L'équilibre est atteint lorsque l'action du champ est égale à celle de la diffusion naturelle (i.e. courant de diffusion = le courant de saturation[148]). Le champ interne de la jonction est donc opposé à la circulation des porteurs (i.e. du courant électrique). Ainsi, pour imposer un courant, il faudra vaincre le champ interne.

2.1.1. Polarisation directe

Si on applique une tension extérieure $V_{ext}>0$, on crée alors un champ électrique dans la jonction, qui est opposé au champ propre ε. Si $\varepsilon_{ext} > \varepsilon$, la résultante des champs sera positive. Ainsi, un courant de trous et d'électrons va pouvoir circuler [Figure 172].

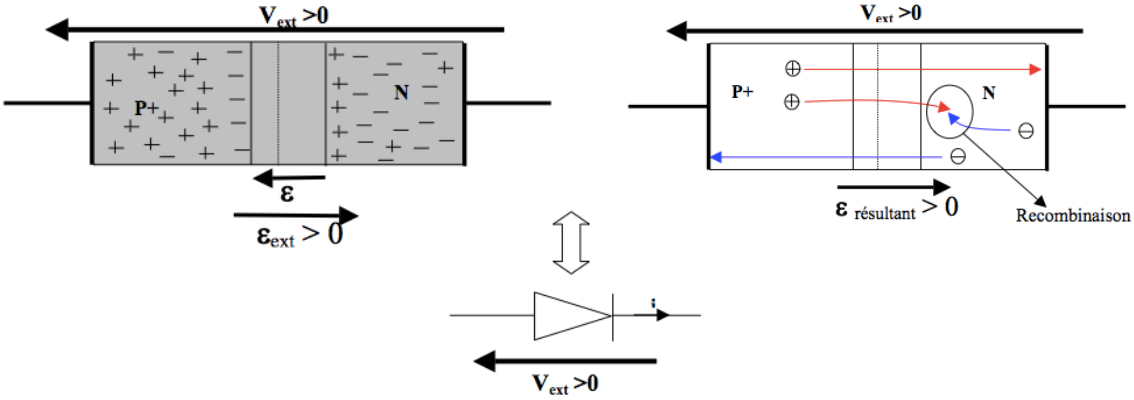


Figure 172: Modèle conceptuel d'une polarisation directe

2.1.2. Polarisation inverse

Si on applique une tension extérieure $V_{ext}<0$, le champ externe s'ajoute au champ interne, la ZCE va donc augmenter. Ainsi le passage de courant devient impossible : diode est bloquée [Figure 173].

[147] Lasne, L. (2003), Physique et technologie des composants de puissance, Département E.E.A, Université Bordeaux 1, 33p.
[148] Celui créé par le champ

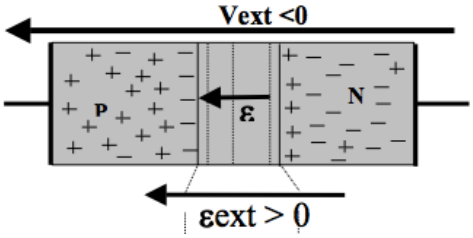


Figure 173 : Modèle conceptuel d'une polarisation inverse

2.2. Le transistor bipolaire a jonction (BJT : Bipolar Junction Transistor)

Le transistor bipolaire fonctionne sur le même principe que le transistor à pointe de 1947. Le transistor bipolaire est constitué de trois couches de semi-conducteurs dopés[149] :

- **L'émetteur :** coupe fortement dopé ayant pour objectif de réaliser « l'injection » massive de porteurs majoritaires.
- **La base :** fine couche faiblement dopée, ayant pour rôle de transmettre ou de stopper les porteurs majoritaires provenant de l'émetteur et en direction du collecteur.
- **Le collecteur :** couche faiblement dopée, ayant pour mission de recevoir les porteurs majoritaires et d'assurer une bonne tenue en tension inverse (polarisation inverse : la diode est bloquée.

On distingue deux types de transistors bipolaires : les transistors NPN et PNP. Le schéma ci-dessous représente les zones de charges correspondant aux jonctions BE et BC d'un transistor NPN [Figure 174].

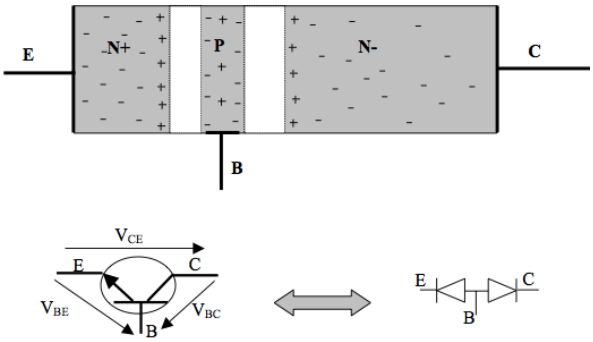


Figure 174: Modèle conceptuel d'un transistor bipolaire NPN

2.2.1. Etat bloqué

Lorsque $V_{BE}<0$ et $V_{CE}>0$, les deux jonctions (NP et PN) sont polarisées en inverse : le transistor ne permettra le passage d'aucun courant. Le transistor sera équivalent à un interrupteur ouvert [Figure 175].

[149] Lasne, L. (2003), Physique et technologie des composants de puissance, Département E.E.A, Université Bordeaux 1, 33p.

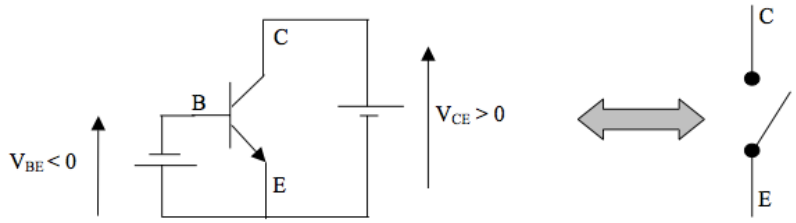


Figure 175: Etat bloqué – transistor bipolaire NPN

2.2.2. Etat passant

Lorsque $V_{BE}>0$ et $V_{CE}>0$, la jonction BE sera passante : le champ résultant implique un mouvement des porteurs de l'émetteur vers la base[150]. Etant donné que la base est particulièrement courte, il y a très peu de recombinaisons avec les trous (majoritaires dans la base). Les électrons ayant traversés la base sans avoir subi de recombinaisons arrivent à la jonction BC (polarisée en sens inverse). En effet, le champ électrique qui y règne les entraîne vers le collecteur[151]. Ce processus correspond à l'effet transistor [Figure 176 & 177].

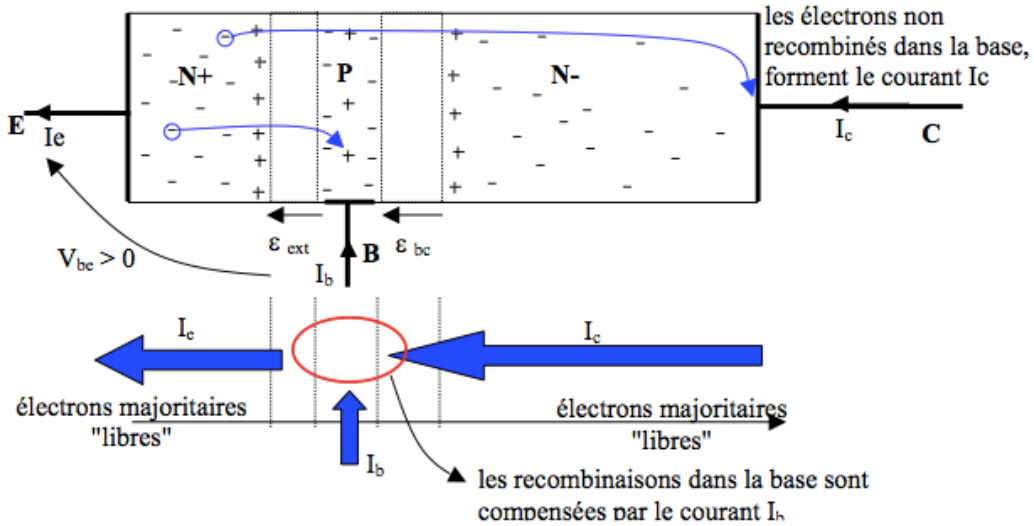


Figure 176: Etat passant - transistor bipolaire NPN

Les quelques recombinaisons, se produisant dans la base, induisent un courant I_b proportionnel au courant du collecteur I_c. Le gain de courant (β) est défini par la relation suivant : $I_c = \beta I_b$

[150] Lasne, L. (2003), Physique et technologie des composants de puissance, Département E.E.A, Université Bordeaux 1, 33p.
[151] Vanderheyden, B., Transistor bipolaire à jonction, Department of Electricity, Electronics, and Computer Science (Montefiore Department), Université de Liège, p. 37-56.

Le gain de courant peut varier de 10 à 1000 selon le modèle de transistor et illustre la capacité d'amplification en courant du transistor bipolaire.

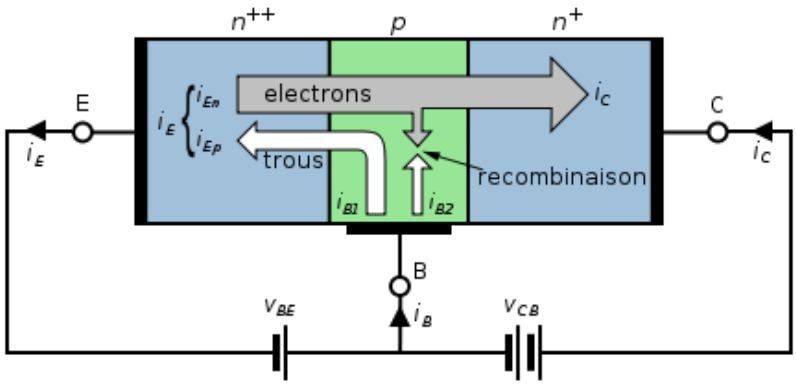


Figure 177: Principe physique du transistor NPN

2.3. Le transistor a effet de champ (FET : Field Effect Transistor)

2.3.1. Principe de l'effet de champ

Contrairement aux transistors bipolaires, le fonctionnement d'un transistor à effet de champ ne repose pas sur deux types de porteurs différents (les trous et les électrons) [Figure 178]. Le transistor FET fonctionne avec seulement un type de charges : les trous ou les électrons. De plus, l'état de conduction et l'intensité du courant sont contrôlés par la tension appliquée à une électrode de grille. Le transistor à effet de champ à jonction (JFET : Junction Field Effect Transistor) est un premier exemple de transistor à effet de champ. Un transistor JFET est constitué d'un substrat de type P (très fortement dopé), sur lequel on diffuse une zone dopée N : le canal. Au centre du dispositif, on diffuse une grille (gate) dopée P, directement reliée au substrat de chaque côté de la grille. Enfin, on dispose de deux îlots très fortement dopées N : la source (zone d'entrée des électrons dans le dispositif) et le drain (zone de sortie des charges). Il existe aussi des JFET ayant un canal P qui sont complémentaires des transistors canal N[152].

[152] Rousseau, J. J., Les transistors à effet de champ, Faculté des Sciences exactes et naturelles, Université du Maine, 24 p.

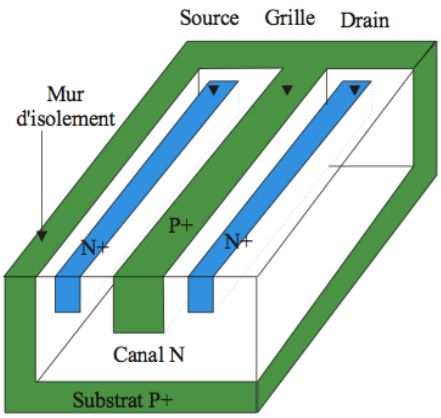


Figure 178: Transistor à effet de champ à jonction

Le fonctionnement des transistors FET est bien plus simple que celui des transistors bipolaires. Historiquement, le concept de transistor à effet de champ date des années 30 (brevet de Lilienfeld). Cependant, le manque de compréhension du rôle joué par les effets de surface a retardé son développement. Aujourd'hui, il existe une grande variété de transistor à effet de champ : les JFET (Jonction Field Effect Transistors), dans lesquels la tension de grille contrôle l'extension de la région de déplétion d'une jonction PN, les MESFET (Metal-semiconductor FET), dans lesquels la jonction PN est remplacée par une jonction métal-semi-conducteur, et enfin les MOSFET (Metal-oxide-semiconductor FET), dans lesquels la grille est séparée du semi-conducteur par un oxyde, jouant le rôle d'un isolant[153].

2.3.2. Transistor MOS et sa technologie de fabrication

– **Le transistor MOSFET**

Le premier prototype d'un transistor MOSFET (ou transistor MOS) date de 1960 et a été conçu par Atalla et Khang des Bell Labs. La figure, ci-dessous, représente un transistor MOSFET à canal N fabriqué sur un substrat de type P [Figure 179].

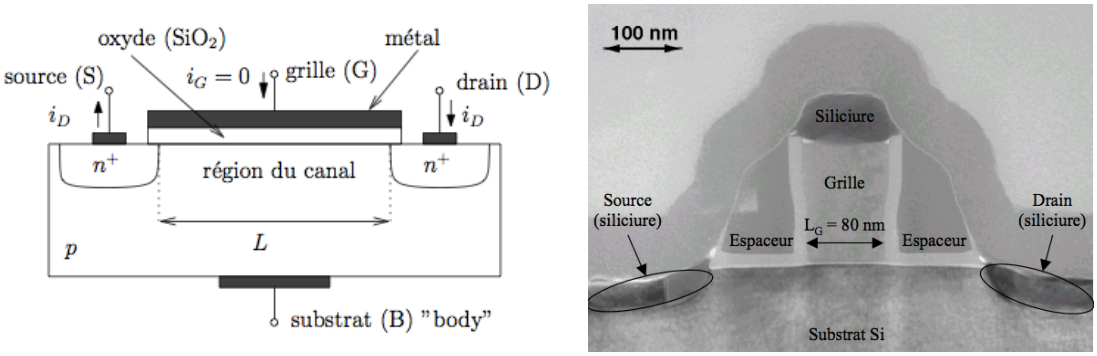


Figure 179: Schéma de principe et vue microscopique d'un transistor MOSFET

[153] Vanderheyden, B., Transistors à effet de champ, Department of Electricity, Electronics, and Computer Science (Montefiore Department), Université de Liège, p. 103-114.

Dans un transistor MOSFET, l'objectif est de contrôler et de commander le passage d'un flux de porteurs de charges de la source jusqu'au drain. Afin de permettre la circulation d'un courant, il faut créer un canal de conduction. Pour cela, on applique une tension positive à la grille (par rapport à la source) [Figure 180] :

- Premièrement, cette tension repousse les trous (porteurs majoritaires du substrat) et crée une zone de déplétion sous la grille **(a)**
- Deuxièmement, une tension positive V_G attire les électrons sous la grille. Lorsque la densité est suffisante, il se forme un canal de conduction **(b)**

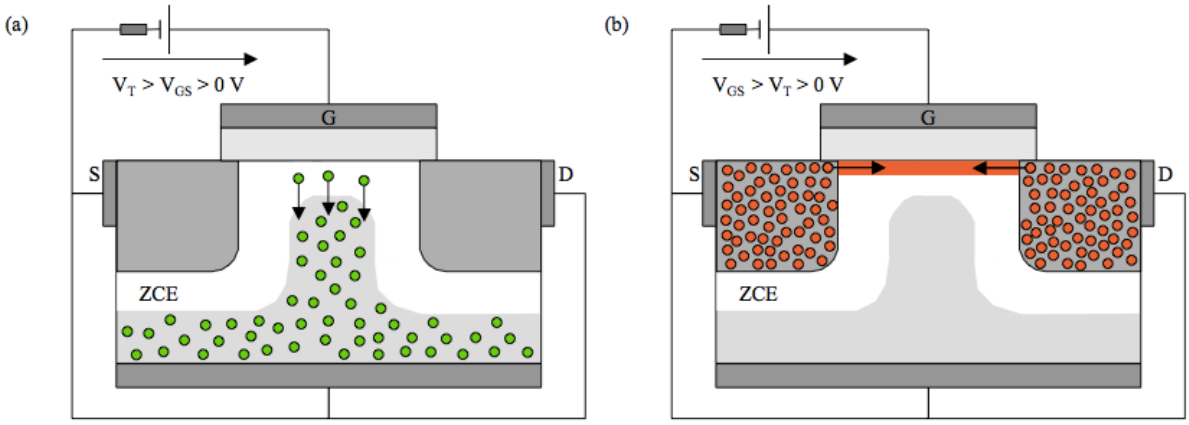


Figure 180: Création d'un canal de conduction dans un transistor MOS[154]

Soit le point de référence V_S (tension de source). Un canal de conduction est créé lorsque la tension V_{GS} est supérieur à une tension de seuil V_T [Figure 181].

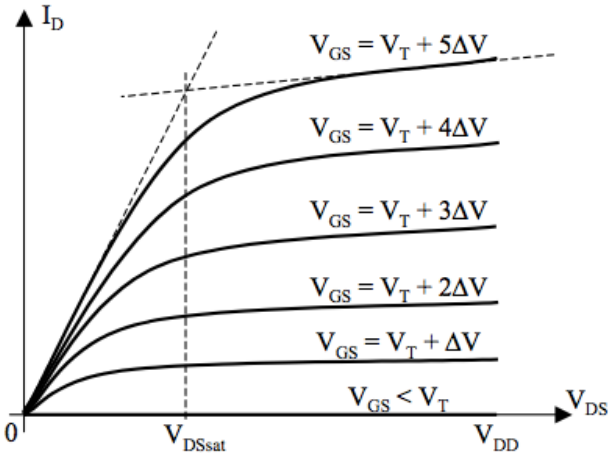


Figure 181: Caractéristique d'un transistor MOSFET à canal N

[154] Galdin-Retailleau, S., Bournel, A., Dollfus, P., Electronique Ultime, Institut d'Electronique Fondamentale, Université Paris Sud, 24p.

– **La technologie CMOS**

Depuis quelques années la conception de circuits intégrés est largement dominée par la technologie CMOS (Complementary MOS). Cette technologie associe deux types de transistors MOSFET : le transistor NMOS à canal d'électron et le transistor PMOS à canal de trous [Figure 182]. Cette association de transistor permet d'effectuer toutes les opérations logiques nécessaire au fonctionnement d'un circuit électronique. Lorsqu'un transistor conduit, l'autre est fermé. Ainsi, une porte logique CMOS ne consomme de l'énergie uniquement lors de la commutation. De plus, la technologie CMOS possède une très bonne adaptation à la miniaturisation et à l'automatisation de la conception de circuit[155].

Opération logique

En électronique, une opération logique est une opération dont le résultat est une variable logique (1 ou 0). Les variables d'entrée sont elles aussi des variables logiques. Exemple de la fonction inverseur :

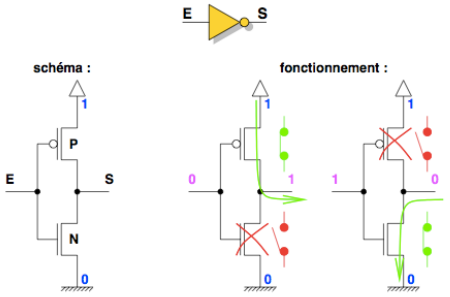


Figure 182: Fonction inverseur, un transistor N et un transistor P

En 2001, la technologie CMOS représentait 86% de la production mondiale des circuits intégrés. Si le premier circuit intégré CMOS consistait en un inverseur composé de deux transistors, en 2011, certaines puces totalisaient plus 4 milliards[156] de transistor [183].

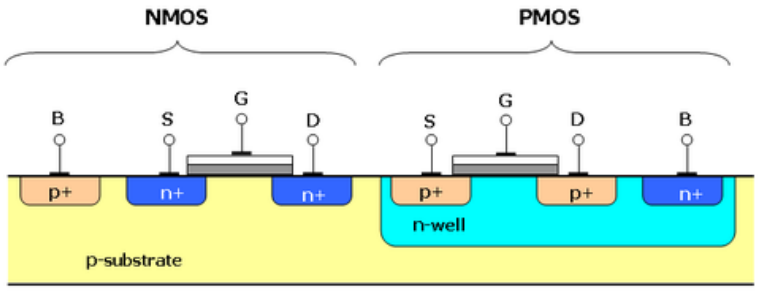


Figure 183: Transistor NMOS et PMOS dans une technologie CMOS

[155] Skotnicki, T. (2000a), Circuits intégrés CMOS sur silicium, Technique de l'ingénieur, 17 p.
[156] Altera's 28-nm Stratix V FPGAs

3. VERS LA FIN DE LA MINIATURISATION CMOS ?

3.1. PRINCIPE DE LA REDUCTION D'ECHELLE

Dans l'industrie de la microélectronique, la taille caractéristique d'une génération de composant (aussi appelé nœud technologique) correspond principalement à la demi distance minimale entre deux lignes d'interconnexions (Andrieu, 2005). En 2005, la majorité de la production de la technologie CMOS est basée sur la génération 130nm (sur une tranche de silicium de 200 mm de diamètre). A cette même époque, la génération 90nm (longueur de grille d'environ 50nm) était sur le point de remplacer la précédente génération, le nœud 65nm (longueur de grille d'environ 30nm) devait rentrer en phase de production en 2006 et le nœud 45nm (longueur de grille d'environ 20nm) était en cours de développement. Dans le fonctionnement normal du transistor MOS (ou MOSFET) [Figure 184], brique élémentaire de la technologie CMOS, l'électrode de commande est la grille. En modifiant la résistivité du canal conducteur, cette grille assure le passage (ou non) du courant entre la source et le drain. Ainsi le transistor peut être utilisé pour des applications analogiques (ex : amplificateur du courant) ou numérique (ex : interrupteur)[157].

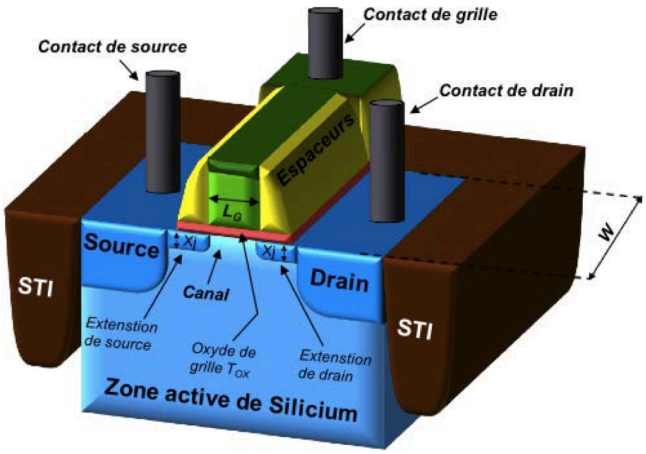


Figure 184: Vue en 3D d'un transistor MOS (Huguenin, 2006)

Le passage d'un nœud technologique à un autre est principalement motivé par la demande croissante en circuits intégrés puissants, denses et à faible consommation d'énergie. Cette réduction *(« scaling »)* est aussi le résultat d'une stratégie de recherche et de développement, organisée autour de la *« loi de Moore »*. C'est en 1965, que Gordon Moore (cofondateur d'Intel) proposa pour la première fois une « loi [158]», prédisant un doublement tous les deux ans du nombre de transistors sur un circuit intégré :

> *"The complexity for minimum components costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year. Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not to increase. Over the*

[157] Andrieu, F. (2005), Transistor CMOS décananométriques à canaux contraints sur silicium massif ou sur SOI – Fabrication, caractérisation et étude du transport, Thèse de doctorat en micro- et nanotechnologie, Grenoble : Institut National Polytechnique de Grenoble, 183 p.
[158] Formulée à partir d'un constat empirique sur les premières générations de transistors

long term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least 10 years. That means by 1975, the number of components per integrated circuit for minimal cost will be 65,000."

La loi de Moore devînt donc un des éléments structurants de l'industrie des semi-conducteurs, où la réduction des dimensions des dispositifs permettait d'améliorer les performances des circuits, tout en réduisant le coût unitaire de production.[159] Ainsi, le modèle de croissance de cette industrie a principalement été piloté par des efforts en terme de miniaturisation. Entre les années 80 et 90, l'époque du *« happy scaling »*[160], les différentes générations se suivaient à un rythme régulier de deux ans avec un gain en densité de transistor de l'ordre de 70% (nœuds technologiques 350nm, 250nm, 180nm, 130nm).[161] Cependant, à partir des nœuds suivants, de nouvelles limitations en terme de dissipation d'énergie et de performances des transistors ont fait leurs apparitions, rallongeant alors les cycles de générations.

D'autre part, cette réduction s'est aussi basée sur une théorie prospective de miniaturisation des transistors, proposée en 1974 par Robert H. Dennard[162]. La théorie de Dennard proposait une règle de diminution du transistor sans compromettre les caractéristiques des transistors. En effet, l'hypothèse principale reposait sur une diminution, dans les mêmes proportions, des dimensions et des tensions d'alimentation du transistor (i.e. conservation de l'intégrité électrostatique du transistor).

Intégrité électrostatique du transistor

L'intégrité électrostatique d'un transistor exprime la conservation des champs électrostatiques internes et ainsi du maintien du contrôle de effets de petites dimensions. L'intégrité électrostatique est conservée lorsque la diminution de l'ensembles des paramètres du dispositif (L_G,W,T_{ox},X_j) (Cf. figure précédente) par un facteur k (environ 0,7) est accompagnée par une réduction de la tension d'alimentation et une augmentation de la concentration de dopants dans le canal par le même facteur k (Skotnicki, 2000b).

Cependant, les transistors n'ont pas forcement suivit les mêmes règles de miniaturisation selon leurs utilisations. En effet, on peut distinguer les transistors à destination des applications à haute performance (ex : microprocesseur) et des applications à basse consommation (ex : composant téléphone portable). Généralement, afin de gagner en performance les industriels ont préféré réduire les dimensions bien plus rapidement que les tensions ($0,7<k<1$). C'est notamment le cas pour les applications à haute performance (HP). En 2005, de plus en plus d'acteurs osent évoquer les « limites » et peut être même la « fin » de la miniaturisation. En effet, pour des dimensions de l'ordre de 32nm à 28nm pour la longueur de grille, de nombreux effets parasites semblent insurmontables pour continuer la course à miniaturisation.

[159] Felk, Y. (2011), Evaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics - Nouveaux principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture, Thèse de doctorat en science de gestion, Paris : MINES ParisTech, 276 p.
[160] Expression de Gilbert Declerck, (Declerck, 2005)
[161] Andrieu, F. (2005), Transistor CMOS décananométriques à canaux contraints sur silicium massif ou sur SOI – Fabrication, caractérisation et étude du transport, Thèse de doctorat en micro- et nanotechnologie, Grenoble : Institut National Polytechnique de Grenoble, 183 p.
[162] Dennard, R.H., Gaensslen, F.H., Yu, H-N., Rideout, V.L., Bassous, E., Leblanc, A.R. (1974), Design of Ion-Implanted MOSFET's with very small Physical Dimensions, IEEE of Solid State Circuits, 9, 5, 256 p.

3.2. Les effets parasites de la miniaturisation du transistor MOS

3.2.1. Les effets canaux courts

Un des meilleurs indicateurs de performance d'un transistor est sans aucun doute le rapport I_{ON}[163]/I_{OFF}[164]. I_{OFF} caractérise les fuites de courant du transistor et I_{ON} caractérise la vitesse du transistor. Ainsi, de nœuds technologiques en nœuds technologiques, l'objectif consiste à concevoir des transistors avec le rapport I_{ON}/I_{OFF} le plus élevé possible (Chanemougame, 2005). Le graphique, ci-dessous [Figure 185], permet d'observer et de comparer les performances de plusieurs transistors. La longueur de grille varie de 100nm à 30nm.

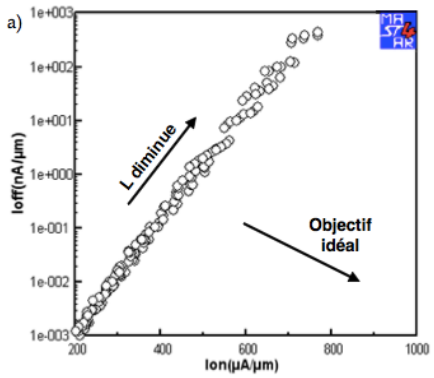


Figure 185: Graphe Ion/Ioff pour des NMOS, obtenu avec le logiciel de modélisation MASTAR (Skotnicki et al., 1988; 2003)

La figure, ci-dessus [Figure 186], illustre le fait que la diminution de la longueur de grille implique une augmentation du courant de fuite I_{OFF}. Cette augmentation du courant de fuite s'explique par les effets de couplage électrostatique entre la source et le drain sur les transistors de faible longueur de grille. En effet, en diminuant la longueur de grille, les zones de charge d'espace (ZCE) (source/substrat et drain/substrat) vont se rapprocher de plus en plus et vont finir par se recouvrir. Ainsi, la charge de déplétion dans le canal de conduction sera contrôlée par les jonctions et non plus par la grille. Cet *« effet canal court »* ou SCE (Short Channel Effect) traduit une perte de contrôle du champ de grille sur le canal de conduction.

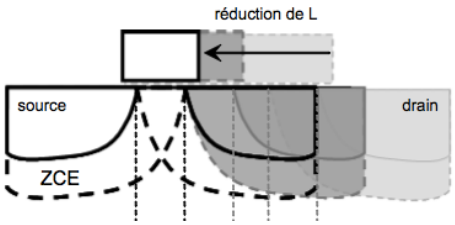


Figure 186: Illustration de l'effet de la réduction de la longueur de grille sur les zones de charge d'espace (Chanemougame, 2005)

[163] Courant de drain à l'état ON
[164] Courant de drain à l'état OFF

3.2.2. Les résistances en série

Généralement, la résistance totale pour un transistor réel peut être décomposée en plusieurs résistances d'accès au dispositif : résistance du canal de conduction, résistance d'accès liée à la jonction et au contact (source ou drain) et résistances d'interconnexions [Figure 187]. Ces résistances impliquent une chute de potentiel aux bornes du transistor, limitant alors le courant I_{ON} et les performances du transistor (Monfray, 2003).

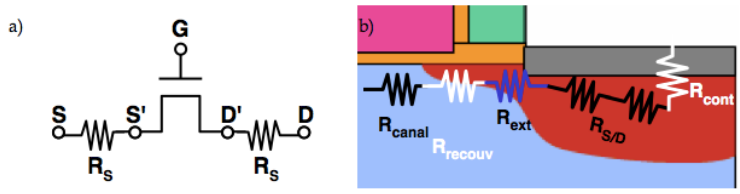


Figure 187: Schéma électrique d'un transistor réel (a) et schéma de décomposition de la résistance R_S (b) (Chanemougame, 2005)

3.2.3. Les courants de fuites de grille

Pour augmenter les performances des transistors, un des premiers leviers est de diminuer l'épaisseur de l'oxyde de grille. En effet, la réduction de cette épaisseur permet d'intensifier le couplage capacitif entre la grille et le canal, augmentant alors la performance du transistor. Cependant, pour des épaisseurs d'oxyde inférieur à 20Å[165], on constate que le courant de fuite du transistor devient alors essentiellement contrôlé par le courant tunnel[166] à travers la grille. Le fonctionnement du transistor est alors fortement compromis.

3.2.4. La déplétion de grille

Lorsque le transistor fonctionne en régime d'inversion, une zone de déplétion apparait à l'interface grille/oxyde de grille. Cette couche de déplétion affaiblit l'action de la grille sur le canal et diminue le courant débité, par le transistor, à alimentation donnée. Les performances du transistor sont ainsi détériorées.

<u>Régime d'inversion</u>
Le régime d'inversion est caractérisé par l'apparition d'un canal de conduction dans le substrat. Lorsque que la différence de potentiel, entre la grille et le substrat, est suffisamment importante, on peut observer une « zone d'inversion ». Cette zone est caractérisée par le fait que le type de porteurs de charges est opposé à celui du reste du substrat. Par exemple, en régime d'inversion dans un transistor NMOS, les porteurs de charges dans le substrat sont des électrons

[165] 1 Angstrom=$1x10^{-10}$m = 0,1nm
[166] L'effet tunnel est une propriété des objets quantiques illustrant le fait que ces objets sont capables de franchir une barrière de potentielle, même si cette énergie est inférieure à l'énergie nécessaire pour franchir une telle barrière.

ANNEXE 4 – QUESTIONNAIRE SUR LA GESTION DES EXPERTS & LA DYNAMIQUE DES EXPERTISES CHEZ STMICROELECTRONICS

Annexe 4 – Questionnaire sur la gestion des experts & la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 389

1. **Demographic profile of members of Technical Staff** 390
2. **Career orientation and career satisfaction** 391
3. **Expertise recognition in the organization** 392
4. **The dynamic of the expertise in the organization** 394
5. **Coordination and cooperation in the technical staff community** 397
6. **Members of Technical Staff in organization** 399
7. **Members of technical staff and innovation** 405

Ce questionnaire a été envoyé à l'ensemble des experts reconnus par ST, soit environ 480 personnes. Les résultats présentés, ci-dessous, se base sur 114 réponses d'experts, soit un taux de réponse d'environ 24%.

1. Demographic profile of members of Technical Staff

1.1 Age	
Less than 25	0%
25-35	0%
36-45	38%
46-55	50%
above 55	12%
1.2 Education	
Bachelor degree	4%
Master degree/ engineer diploma	66%
PhD	28%
Other	2%
1.3 Level in the technical Staff Ladder	
Member of Technical Staff	50%
Senior Member of Technical Staff	45%
Fellow	5%
Company Fellow	0%
1.4 Professional experience (only at ST)	
Less than 5 years	1%
5-10	11%
11-20	59%
Over 21	29%
1.5 Professional experience (total: ST + other companies)	
Less than 5 years	0%
5-10	4%
11-20	41%
Over 21	55%
1.6 Site, Country	
Grenoble	38%
Crolles	27%
Rousset	12%
Agrate	8%
Sophia Antipolis	3%
Tours	2%

Castelletto	2%
Catania	2%
Le Mans	2%
Cornaredo	1%
Napoli	1%
Taipei	1%
France	85%
Italy	14%
Taiwan	1%

2. Career orientation and career satisfaction

2.1 There are 3 careers path at ST (managerial path, project management path, Technical path). As a Member of Technical Staff	
I have always been in the technical path	66%
I have already changed career path (ex: from project management path to technical path)	29%
I have changed career path several times (more than one	5%
2.2 For the future of your career at ST	
I aspire to change career path	6%
I don't want to leave the technical path	63%
I don't know yet	29%
I could change career path (ex: from technical staff to managerial path)	2%
2.3 I am satisfied with my rate of promotion during my career	
Strongly disagree	10%
Disagree	39%

Neither agree nor disagree	24%
Agree	26%
Strongly agree	1%

3. Expertise recognition in the organization

3.1 As a Member of Technical Staff, you are recognized by your colleague as a technical expert	
Strongly disagree	1%
Disagree	8%
Neither agree nor disagree	15%
Agree	59%
Strongly agree	16%
3.2 As a Member of Technical Staff, you are recognized outside the firm (customers, industrial partners, universities, academic communities) as a technical expert	
Strongly disagree	0%
Disagree	12%
Neither agree nor disagree	29%
Agree	42%
Strongly agree	17%
3.3 As a Member of Technical Staff, you are recognized by ST as a technical expert in	
one expertise domain	31%
two expertise domains	43%
three expertise domains	11%
more than three expertise domains	15%
3.4 According to you, you are an expert in	

one expertise domain	22%
two expertise domains	44%
three expertise domains	15%
more than three expertise domains	19%
3.5 Can you quote a list of your expertise?	
3.6 Technical experts at ST are only people following the technical path	
Strongly disagree	4%
Disagree	44%
Neither agree nor disagree	35%
Agree	16%
Strongly agree	1%
3.7 Technical expertise is correlated to the length of professional experience	
Strongly disagree	4%
Disagree	35%
Neither agree nor disagree	22%
Agree	39%
Strongly agree	1%
3.8 A young researcher (ex: a PhD Student) in the organization could be recognized by his peers as an expert in a specific technical field	
Strongly disagree	4%
Disagree	18%
Neither agree nor disagree	22%
Agree	54%
Strongly agree	3%

4. THE DYNAMIC OF THE EXPERTISE IN THE ORGANIZATION

4.1 There is a difference between the improvement of existing expertise and the creation of new expertise	
Strongly disagree	1%
Disagree	10%
Neither agree nor disagree	19%
Agree	54%
Strongly agree	16%
4.2 New innovations in the industry could make your expertise obsoleted (i.e. your expertise would no longer be strategic for the company)	
Strongly disagree	5%
Disagree	32%
Neither agree nor disagree	10%
Agree	49%
Strongly agree	5%
4.3 The expertise renewal is continuing at a steady pace	
Strongly disagree	2%
Disagree	14%
Neither agree nor disagree	26%
Agree	50%
Strongly agree	8%
4.4 Can you quote stable expertise domain in the organization	
4.5 Can you quote recent new expertise domains in the organization	
4.6 What is the average of a new domains of expertise?	
Less than 2 years	16%
2-5	63%

6-10	15%
Over 10	5%
4.7 In our opinion how many new domains of expertise that emerged during the last 5 years?	
0	3%
1-5	57%
6-10	18%
0ver 10	23%
4.8 Your area of expertise evolves during your career (i.e. you develop several and new domains of expertise	
Strongly disagree	0%
Disagree	4%
Neither agree nor disagree	6%
Agree	68%
Strongly agree	22%
4.9 You have participated in the creation of new expertise for the organization	
Strongly disagree	2%
Disagree	13%
Neither agree nor disagree	14%
Agree	57%
Strongly agree	14%
4.10 Doctoral theses in the company are one of the main resources for the exploration and the creation of new expertise	
Strongly disagree	0%
Disagree	15%
Neither agree nor disagree	41%
Agree	34%
Strongly agree	9%

4.11 As a member of technical staff, how many doctoral theses have you supervised	
0	56%
1-5	33%
6-10	5%
Over 10	5%
4.12 As a PhD supervisor, you have already supervised doctoral theses in a different domain of your own expertise	
Strongly disagree	18%
Disagree	24%
Neither agree nor disagree	32%
Agree	22%
Strongly agree	4%
4.13 Domains of expertise in organization are interdependent	
Strongly disagree	4%
Disagree	12%
Neither agree nor disagree	16%
Agree	57%
Strongly agree	12%
4.14 The creation of new domains of expertise involves modifications in other domains of expertise	
Strongly disagree	0%
Disagree	10%
Neither agree nor disagree	32%
Agree	53%
Strongly agree	5%

5. Coordination and cooperation in the technical staff community

5.1 Experts, with different fields of expertise, work and exchange together and they have common activities	
Strongly disagree	4%
Disagree	30%
Neither agree nor disagree	19%
Agree	41%
Strongly agree	7%
5.2 The development of new expertise requires collaboration between expert from different areas of expertise	
Strongly disagree	2%
Disagree	2%
Neither agree nor disagree	9%
Agree	65%
Strongly agree	22%
5.3 Experts are able to collaborate with other experts with diverse backgrounds	
Strongly disagree	1%
Disagree	6%
Neither agree nor disagree	17%
Agree	62%
Strongly agree	14%
5.4 As a member of technical staff, you are collaborating with several university/public labs that are from different domains of expertise	
Strongly disagree	12%
Disagree	24%

Neither agree nor disagree	21%
Agree	32%
Strongly agree	11%
5.5 With how many university/public labs, do you collaborate?	
0	41%
1	23%
2	16%
3	5%
Over 3	15%
5.6 12 R&D collaborations with universities plays a central role in the development of new knowledge and expertise	
Strongly disagree	0%
Disagree	7%
Neither agree nor disagree	26%
Agree	47%
Strongly agree	20%
5.7 R&D collaborations are only based on the selection, integration and adoption of knowledge and technologies that are only produced by universities and public labs (from university to industry)	
Strongly disagree	6%
Disagree	44%
Neither agree nor disagree	39%
Agree	9%
Strongly agree	2%

5.8 Members of technical staff have for mission of influencing research orientations and technology developments in universities rather than be restricted to integrating external knowledge	
Strongly disagree	3%
Disagree	8%
Neither agree nor disagree	31%
Agree	48%
Strongly agree	11%

6. Members of Technical Staff in organization

6.1 Roles and missions of members of technical staff (experts) are clearly defined and shared into the organization	
Strongly disagree	15%
Disagree	48%
Neither agree nor disagree	21%
Agree	15%
Strongly agree	1%
6.2 Be a member of technical staff is a	
Reward for good performance	20%
Strategic position in the organization	54%
Other	26%
6.3 Members of technical staff have influence and power in organization	
Strongly disagree	13%
Disagree	38%

Neither agree nor disagree	22%
Agree	25%
Strongly agree	2%
6.4 The technical path is attractive for career development	
Strongly disagree	8%
Disagree	35%
Neither agree nor disagree	28%
Agree	24%
Strongly agree	4%
6.5 Your direct manager takes into account your comments, recommendations and your advices	
Strongly disagree	2%
Disagree	9%
Neither agree nor disagree	19%
Agree	59%
Strongly agree	12%
6.6 According to the management, what should be the main activities of members of technical staff? (up to 3 choices)	
Contribute to the development of technologies/products	28%
Problem solving	24%
Technical consultant	22%
Manage knowledge evolution and learning in a specific area of expertise	14%
Capability to interface with R&D centers, universities in order to start new activities	8%
Pursue strategies to create new expertise	5%

6.7 According to you (as an expert), what should be the main activities of members of technical staff? (up to 3 choices)	
Contribute to the development of technologies/products	24%
Technical consultant	17%
Manage knowledge evolution and learning in a specific area of expertise	17%
Problem solving	15%
Capability to interface with R&D centers, universities in order to start new activities	15%
Pursue strategies to create new expertise	12%
6.8 As a member of Technical Staff, what are the most important needs you have? (up to 3 choices)	
Be consulted in decision making	22%
Knowledge sharing within community	16%
Role recognition (from managers)	15%
Time allocation (from managers)	14%
External conferences	11%
External partnerships	9%
More visibility within the community	8%
Participating to trainings	3%
6.9 As a member of Technical Staff, what are your main roles in the organization? (up to 10 choices)	
Find technical solutions	13%
Problem solving	11%
Transmission of experience and expertise	10%

Propose new ideas allowing to prepare the future	6%
Provide advice and support for technical issues	5%
Skills, methods and knowledge development	5%
Dissemination of knowledge	5%
Knowledge creation	4%
Provide continuous improvements for existing products	3%
Technological benchmarking	3%
Represent the company: publications and conferences	3%
Work with customer for technical issues	3%
Training	3%
Coordinate, manage and organize scientific work	3%
Manage delicate crisis situations	3%
Result analysis	2%
Risks evaluation	2%
Develop strategies to create disruptive innovations	2%
Manage an innovation ecosystem (partners, universities, customers and suppliers)	2%
Participate in the definition of new research programs	2%
Being a force of proposals to senior management	2%
Animation of experts' network	1%
Be able to explain and manage the technology strategies of the company	1%
Carry out targeted scientific investigations	1%
Directing research strategy	1%
Handle technical incidents	1%
Prepare specific studies	1%

Make suggestions to improve innovation strategies of the company	1%
Technology intelligence	1%
mostly, tasks outside of my domain of expertise	0%
Provide substantive arguments	0%
Certification issues	0%
6.10 Characterize the role of an expert following two modes ("expert as a resource" and "expert as a strategist") makes sense.	
Strongly disagree	2%
Disagree	4%
Neither agree nor disagree	22%
Agree	61%
Strongly agree	12%
6.11 According to you, what are the roles of an "expert as a resource for the organization"? (up to 5 choices)	
Find technical solutions	17%
Problem solving	14%
Provide advice and support for technical issues	11%
Work with customer for technical issues	7%
Manage delicate crisis situations	6%
Risks evaluation	6%
Provide continuous improvements for existing products	5%
Result analysis	5%
Propose new ideas allowing to prepare the future	5%
Prepare specific studies	4%
Technological benchmarking	3%
Handle technical incidents	2%
Carry out targeted scientific investigations	2%

Being a force of proposals to senior management	2%
Certification issues	1%
Develop strategies to create disruptive innovations	1%
Directing research strategy	1%
Make suggestions to improve innovation strategies of the firm	1%
Manage an innovation ecosystem (partners, universities, customers and suppliers)	1%
Provide substantive arguments	1%
Participate in the definition of new research programs	1%
Technology intelligence	1%
Be able to explain and manage the technology strategies of the company	0%
6.12 According to you, what are the roles of an "expert as a strategist for the organization"? (up to 5 choices)	
Propose new ideas allowing to prepare the future	14%
Being a force of proposals to senior management	10%
Develop strategies to create disruptive innovations	10%
Make suggestions to improve innovation strategies of the firm	9%
Participate in the definition of new research programs	9%
Manage an innovation ecosystem (partners, universities, customers and suppliers)	9%
Technology intelligence	7%
Directing research strategy	6%
Technological benchmarking	6%
Result analysis	3%

Provide continuous improvements for existing products	3%
Prepare specific studies	3%
Find technical solutions	3%
Carry out targeted scientific investigations	2%
Be able to explain and manage the technology strategies of the company	2%
Manage delicate crisis situations	2%
Problem solving	1%
Provide substantive arguments	1%
Work with customer for technical issues	1%
Risks evaluation	0%
Handle technical incidents	0%
Provide advice and support for technical issues	0%
Certification issues	0%

7. MEMBERS OF TECHNICAL STAFF AND INNOVATION

7.1 Members of technical staff have a very important responsibility in innovation creation	
Strongly disagree	0%
Disagree	5%
Neither agree nor disagree	17%
Agree	58%
Strongly agree	20%
7.2 The company is organized and structured to foster innovation	
Strongly disagree	12%
Disagree	32%

Neither agree nor disagree	41%
Agree	16%
Strongly agree	0%
7.3 Your role in innovation process is clearly defined and recognized into the organization	
Strongly disagree	7%
Disagree	33%
Neither agree nor disagree	41%
Agree	19%
Strongly agree	1%
7.4 The distinction between incremental innovation and disruptive innovation makes sense	
Strongly disagree	0%
Disagree	3%
Neither agree nor disagree	15%
Agree	60%
Strongly agree	22%
7.5 Incremental innovation is defined by continuous improvement of existing products and technologies	
Strongly disagree	0%
Disagree	3%
Neither agree nor disagree	4%
Agree	76%
Strongly agree	17%
7.6 Disruptive innovation is defined by strong change both in technology and market diffusion, and requires new knowledge, competencies and expertise	
Strongly disagree	0%
Disagree	4%
Neither agree nor disagree	7%

Agree	66%
Strongly agree	23%
7.7 As a member of Technical Staff, what are your main roles for incremental innovation? (up to 3 choices)	
Support incremental innovation initiatives to make regular improvements on products and technologies.	36%
Assist management teams in setting realistic objectives, making informed decisions, and in formulating technological strategies.	23%
Support dynamic evolution of sustainable expertise and competencies.	21%
Support new collaborations and new partnerships for innovative project development.	9%
Support strategies to renew and generate new expertise and competencies.	7%
Other	4%
Support disruptive initiatives that could initiate new expertise and new pertinent concepts.	0%
7.8 As a member of Technical Staff, what are your main roles for disruptive innovation? (up to 3 choices)	
Support disruptive initiatives that could initiate new expertise and new pertinent concepts.	35%
Support new collaborations and new partnerships for innovative project development.	27%

Support strategies to renew and generate new expertise and competencies.	23%
Other	6%
Support dynamic evolution of sustainable expertise and competencies.	4%
Assist management teams in setting realistic objectives, making informed decisions, and in formulating technological strategies.	3%
Support incremental innovation initiatives to make regular improvements on products and technologies.	2%
7.9 ST is well organized for disruptive innovation and has the capacity to manage it	
Strongly disagree	16%
Disagree	40%
Neither agree nor disagree	38%
Agree	5%
Strongly agree	1%
7.10 You need more time allocation to think about disruptive innovation	
Strongly disagree	0%
Disagree	4%
Neither agree nor disagree	23%
Agree	53%
Strongly agree	20%

ANNEXE 5 – LISTES DES SUJETS DE THESES CIFRE CHEZ STMICROELECTRONICS DE 2004 A 2015

2004	ST01_Automatic Process Control
2004	ST02_Architecture network processeur et implementation sur Silicium
2004	ST04_Capteurs d'images numeriques a tres haute resolution
2004	ST06_Caracterisation mecanique des filtres a ondes acoustiques de volume
2004	ST07_Contribution a l'etude et au developpement d'oscillateurs RF
2004	ST08_Debugging optimized code on SoCs
2004	ST09_Depots SiSiGe poly-cristallins dopes
2004	ST10_Development and integration of thin SOI MEMS
2004	ST12_Developpement et caracterisation de nouveaux procedes de dopage
2004	ST16_Etude et Faisabilite d'un systeme UWB en gamme millimetrique
2004	ST17_ Etude d"une architecture d"emetteur GSM Low cost
2004	ST18_Etude de l'appariement des dispositifs MOS dans les technologies avancees
2004	ST19_Etude des barrieres avancees en PVD
2004	ST20_Etude des mecanismes physiques a l'origine des reponses des dielectriques
2004	ST23_Faisabilite integration MOS Haute tension sur SOI CMOS
2004	ST25_Impact des fluctuations technologiques
2004	ST27_Innovative CMOS circuits in SON Double Gate realisation
2004	ST28_Interactions materiaux poreux - chimies de nettoyage back-end
2004	ST29_Linearisation des Amplificateurs de Puissance
2004	ST30_Methodology to fasten Time-to-yield below 50nm technology
2004	ST31_Modelisation de transistors bipolaires a heterojonctions SiSiGeC ultra-rapides
2004	ST32_Nanoimprint
2004	ST33_Oxydes epitaxies fonctionnels pour CMOS sub 50 nm
2004	ST34_Patterning sur des empilements comportant des dielectriques ULK
2004	ST35_Powering of RF - MEMS by microbatteries
2004	ST36_Profil UML pour TLM
2004	ST37_Proprietes electriques des nouveaux dielectriques dans les structures MIM
2004	ST38_Resine a amplification chimique polarisee negative
2004	ST39_SDR-EMETTEUR Etude et realisation d'un systeme de conversion analogique-numerique
2004	ST40_SDR-EMETTEUR-PA
2004	ST41_SOI
2004	ST42_Silicon optical Modulation
2004	ST43_Simulation de defauts dans les circuits RF decrits en langage VHDL-AMS
2004	ST44_Statistical based Timing Analysis how to reduce design margins, without decreasing the yield
2005	ST01_Allocation dynamique des ressources (gestion des qualifications equipement)
2005	ST02_Application de la technologie BAW aux besoins de filtrage
2005	ST03_Caracterisation et modelisation de la fiabilite des dispositifs tres avances
2005	ST04_Caracterisation in-line des Lowk et ULK
2005	ST06_Compose Silcore basse temperature

2005	ST07_Development and optimisation of BEOL architecture
2005	ST08_Development and optimisation of new E CMP process
2005	ST09_Development of a new plasma etching technique Atomic Layer Etching
2005	ST10_Developpement de circuits d'Autotest de nouvelles mthodes de test en analogique et RF
2005	ST11_Developpement de procedes de gravure grille metal
2005	ST12_Developpement et caracterisation de materiaux metalliques deposes par ALD
2005	ST13_Developpement et integration front-end de resonateur electromecanique
2005	ST14_Dispositif de memoire NV pour des applications CMOS
2005	ST15_Dispositifs innovatifs utilisant une baseline SON (Si on Nothing)
2005	ST17_Etude d'INDUCTANCES a tres fort coefficient de Qualite et fort courant
2005	ST18_Etude de depots directs, par voie humide, de barrieres metallique
2005	ST19_Etude de l'interaction plasmapolymeres pour des applications microelectronique
2005	ST21_Etude des parametres relatifs aux polymeres
2005	ST22_Etude des precurseurs pour la realisation de materiaux poreux
2005	ST23_Etude et integration des architectures CMOS multicanaux-multigrille
2005	ST24_Etude et modelisation du comportement de dispositifs elementaires soumis a des decharges Electrostat
2005	ST25_Etudes et modelisation des proprietes de transport dans le Si Contraint
2005	ST26_Evaluation de nouvelles structures de capacites variables
2005	ST27_Evaluation of new materials and architectures
2005	ST28_Imagers Eclairement face arriere
2005	ST29_Influence de la composition des solutions en chimie humide
2005	ST30_Integration et definition de systemes industriels liminant le phenomene de regression
2005	ST31_Maitrise de la variabilite des procedes de fabrication
2005	ST32_Management of mettalic contamination in advanced IC manufacturing
2005	ST33_Materiaux dielectriques commandables a base de BST
2005	ST34_Modelisation de la diffraction dans un pixel de capteur d'images
2005	ST35_Optimisation du transistor bipolaire a heterojonction en technologie BiCMOS
2005	ST36_Quantification of minor species for the monitoring of surfaces and interfaces
2005	ST37_Reconstruction de couleur
2005	ST39_Study and development of low-cost BiCMOS
2005	ST40_Study of BE and PMD dielectric properties
2006	ST1_AC01 Electronique en Back-End - integration de dispositifs logique et memoire
2006	ST2_AC02 Elaboration par MOCVD basse temperature d'oxydes dielectriques high k
2006	ST3_AC04 Optimisation du module high kmtal pour les technologies 32 nm
2006	ST4_AC0506 Structuration locale de surfaces vicinales de silicium avec application au Ge localisi
2006	ST5_AC07 Polarimetrie couches mince des metaux et high k en UV
2006	ST6_AC08 Fiabilite dielectrique des interconnexions avancees
2006	ST7_AC09 Mise au point de solutions de nettoyages pour les interconnexions avancees
2006	ST8_AC10 Barrieres dielectriques et masques durs a faible permittivite relative
2006	ST9_AC11 Etude des chimies et mecanismes de gravure compatibles avec les interconnexions avancees
2006	ST10_AC12 Etude design, architecture et mise au point des procedes pour integration 3D

2006	ST11_AL01 Procedes nettoyage, restauration et fermeture des pores des matiriaux diil Lowk poreux
2006	ST13_AL04 Clusterbench Impacts de l'engagement dans les clusters pour les entreprises et les rigions
2006	ST15_AL06 Mise au point de nouvelles architectures DRAM Low Power High Speed et High Density
2006	ST17_AL13 Plating on Advanced BarrierSeed systems for C45 & below
2006	ST19_AL18 Numerical and experimental investigation of fracture phenomena in advanced interconnects
2006	ST20_AL2123 Caractirisation ilectrique des transistors MOS avancis et de rupture pour les longueur
2006	ST22_AL24 Modilisation Physique Semi Compacte des MOSFETS sur Silicium
2006	ST23_AL26 Profil 2D de dopants pour SOI (caractirisation et simulation)
2006	ST25_AL28 Access transistor architecture optimization for 45 nm and 32 nm generation embedded DRAM
2006	ST27_AL31 Etude des depots par Plasma ALD de dielectriques a forte permitivite dielectrique
2006	ST29_AL33 Process control methods improvement during the technology life cycle
2006	ST30_AL35 Etude d'architecture de memoires SRAM haute densite
2006	ST32_Co-design et reconfigurabilite dun bloc PA-Antenne en technologie CMOS silicium
2006	ST40_ST01 Conception et realisation d'une reference temporelle (clock)
2006	ST42_ST03 Fiabilite de composants BAW pour applications RF
2006	ST43_ST05 Etude de capteurs d'image en 3 dimensions
2006	ST45_ST07 Etude des epitaxies selectives des alliages SiGeC
2006	ST46_ST08 Procedes et materiaux SiGe(C) pour architectures non conventionnelles
2006	ST47_ST09 Etude des performances en bruit HF des transistors Bipolaire avances
2006	ST48_ST10 Contribution a la realisation et a la caracterisation de reseaux d'antennes integrees
2006	ST50_ST1113 Fiabilite bipolaire et bruit
2006	ST51_ST12 Etude de la Fiabilite des imageurs
2006	ST53_ST14 Parametres de transport pour la simulation d'heterojonctions SiSiGeC
2006	ST54_ST15 Investigation of Spice MOS RF parameters sensitivity versus process variations by TCAD means
2006	ST55_ST16 Investigation of Spice Bipolar parameters sensitivity versus process variations by TCAD means
2006	ST58_ST23 Low Power Techniques on FD 45nm SOI
2006	ST61_ST27 Co-design et reconfigurabilite d'un bloc PA-Antenne CMOS silicium pour WLAN 60GHz
2006	ST62_ST28 Co-design et reconfigurabilite d'un bloc PA-Antenne en SiGe silicium
2006	ST63_ST31 Etude de points memoires non-volatiles haute densite pour technologies CMOS avancee
2006	ST64_ST32 Architectures de recepteurs et elements reconfigurables
2006	ST65_ST33 Ultra Wide Band Analog Building Blocks Based on Distributed Architectures
2006	ST66_ST34 Etude de protections ESD types HBM et CDM
2006	ST67_ST35 Modelisation et Reduction de la Consommation energetique d'un site de microelectronique
2006	ST68_ST36 Simulation statistique avancee du taux d'alia logique induit par des particules ionisantes

2006	ST69_ST39 Modelisation des processus et objets metiers
2006	ST71_ST41 Developpement et etude de composants NLDMOS a grille metallique
2006	ST73_ST43 Etude des phenomenes d'interferences electromagnetiques sur Si
2006	ST75_ST45 Etude de l'impact des variabilites process sur les designs numeriques
2006	ST76_ST46 Simulation statistique des algorithmes a tres forte corrections d'erreur
2006	ST78_ST48 Diagnostic de Fautes Electriques dans les Circuits Logiques
2006	ST79_ST49 Etude et Design de ressources de test Analog RF embarquees
2006	ST80_ST50 Capteur d'images CMOS pour application visible et application proche Infra-rouge
2007	2_BDI 07-ST01 Balun Integre Millimetrique
2007	3_CIFRE 07-ST01 Emetteur 4G CMOS
2007	7_CIFRE 07-ST03 Etude et conception de mimoires statiques en technologie 32nm22nm
2007	8_CIFRE 07-ST04 45 & 32nm subthreshold sequential digital design study
2007	9_BDI 07-ST04 Contribution ` l'ilaboration de couches graphhne et de dispos nanoilectroniques associis
2007	10_BDI 07-ST05 Dielectrics (Low K and High K) material defects characterization by low freq measurements
2007	11_CIFRE 07-ST05 Diptt MOCVD et carac par C-AFM de couches minces doxide de Nickel pour capacitis MIM
2007	12_CIFRE 07-ST06 Devt des itapes techno en vue de la rialisation de substrats GeOI par condensation
2007	14_CIFRE 07-ST07 Conception convertisseurs DCDC pour SOC RF
2007	17_CIFRE 07-ST08 modilisation risine pour OPC par courbes de Bossung
2007	18_BDI 07-ST09 Etude de riseaux phononiques sub-microniques pour une nano-acoustique
2007	19_CIFRE 07-ST09 Oxydes ipitaxiis pour les futures filihres CMOS
2007	21_CIFRE 07-ST10 modif potentiel grille mitallique par ajout impuretis ds structures hi-k Metal gate ou MIM
2007	24_BDI 07-ST12 Filtre BAW CRF-SMR
2007	25_CIFRE 07-ST12 Novel Approach fof Mechanical Modeling of ProbingWire Bonding Process
2007	26_CIFRE 07-ST13 CharacModeling of HV Mos components for Energy Management and Power Amplifier application
2007	27_BDI 07-ST13 Impact of failed CMOS devices on device and circuit operation
2007	30_CIFRE 07-ST15 Carac & Modilisation des performances dinterco. verticales (TSV) dans un module 3D
2007	32_CIFRE 07-ST16 Electromigration phenomenon study in adv Culow-k interconnects with Cu environmt
2007	33_BDI 07-ST16 Modelisation optique pour OPC
2007	35_CIFRE 07-ST17 optimisation du disappariement de dispositifs intigris a semi-conducteurs
2007	39_CIFRE 07-ST20 Radiations effect on logic circuits in decananometric CMOS technologies
2007	40_BDI 07-ST20 VCO-DOD a BAW
2007	42_BDI 07-ST21 Wet clean hydrodynamics for thin structures
2007	48_CIFRE 07-ST25 Varactor Compact Model
2007	50_CIFRE 07-ST27 Etude et modilisation de la fiabiliti des risines colories et microlentilles
2007	51_CIFRE 07-ST28 Test vehicle for reliability
2007	52_CIFRE 07-ST29 Injection Locked Oscillator based RF filters on advanced CMOS processes

2007	53_CIFRE 07-ST30 Low Power agile Wideband Frequency synthesizer for UWB on advanced CMOS processes
2007	54_CIFRE 07-ST31 WLAN 60GHz Transmitter enhanced with SDR capabilities
2007	58_CIFRE 07-ST35 Dev et itude de phototransistors bipolaires verticaux hitirojonctions SiSiGeC
2007	60_CIFRE 07-ST37 Advanced reliable CMOS design for millimeter applications
2007	62_CIFRE 07-ST39 Diveloppement de modhles physique et ilectrique 3D
2007	63_CIFRE 07-ST40 Diveloppement des codes de correction d'erreur LDPC de nouvelle giniration
2007	64_CIFRE 07-ST41 Conception et rialisation de filtres BAW ` base de matiriaux ilectrostrictifs
2007	65_CIFRE 07-ST42 filtrage RF pour multi-modes handsets
2007	66_CIFRE 07-ST43 risonateurs ilectromicaniques monolithiques
2007	68_CIFRE 07-ST45 Reconfigurable Array of Processors and Network on Chip
2007	69_CIFRE 07-ST46 Mithodes et outils d'ivaluation iconomique des projets de recherche avancie
2007	70_CIFRE 07-ST47 Etude des difauts ilectriquement actifs dans les matiriaux des capteurs dimage CMOS
2007	73_CIFRE 07-ST50 On chip Process Monitoring for Speed Grading and power management
2007	75_CIFRE 07-ST52 Wet clean hydrodynamics for thin structures
2007	76_CIFRE 07-ST53 Study of Proximity effects corrections through multiple exposure strategies in EBDW
2007	77_CIFRE 07-ST54 Simulation ab initio de high k metal - simulations DFT-GW d'alignements de bandes
2007	82_CIFRE 07-ST59 ESD protection for new nanometric technologies
2007	85_CIFRE 07-ST62 Cartographie de sensibiliti de pixels CMOS par micro-scanning
2007	86_CIFRE 07-ST63 Characterisation of Highly doped silicon junctions at nm and atomic scale using STEM
2007	87_CIFRE 07-ST64 Riduction et transfert de rugositi de trait par traitements plasma et centrage procidi
2007	88_CIFRE 07-ST65 - Mise au point d'applications embarquies multiprocesseurs
2007	89_CIFRE 07-ST66 - Wide band digital radio
2007	90_CIFRE Co-integration of different lattice parameters of Si-Ge-C for implementation of options on Si substr
2007	91_CIFRE Diveloppement de capteur inertiel nanomitrique tri-axes co-intigri NEMS-CMOS pour applications mobil
2007	92_CIFRE Elaboration et caractirisation de siliciures mitalliques ultraminces comme matiriau de contact dans
2007	93_CIFRE Emissivity and 3D patterns effect during RTA processes including millisecond anneal. Impact on the d
2007	94_CIFRE Etude du Couplage acoustique-thermique ` l'ichelle nanomitrique
2007	98_CIFRE Intigration et caractirisation de couples ilectrodesdiil.HK dans les capa MIM ` haute densiti
2007	99_CIFRE Technology modeling fo reliability in 32nm CMOS
2007	100_E electrical characterisation and reliability of high k metal on thin films (SOI and SON)
2008	1_CIFRE 08-ST01 Exploitation des modhles ` potentiel de surface pour architectures varicap
2008	2_CIFRE 08-ST02 - Contrtle de la friquence des risonateurs ilectromicaniques MEMS pour base de temps

2008	3_CIFRE 08-ST03 - Physical and Theoretical Analysis of Chalcogenide-based Materials Suitable for e-PCM
2008	5_CIFRE 08-ST05 - Procidis FEOL pour assurer scalabiliti e-NVM en 65 et 45nm
2008	6_CIFRE 08-ST07 - Etudes matiriaux et procidis FEOL pour capteurs dimages en technologie silicium
2008	7_CIFRE 08-ST08 - Reconstruction des images couleurs sous faible iclairement
2008	8_CIFRE 08-ST09 - Transistor Bipolaire SiSiGe en Nud CMOS Avanci pour applications (sub)milimitriques
2008	9_CIFRE 08-ST10 - Metallisation TSV 3D-SIC
2008	10_CIFRE 08-ST11 - Gravure par plasma de vias a fort facteur de forme pour les interconnexions 3D
2008	11_CIFRE 08-ST12 - Integration 3D-SIC
2008	12_CIFRE 08-ST13 - Scalable ESD Compact Model for SCR and MOSFET
2008	13_CIFRE 08-ST14 Investigation and development of advanced HBT devices by means of Technology Modeling (TCAD
2008	14_CIFRE 08-ST15 Investigation of injection, tunneling and degradation mechanisms in dielectrics for adv CMOS
2008	15_CIFRE 08-ST16 - Statistical corners methodology for interconnect modeling in nano technologies
2008	16_CIFRE 08-ST17 - Modeling of Variations for Variability aware Circuit Design in 45nm32nm technologies
2008	17_CIFRE 08-ST18 - Circuit performance as a function of layout style & technology option
2008	18_CIFRE 08-ST19 - Towards reliable products Gate level reliability modeling
2008	19_CIFRE 08-ST20 - From DC to RF Reliability modelling
2008	20_CIFRE 08-ST21 - Etude lichelle nano par sonde locale de la fiab de diilectriques minces pour lintig
2008	21_CIFRE 08-ST22 - Effet de la microstructure des interconnexions avancies CuLow-k sur la difaillance par e
2008	22_CIFRE 08-ST23 - difauts et fiabiliti des stacks high-K intigris dans des Tmos 32-22 nm
2008	23_CIFRE 08-ST24 - FOCUS CONTROL IN LITHOGRAPHY
2008	24_CIFRE 08-ST25 - Technique de double exposition pour la lithographie avancie
2008	25_CIFRE 08-ST26 - Riduction et transfert de rugositi de trait par traitements plasma et centrage procidi
2008	26_CIFRE 08-ST27 - itude diptt high k - MG
2008	27_CIFRE 08-ST28 - High mobility channels for sub-22nm CMOS technologies
2008	29_CIFRE 08-ST30 - Conception ESD en technologie avancie Si ou SOI
2008	30_CIFRE 08-ST31 - SOI Design for low power applications
2008	31_CIFRE 08-ST32 - Library charac Framework for Statistical Static Timing Analysis (SSTA) methodology
2008	33_CIFRE 08-ST34 - beam-forming, beam-steering for mmW WPANWLAN HDR applications
2008	34_CIFRE 08-ST35 - Low Power for High Speed eSRAM
2008	35_CIFRE 08-ST36 Advanced programming and detection scheme for fuse memories
2008	36_CIFRE 08-ST37 - Standard cells cad to silicon correlation improvement
2008	37_CIFRE 08-ST38 - New digital design and methodologies for multi Giga Bits transceivers
2008	38_CIFRE 08-ST39 - UWB Low data Rate Sensor Network
2008	39_CIFRE 08-ST40 - Electrical sign-off methodology for HS interface in 3D package

	interco
2008	40_CIFRE 08-ST41 - Etude d'architectures de DRAM embarquies en CMOS 32nm et 22nm
2008	41_CIFRE 08-ST42 - analog-RF fault modeling and test metrics
2008	42_CIFRE 08-ST43 - Etude et design de fonctions haute vitesse
2008	43_CIFRE 08-ST44 - Etude d'un synthetiseur de frequence pour des applications millimetriques
2008	44_CIFRE 08-ST45 - SER simulations for innovative rad-hard designs in CMOS 45- and 32-nm technologies
2008	45_CIFRE 08-ST46 - modilisation et estimation du 'Soft-Error-Rate' (SER) dans les systhmes complexes
2008	46_CIFRE 08-ST47 - Integrated Framework for the Control of Risks on Products
2008	47_CIFRE 08-ST48 - Towards Manufacturing for Design thru Manufacturing for products
2008	48_CIFRE 08-ST49 - Etude architecture Pixel actif de type PMOS
2008	62_CIFRE Diverminage d'applications embarquies basi sur des micanismes de ri-exicution diterministe
2008	63_CIFRE Etude de l'impact des propriC)tC)s physiques des substrats Silicium sur les performances des capteur
2008	65_CIFRE Etude du stress sur les risonateurs et dans l'integration 3D
2008	67_CIFRE Formation of vias with high aspect ration by electrochemical etching
2008	68_CIFRE Optimisation architecture imission sur process CMOS 32nm
2008	69_CIFRE Performance assessment and modeling of advanced MOS architectures for analog & RF circuits design
2008	71_CIFRE Vacancy engineering approaches for reduced diffusion and increased activation in Si and SOI
2009	1_CIFRE 09-ST01 - ABB filter for HDR CMOS 6532
2009	2_CIFRE 09-ST02 - Alternative approach for the fabrication of low cost Back side Imagers(BSI)
2009	3_CIFRE 09-ST03 - Caractirisation Load-pull aux friquences millimitriques
2009	4_CIFRE 09-ST04 - Design processeur analogique intigri dans channe de riception de tilivision numirique p
2009	5_CIFRE 09-ST05 - Design for debug strategy for ultra deep sub micronics technologies
2009	6_CIFRE 09-ST06 - Etude des Architectures de Pixels Actifs de Type PMOS
2009	7_CIFRE 09-ST07 - Etude et modilisation d un procidi de gravure grille PolymitalHigh-K et impact sur OPC
2009	8_CIFRE 09-ST08 - Integrated mmw imaging in CMOS6532
2009	9_CIFRE 09-ST09 - Interaction entre stress, difauts et diffusion des dopants dans le silicium contraint
2009	10_CIFRE 09-ST10 - Library charac Framework for Statistical Static Timing Analysis (SSTA methodology)
2009	12_CIFRE 09-ST12 - Power VCO en mmW
2009	13_CIFRE 09-ST13 - Silicon versus CAD correlation improvement for CMOS standard cells
2009	14_CIFRE 09-ST14 - Silicon-on-insulator design application to Inputoutput interface cells
2009	15_CIFRE 09-ST15 - cross-contamination moliculaire apportie par les FOUP
2009	16_CIFRE 09-ST16 - Agile Process Threads Management
2009	17_CIFRE 09-ST17 - Amilioration du Procidi de Lithographie pour le 20 nm par lutilisation de Source
2009	18_CIFRE 09-ST18 - Behavioral antenna modeling from RF to MMW for PA-Antenna matching tuner definition

2009	20_CIFRE 09-ST20 - Calibration of USJ profiles and resulting leakage currents for predictive TCAD in adv CMOS
2009	21_CIFRE 09-ST21 - Collage Moleculaire pour application Back Side illumination Imageurs
2009	22_CIFRE 09-ST22 -Optimisation des procédés plasma pour la réalisation des interconnections
2009	23_CIFRE 09-ST23 - ESD and RF
2009	24_CIFRE 09-ST24 - Capteurs de variabilité pour l'amélioration de la corrélation CADSi des circuits logique
2009	25_CIFRE 09-ST25 - Etude d'une nouvelle architecture de pixel
2009	26_CIFRE 09-ST26 - Etude du remplissage multi matiriaux de TSV pour applications 3D-WLP
2009	28_CIFRE 09-ST28 - Heterojunction Bipolar transistor from physics to IP level reliability modelling
2009	29_CIFRE 09-ST29 - Integrated Framework for the Control of Risks on Products
2009	30_CIFRE 09-ST30 - intigration 3D hitiroghne des composants + More than Moore
2009	31_CIFRE 09-ST31 - La sonde atomique tomographique applications aux dispositifs CMOS avancis sub-45nm
2009	32_CIFRE 09-ST32 - MMW Noise characterization under linear condition (low noise)110 to 320GHz
2009	33_CIFRE 09-ST33 - MMW characterization under non linear condition (power using load pull) 110 to 220GHz
2009	34_CIFRE 09-ST34 - Modeling of oxide soft breakdown impact on CMOS libraries and system on chip (SoC)
2009	35_CIFRE 09-ST35 - Sensors for on-Chip monitoring on advanced STMicroelectronics technologies
2009	38_CIFRE 09-ST38 - Towards power efficient 100GB+ serial links
2009	39_CIFRE 09-ST39 - Thermal and thermomechanical simulation of 3D integration technologies
2009	41_CIFRE 09-ST41 - Chip to chip high data rate communiaction
2009	43_CIFRE 09-ST43 - 3D Packaging TSV Study in Adv CMOS Techno Reliab. Improvements for High Perf. Packaging
2009	44_CIFRE 09-ST44 - Non-invasive RF and mmW CMOS characterization and control through on-chip thermal moni
2009	45_CIFRE 09-ST45 - Beam mgt algos & antenna trade off for MIMO wireless communications
2009	47_CIFRE 09-ST47 - Caract du transport, du stack de grille et des défauts dans les transistors 32 et sub-32
2009	48_CIFRE 09-ST48 - Compact modeling of nanometric MOS transistors for advanced RF and mmW applications
2009	49_CIFRE 09-ST49 - Design for variability
2009	50_CIFRE 09-ST50 - Epitaxies sélect et Dopages in situ pr nvelles architectures de transistors bipolaires
2009	51_CIFRE 09-ST51 - Etude de l'effet des contraintes du CESL sur le canal pour C032-C022
2009	53_CIFRE 09-ST53 - Etude des phenomenes de corrosion et passivation de l'alliage AlCU
2009	54_CIFRE 09-ST54 - Etude et solutions permettant un stockage sécurisé de l'information pour memoires
2009	55_CIFRE 09-ST55 - Holonic Approach to Small Lots Manufacturing
2009	56_CIFRE 09-ST56 - IT Capacity Planning in a complex SemiConductor environment

2009	57_CIFRE 09-ST57 - Impact des propriétés de dépôts métalliques sur le fct d'un transistor à grille métal
2009	58_CIFRE 09-ST58 - Integration des procedes humides dans la fabrication des grilles High-Kmetal
2009	59_CIFRE 09-ST59 - Models for Power-Performance assessment for advanced CMOS technologies
2009	60_CIFRE 09-ST60 - compensation digitale pr convertisseur AD large bande hautement parallelisé
2009	61_CIFRE 09-ST61 - HiK metal gate reliabillity
2009	64_BDI SASP 65K
2010	1_CIFRE 10-ST01 Analyse du bruit substrat et couplage entre TSV et transistors dans les circuits 3D
2010	3_CIFRE 10-ST03 Caractérisation électrique des transistors MOS décanométriques d'architecture innovante
2010	4_CIFRE 10-ST04 Modélisation phys procédés de réalisation des dispositifs FDSOI pour le nœud 20nm et au-delà
2010	5_CIFRE 10-ST05 Optim des profils et fuites de jonctions complexes des Imagers BSI et CMOS
2010	6_CIFRE 10-ST06 Dvpt de procédés de gravure à base de plasmas pulsés application à la gravure espaceur
2010	7_CIFRE 10-ST07 Innovative process steps for 2022 nm CMOS
2010	8_CIFRE 10-ST08 Behavioral antenna modeling from RF to MMW for amplifier-antenna agile matching
2010	9_CIFRE 10-ST09 Modelisation des effets électriques dans des architectures SiGe High K Metal Gate
2010	10_CIFRE 10-ST10 Etudes structurales et morphologiques des Epitaxies pour TBH
2010	11_CIFRE 10-ST11 Understanding of Early Fails in CMOS interconnects for robust lifetime extrapolation
2010	12_CIFRE 10-ST12 Heterojunction Bipolar Transistor reliability modeling from device physics to RF circuitry
2010	13_CIFRE 10-ST13 3D-TSV capacitor for SI-Package
2010	14_CIFRE 10-ST14 Gap Fill process for STI C28 & C22
2010	15_CIFRE 10-ST15 Collage direct et auto-alignement pour l'intégration 3D
2010	16_CIFRE 10-ST16 Etude et caracterisation des interco intermetalliques type CuSn pour l'integration 3D
2010	17_CIFRE 10-ST17 Impact des traitements plasma et chimie de nettoyage sur les low-k poreux
2010	18_CIFRE 10-ST18
2010	19_CIFRE 10-ST19 Gate last CMP process for 22nm technology
2010	20_CIFRE 10-ST20 Développement de la cartographie chimique 2D et 3D par spectroscopie X en TEM
2010	21_CIFRE 10-ST21 Bipolar SPICE Modeling Solution Towards Terahertz
2010	22_CIFRE 10-ST22 Analyse des propriétés diélectriques et physico-chimiques de polymères pour l'intégration 3D
2010	23_CIFRE 10-ST23 Démonstration de l'intérêt des dispositifs à grille enrobante pour les noeuds sub-16nm
2010	24_CIFRE 10-ST24 Lithographie par division de pas de réseau pour les circuits logiques avancés

2010	25_CIFRE 10-ST25 Methods to optimize BEoL archi & reliable fracture mechanics simulation in the frame of 3DI
2010	26_CIFRE 10-ST26 Back-End DIELECTRIC RELIABILITY
2010	27_CIFRE 10-ST27 Lower Power CMOS Technologies
2010	28_CIFRE 10-ST28 Silicon Photonics Model and Caracterization
2010	29_CIFRE 10-ST29 Stack HKMG Impact de l'environnement du high-k sur les performances des transistors
2010	30_CIFRE 10-ST30 Hétéroépitaxie III-V sur silicium nanostructure
2010	31_CIFRE 10-ST31 Etude des strategies de protection d'un S0C contre la decharge electrostatique de type CDM
2010	32_CIFRE 10-ST32 ULP Analog Design Solutions for mmW Fast File Downloading applications in CMOS 6532nm p
2010	33_CIFRE 10-ST33 Sub-Threshold memory design in most advanced technologies for medical applications
2010	34_CIFRE 10-ST34 Stratégie d'alimentation des systèmes RF ultra low power
2010	35_CIFRE 10-ST35 Dimensionnement systeme pr reseaux capteurs sans fils autonomes
2010	36_CIFRE 10-ST36 Exploration d'architectures digital-RF pour liens série hauts débits
2010	37_CIFRE 10-ST37 Dvpt des technologies mémoire « back-end » résistives à base d'oxydes
2010	38_CIFRE 10-ST38 Etude et exploit de techno FDSOI 22nm pour les applications numériques basse consommati
2010	39_CIFRE 10-ST39 Etude et recherche de sol permettant un stockage sécurisé de l'information pour NVM
2010	40_CIFRE 10-ST40 Etude de la modelisation de l'electromigration dans les librairies
2010	41_CIFRE 10-ST41 Innovative radhard design solutions for low power automotivemedical applications
2010	43_CIFRE 10-ST43 Compensation de fuite d'oscillateur local dans un transmetteur mmW
2010	44_CIFRE 10-ST44 mmW highly linear power amplifier for ultra high data rate communication
2010	45_CIFRE 10-ST45 Memory Test Algorithm Analysis
2010	46_CIFRE 10-ST46 Automated Environment From Design Platform Specification to Mat10
2010	47_CIFRE 10-ST47 Maîtrise du rendement pour les technologies 32nm et au delà
2010	48_CIFRE 10-ST48 Reduction dispersion intra-champ pour ameliorer la perf des technologies 45nm et 40nm
2010	49_CIFRE 10-ST49 Détection Multidimentionnelle au Test Paramétrique
2010	50_CIFRE 10-ST50 AMHS Optimization
2010	51_CIFRE 10-ST51 valeur du porte-feuille des projets de recherche avancee
2010	52_CIFRE 10-ST52 Non-conventional thermoelectric conversion
2010	53_CIFRE 10-ST53 Avalanche PhotoDiode Ge sur Si pour detection faible niveau et grande frequence
2010	54_CIFRE 3D Heterogeneous platform
2010	55_CIFRE Beam mgt algos & antenna trade off for MIMO wireless communications
2010	56_CIFRE Blind digital solutions andor calibration for Time Interleaved ADC
2010	57_CIFRE Capteur d'Images CCD à Grilles Actives Verticales (CCD-CDTI)
2010	58_CIFRE Capteur d'Images CMOS à Tranchée d'Isolation Active (CMOS – CDTI)
2010	59_CIFRE Conception d'un RFFE à contrôle numérique
2010	60_CIFRE Corrosion alliage AlCu par chimies de nettoyage
2010	61_CIFRE Development of new HiK-based charge trapping cells for advanced flash

	memories
2010	62_BDI Etude du transport de phonons et de la dissipation thermique dans les nano-transistors et les nano-f
2010	63_CIFRE From TCAD to large circuit modeling based on FDSOI Technology, nodes beyond 20nm
2010	64_CIFRE Modélisation, optimisation et automatisation du design de convertisseurs DC-DC capacitifs
2010	65_CIFRE Multicore debug
2010	66_CIFRE Synthèse de fréquence ultra-basse consommation
2010	67_CIFRE Synthèse des méthodes d'optimisation de layout
2010	68_BDI Thermal energy harvesting based on thermionic-tunnel conversion
2010	69_CIFRE matériaux pour lithographie par multi faisceaux ebeam pour le noeud 15nm
2010	70_CIFRE nouveaux précurseurs KH et MG pour les technologies 2022 nm
2010	71_CIFRE thèse RF characterization by therma sensing
2011	1_CIFRE 11-ST01 Amélioration du Procédé de Litho par l'intro de la modélisation rigoureuse en OPC
2011	2_CIFRE 11-ST02 Capteur d'Images CMOS à Tranchée d'Isolation Active (CDTI)
2011	3_CIFRE 11-ST03 3 bands mmW frequency synthesis
2011	4_CIFRE 11-ST04 3D Interposeur for thermal management
2011	5_CIFRE 11-ST05 3D Piezo Materials Integration for Energy Scavenging
2011	6_CIFRE 11-ST06 Advanced Diagnostics and Alarm Management
2011	7_CIFRE 11-ST07 Agile Models for the Agile Factory of the Future
2011	8_CIFRE 11-ST08 Améliorat° du contrôle dimensionnel & d'alignement for procédé litho double patterning 20nm
2011	9_CIFRE 11-ST09 Analyse & concept° de circuits analogiques de gest° de la sécurité embarquée sur procédéCMOS
2011	10_CIFRE 11-ST10 Augmentat° de disponibilité des Equipements
2011	11_CIFRE 11-ST11 Caractérisat° et Modélisat° de Photodiodes intégrées sur Silicium
2011	13_CIFRE 11-ST13 Coupleur 2D pour Si-Photonics
2011	14_CIFRE 11-ST14 Digitally enhanced RFFE
2011	15_CIFRE 11-ST15 Diminut° de la variabilité du procédé litho pour les nœuds technologiques avancés
2011	16_CIFRE 11-ST16 Etude d'une solut° de localisat° dans un reseau de capteurs sans fils
2011	17_CIFRE 11-ST17 Etude de la croissance de défauts sur les surfaces métalliques
2011	18_CIFRE 11-ST18 Etude de la fiabilité des diélectriques des technologies sub-32nm
2011	19_CIFRE 11-ST19 Etude et mise en œuvre d'1 technique de compensat° de fuite d'oscillateur local dans un TX
2011	20_CIFRE 11-ST20 Evaluat° des performances et optimisation des systemes en virgule fixe
2011	21_CIFRE 11-ST21 FDSOI for Ultra Low Power devices
2011	22_CIFRE 11-ST22 FDSOI reliability -- From device to product
2011	23_CIFRE 11-ST23 Fiabilité et dégradat° à l'échelle nanométrique par sonde locale de mosfet 32à 20 nm
2011	24_CIFRE 11-ST24 Fiabilité et propriétés électriques des capacités MIM multicouches
2011	25_CIFRE 11-ST25 Fiabilité in-situ des interconnex° 3D
2011	26_CIFRE 11-ST26 Filtre spectral pour Imageur CMOS

2011	27_CIFRE 11-ST27 Flot d'analyse FMDEA de circuits logiques soumis a des soft erreurs for certificat° ISO26262
2011	28_CIFRE 11-ST28 Gest° de la dissipat° thermique dans les empilement 3D TSV middle
2011	29_CIFRE 11-ST29 Heterogenous 3D integrat° of active RFID circuits in CMOS 6532nm processes
2011	30_CIFRE 11-ST30 Ingenierie & simulat° des stresseurs front-end en C028FDSOI et C20FDSOI
2011	31_CIFRE 11-ST31 Interact° wet clean & résine photo-sensible
2011	32_CIFRE 11-ST32 Intégration 3D monolithique de dispositifs CMOS et circuits mono électroniques
2011	33_CIFRE 11-ST33 Intégration du collage direct cuivre dans une filière CMOS 3D
2011	34_CIFRE 11-ST34 Laser Germanium pour Si-Photonics
2011	35_CIFRE 11-ST35 Low power Wideband frequency synthesizer for mmw application in advanced BiCMOS process
2011	36_CIFRE 11-ST36 Modelisat° des dispositifs de protection esd en FDSOI
2011	38_CIFRE 11-ST38 Modèle de transport dédiés pour les dispositifs avancés
2011	39_CIFRE 11-ST39 Modélisat° de fonctions optiques en techno Si intégrable dans un flot de conception CMOS
2011	40_CIFRE 11-ST40 Méthodologie de mesure & analyse des phénomènes de mismatch on transistors MOS avancés
2011	41_CIFRE 11-ST41 Méthodologie statistique de modélisat° for l'optimisat° de l'offre SRAM basse puissance
2011	42_CIFRE 11-ST42 Nanolasers hybrides III-V sur silicium
2011	45_CIFRE 11-ST45 Physical LayerFor WSN
2011	46_CIFRE 11-ST46 Prochaine générat° de high-k pour les MIMs et les eDRAMs
2011	47_CIFRE 11-ST47 RF metric for ULP
2011	48_CIFRE 11-ST48 Regular Topology Solution
2011	49_CIFRE 11-ST49 SPAD optimization
2011	50_CIFRE 11-ST50 STRATEGIE D'ALIMENTAT° DES « SOC » LOW-POWER
2011	51_CIFRE 11-ST51 Salicide format° mechanisms on nanoscale patterns
2011	52_CIFRE 11-ST52 Sense & React Strategy for mmW High Data Rate applications
2011	53_CIFRE 11-ST53 Structurat° & gesti° des données afin d'automatiser la construct° par capitalisat° de connai
2011	54_CIFRE 11-ST54 Switch à gap nanométrique integré dans les interconections
2011	55_CIFRE 11-ST55 TCPIP Protocols Stacks for Energy Harvested WSN
2011	56_CIFRE 11-ST56 Transistors Bipolaires SiSiGeC Rapides pour Technologie BiCMOS 55 nm
2011	57_CIFRE 11-ST57 Variability Analysis and Modeling for Circuit Design in Deca-nanometer CMOS technology
2011	58_CIFRE 11-ST58 compensation digitale pour convertisseur AD large bande hautement parallélisé
2011	59_CIFRE 11-ST59 degazage pour litho avance
2011	60_CIFRE 11-ST60 28nm CMOS and-or FDSOI Ultra Low Voltage system design
2011	62_CIFRE 11-ST62 mmW Balun Model
2011	63_CIFRE 11-ST63 mmW CMOS32 High efficiency PA
2011	64_CIFRE 11-ST64 mmW LNA-Antenna Co-Design
2011	65_CIFRE 11-ST65 mmw phase shifter

2011	66_CIFRE 11-ST66 nouveaux matériaux de contacts CMOS
2011	68_CIFRE 11-ST68 20nm FDSOI designfor SOC
2011	69_CIFRE 11-ST69 Architecture logiciel de caractérisat° rapide de bibliothèques for environnements variables
2011	70_CIFRE 11-ST70 Elaborat° de protecti° compactes contre les décharges électrostatiques (ESD) en techno avan
2011	72_CIFRE 11-ST72 Stream mining on execution traces
2011	75_CIFRE 11-ST75 analogRf design of digitally enhanced RFFE in 2822nm under reduced Vdd voltage conditions
2011	77_CIFRE Application of Explosive Boiling Phenomenon to Power Harvesting
2012	1_ST01 Contributi° à l'évaluati° des techno de packaging SiP dans le cadre du développement de solu
2012	2_ST02 BIST over 110GHz for Transistor Power & Noise characterisation
2012	3_ST03 Analyse chimique 3D pour les dispositifs avancés de la microélectronique
2012	4_12-ST04 At speed design and test technics
2012	5_12-ST05 Caractérisation physique par « Zoom-in tomography » pour l'intégration 3D
2012	6_12-ST06 Dynamic & statistical reliability modeling assessment & circuitsystem reliability modeling
2012	7_12-ST07 Architecture de systèmes hétérogènes pour la réalisation d'une plateforme haptique
2012	8_ST08 Fiabilite HCIBTI des Transistors FDSOI HKMG en technologies sub 28nm
2012	9_12-ST09 Electromigration in Advanced Interconnect
2012	10_ST10 Cold FDSOI CMOS Process
2012	11_ST11 Compact Modeling of III-V CMOS devices for Benchmarking applications
2012	12_ST12 Concept° & réalisat° d'une microsource laser hybride III-VSi circuit photonique
2012	13_12-ST13 Etude et conception d'un capteur d'images réalisé à partir de membrane de silicium souple
2012	15_12-ST15 Plasma Charging in FDSOI UTBB
2012	16_12-ST16 Integration Silicium de systemes thermomecaniques pour la recuperation d'energie
2012	17_12-ST17 Impact de la grille métallique sur les paramètres électriques du transistor 20FDSOI
2012	18_CIFRE 12-ST18 Etude des interconnexions haute densité réalisées par TLPB pour l'intégration 3D
2012	19_CIFRE 12-ST19 Intégrat° de micro-canaux pour une évacuat° forcée de la chaleur d'une puce 3D
2012	20_CIFRE 12-ST20 Caractérisation du Double patterning pour le BEOL 20nm
2012	21_CIFRE 12-ST21 Impact de l'empilement des matériaux & des étapes de gravure associées sur la rugosité
2012	23_CIFRE 12-ST23 Substrate and illumination impact on optimum lithography focus in Logic ULSI
2012	24_CIFRE 12-ST24 origine des contraintes dans les modules FE du FDSOI 20 nm par techniques de TEM
2012	25_CIFRE 12-ST25 Caractérisation de la gravure Contact pour le nœud 20nm
2012	26_CIFRE 12-ST26 Advanced solvers for predictive modeling of Ion-Ioff Trends in C20FDSOI and future MGFET
2012	27_CIFRE 12-ST27 Conception and modeling of High Voltage MOSFETs in advanced SOI technologies

2012	28_CIFRE 12-ST28 Implementation of PCM for variability study in FDSOI
2012	29_CIFRE 12-ST29 MOSFET Predictive Modeling for Circuit Design in FDSOI
2012	30_CIFRE 12-ST30 Numerical & experimental investigat°of FEBE induced stress for mechanical reliability
2012	31_CIFRE 12-ST31 Ingenierie phononique pour la recuperation d'energie et integration sur substrat souple
2012	32_CIFRE 12-ST32 100Gbs Modulator Driver
2012	33_CIFRE 12-ST33 FDSOI Ultra Low Power RFFE Architecture and Design
2012	34_CIFRE 12-ST34 Silicon-based THz photonic imagers in nm (Bi)CMOS processes processes
2012	35_CIFRE 12-ST35 Ultra Low Power Data Converters Design Techniques in 28nm FDSOI
2012	37_CIFRE 12-ST37 Energy Efficient TCPIP Protocol Stacks for Ultra Low Power Energy Harvested Nodes
2012	38_CIFRE 12-ST38 Préassemblage physique automatisé de composants dans des circuits complexes
2012	39_CIFRE 12-ST39 Etude et contribut° aux nouvelles stratégies de protect° ESD dans les techno CMOS avancées
2012	41_CIFRE 12-ST41 Lowpower Wideband frequency synthes for millimiter-wave applicat° in advanced BiCMOS process
2012	42_CIFRE 12-ST42 Méthode d'analyse de susceptibilité des IPs analog et application au partage d'alimentation
2012	43_CIFRE 12-ST43 Post breakdown dielectric modeling for antifuse and Oxram applications
2012	44_CIFRE 12-ST44 Etude & caractérisat° de nouveau stress électriques type EOS appliqués aux circuits intégrés
2012	45_CIFRE 12-ST45 Inovative solutions for full custom LAYOUT in deep submicron technolgies
2012	47_CIFRE 12-ST47 Transmiss° Securisées sur reseaux sans fil de capteurs autonomes en energie type GreenNet
2012	50_CIFRE 12-ST50 Innovative solution for high speed energy efficient digital logic in 28nm SOI technology
2012	51_CIFRE 12-ST51 Advanced Reticule Evaluation
2012	52_CIFRE 12-ST52 Etude de la réponse acoustique des collages directs et temporaires
2012	53_CIFRE 12-ST53 Pilotage dynamique des politiques de maintenance des équipements de procédés
2012	54_CIFRE 12-ST54 Detection Contamination Metaux Nobles
2012	55_CIFRE 12-ST55 APAAPP Advanced Projection Algorithms for Accurate Planning and Production Control
2012	56_CIFRE 12-ST56 Gestion de la connaissance dans un SI distribué évolutif et décisionnel
2012	57_CIFRE 12-ST57 Dynamical and balanced control plan
2012	58_CIFRE 12-ST58 Integration and thermomechanical modeling of silicon interposer
2012	59_CIFRE 12-ST59 Developpement d'un flot d'analyse de fiabilite de circuits digitaux par injection de fautes
2012	60_CIFRE 12-ST60 Amplificateurs linéaires sélectifs
2012	71_CIFRE Carac XRD des contraintes apportées par les procédés 20FDSOI
2012	74_CIFRE Conception et réalisation de transistors bipolaires ultr-rapides compatibles FD-SOI CMOS
2012	77_CIFRE Etude de la dynamique des porteurs de charges à l'échelle nanométrique par sonde locale pour l'améli

2012	82_CIFRE Intégration d'un détecteur IR sur capteur CMOS pour la réalisation d'un détecteur IRGB
2012	83_BDI Modulateur Optique sur Silicium contraint pour les applications basse consommation
2012	85_CIFRE RF nano tester
2012	89_CIFRE TEST SANS CONTACT DE PUCES RF ET MILLIMETRIQUES
2012	91_CIFRE WiFi-WiGig Convergence TX
2012	92_CIFRE alliage metallurgie actif pour remplissage petites cavités (type Co-Al)
2012	93_CIFRE carac d'interface BEpackaging et simulationcarac associée
2013	1_CIFRE 13-ST01 Analyse de lacunes d'oxygène à l'échelle nanométrique dans les stacks HKMG 14nm et 10nm
2013	3_CIFRE 13-ST03 3D monolithic Power Performance Area study in 14nm and below
2013	5_CIFRE 13-ST05 Advanced Forecasting Techniques
2013	6_CIFRE 13-ST06 Management in-situ et endurcissement au vieillissement des circuits
2013	7_CIFRE 13-ST07 BIST MMW
2013	8_CIFRE 13-ST08 Caractérisat° du mouillage de liquides & de la déformat° de structures à forts aspects ratio
2013	9_CIFRE 13-ST09 Contact shrink par auto-assemblage des copolymères à block
2013	10_CIFRE 13-ST10 Contacts Ohmiques faible budget thermique pour laser III-V intégré sur plateforme photonique
2013	11_CIFRE 13-ST11 Contributi° au dvpt de composants passifs innov.en techno photonique afin d'adresser le WDM
2013	12_Process co-optimization in SADP process for sub 14nm FDSOI
2013	14_CIFRE 13-ST14 Développement d'une solution de répartition de la chaleur émise par les points chauds
2013	15_CIFRE 13-ST15 Développement de procédés d'épitaxie basse température
2013	16_CIFRE 13-ST16 Développement de soluti° d'analyse prédictive de protect° ESD pour circuits intégrés mixtes
2013	17_CIFRE 13-ST17 Développt de techniques de caractérisat° de texture & microstructure appliquées aux techno
2013	18_CIFRE 13-ST18 Energy-Efficient Neuro-Inspired Computing Platforms
2013	19_CIFRE 13-ST19 Etude des mécanismes d'adaptat° du transceiver RF aux condit° de propagat° dans le cadre de
2013	20_CIFRE 13-ST20 Etude des mécanismes physiques de fiabilité sur transistors trigate
2013	21_CIFRE 13-ST21 Etude & développt d'un dispositif original à transfert de charge latéral des applicat
2013	22_CIFRE 13-ST22 Etude et mise en œuvre d'une technique de Calibration pour un Radar Automobile Anticollision
2013	23_CIFRE 13-ST23 Evaluation de Nouvelles Architectures de TBH SiSiGeC pour la Prochaine Génération BiCMOS
2013	24_CIFRE 13-ST24 Evaluat° d'une nouvelle solut° à très forte sélectivité nitruresilicium-silicium germanium
2013	25_CIFRE 13-ST25 FDSOI reliability under radiations and high temperature constraints
2013	26_CIFRE 13-ST26 Femtosecond photonic sampler
2013	27_CIFRE 13-ST27 Fiabilite des memoire Non-voltatile [M40]
2013	28_CIFRE 13-ST28 Innovative High-Speed SRAM bitcell for high-end FDSOI microprocessors

2013	29_CIFRE 13-ST29 Intégrat° de canaux en tens° et en compress° pour les technos CMOS FDSOI 10 nm et en deçà
2013	30_CIFRE 13-ST30 Intégrat° de procédés en face arrière pour améliorat° du couplage circuits photoniques
2013	32_CIFRE 13-ST32 Intégrat° système de techno de récupérat° d'énergie thermique pour des applicat° autonomes
2013	33_CIFRE 13-ST33 MASSIVELY PARALLEL RADIO RECEPTION
2013	34_CIFRE 13-ST34 Methodes de caractérisation et de controle industriel des contraintes locales
2013	35_CIFRE 13-ST35 Model physique de la réalisation de jonctions à basse temperature
2013	37_CIFRE 13-ST37 Optimisat°et prédiction des performances RF des TBHs des futurs noeuds technologiques BiCMOS
2013	38_CIFRE 13-ST38 Optimizat°of the Oxide-Resistive RAM tech in view of its applicat° as eNVM in advanced CMOS
2013	39_CIFRE 13-ST39 Organic Electronics
2013	40_CIFRE 13-ST40 Procédés d'épitaxie spécifiques au CMOS 14-10 nm morphologie et structure
2013	41_CIFRE 13-ST41 Propriete intellectuelle et conception innovante
2013	42_CIFRE 13-ST42 Qualificat° des interfaces entre couches minces dans 3D par acoustique picoseconde
2013	43_CIFRE 13-ST43 Self-contained 60 GHz deep CMOS Power Amplifier for OFDM beam forming applications
2013	44_CIFRE 13-ST44 Silicon photonic to WDM optical link
2013	45_CIFRE 13-ST45 Silicon-based THz power sources in nm (Bi)CMOS processes
2013	46_CIFRE 13-ST46 Simulation and predictive models for advanced nanodevices with III-V channel materials
2013	47_CIFRE 13-ST47 Study of physical and techno challenges to increase performances and endurance of eNVM
2013	49_CIFRE 13-ST49 Ultra Low Power Data Converters Design Techniques in 28nm FDSOI
2013	51_CIFRE 13-ST51 Ultra Low Voltage digital frequency synthesis
2013	52_CIFRE 13-ST52 Fabricat° et caractérisat° de transistors à nanofils multigrilles pour les techno sub-10nm
2013	53_CIFRE 13-ST53 Nouvelle technologie de contacts pour CMOS FDSOI
2013	55_CIFRE 13-ST55 BTI in advanced techology nodes
2013	56_CIFRE 13-ST56 Implantation ionique en 3 D par immersion plasma
2013	57_CIFRE 13-ST57 Etude de la réponse acoustique des collage directs
2013	58_CIFRE 13-ST58 Etudes de systèmes fluidiques oscillants for récupérat° d'énergie & l'évacuat° de chaleur
2013	59_CIFRE 13-ST59 Qualité de service dans des réseaux de capteurs sans fil autonomes
2013	60_CIFRE 3D sequential integration for 10nm node and below
2013	62_CIFRE Caractérisation et modélisation physique de transistors MOS sur films SOI minces sub 20nm HKMG
2013	65_CIFRE Nanometric study of the charge carrier dynamics and the local Cu interconnects resistance for reliab
2013	69_CIFRE modeling of Ge and III-V MOSFETs and implementation into MASTAR
2014	1_CIFRE 14-ST01 2D&3D CMOS process monitoring strategy applied to Hybrid Silicon Photonics for yield purpose
2014	4_CIFRE 14-ST04 Thermo-mechanical simulat° & experiments on 3D stacking for Imaging

2014	5_CIFRE 14-ST05 Low Voltage Imager Pixels
2014	6_CIFRE 14-ST06 Développement & Modélisat° compacte des dispositifs de protect° ESD en techno 14nm-FDSOI
2014	7_CIFRE 14-ST07 Modelisat° TCAD de la diffus° ds contaminants dans les oxydes metalliques pr appli CMOS, IMG
2014	8_CIFRE 14-ST08 Modelisat° de nvlles architectures de pixels éclairés en face arriere & optimizat° des perfo
2014	9_CIFRE 14-ST09 Dvlp de mesure CD par scattérométrie sur tool YIELDSTAR sur stack & design complexe
2014	10_CIFRE 14-ST10 Etude des interactions Resine SiARC lors des étapes de Patterning
2014	11_CIFRE 14-ST11 Intégration et modélisation RF des interconnexions 3D pour l'interposer photonique
2014	12_CIFRE 14-ST12 Intégrat° du collage direct en puce à plaque et analyses de défaillances pour les imagers 3D
2014	13_CIFRE 14-ST13 Caractérisat° d'oxydes métalliques pr passivat° des photodétecteurs & des DTI des imagers
2014	14_CIFRE 14-ST14 Co-optimization Design Process d'un procédé copolymère di-bloc
2014	15_CIFRE 14-ST15 Gravure sélective de SiN par voie humide et seche
2014	16_CIFRE 14-ST16 Dvlp et caractérisat° de nouveaux procédés de retrait résine par voie sèche pour les tech
2014	17_CIFRE 14-ST17 Etude de l'oxydation des alliages à base de Ge pour les technologies CMOS 1410FDSOI
2014	18_CIFRE 14-ST18 Etude et Caractérisation de couche d'oxyde diélectrique dopée bore
2014	19_CIFRE 14-ST19 Développement et optimisation de nouvelles techniques optiques pour l'analyse de défaillance
2014	20_CIFRE 14-ST20 Etude des interfaces entre couches minces par acoustique picoseconde pr les technos CMOS & 3
2014	21_CIFRE 14-ST21 Etude de la technique TEM-EELS pour la détection des dopants à l'échelle nanométrique
2014	22_CIFRE 14-ST22 Best-in Class Multi-simulator reliability SPICE models & advced Design For Reliability tech
2014	23_CIFRE 14-ST23 Caractérisation électrique des transistors MOS sur films SOI minces sub 20nm
2014	24_CIFRE 14-ST24 Innovative Circuit Reliability Testing and Real-time Product reliability assessment
2014	25_CIFRE 14-ST25 Advced process integrat° in silicon photonic integrated circuits for next generat° datacomm
2014	26_CIFRE 14-ST26 Concept°,fabricat° & caractérisat° de convertisseurs thermoélectriques intégrés en silicium
2014	28_CIFRE 14-ST28 Etude & dvlpt d'un capteur d'image éclairé en face arrière fonctionnant en mode Mono-coup (
2014	29_CIFRE 14-ST29 ETude de techniques de génération de contraintes en CMOS 14 et 10 FDSOI
2014	30_CIFRE 14-ST30 Nvlles approches d'utilisat° de la spectroscopie de photoélectrons à rayons X (XPS)
2014	31_CIFRE 14-ST31 AMHS simulation and optimization
2014	32_CIFRE 14-ST32 Mise en place d'une cartographie ds anomalies d'exécut° pr la supervis° de la Fab Crolles300
2014	33_CIFRE 14-ST33 Reduct° of Manufacturing Variability through Advanced Data Analysis

2014	34_CIFRE 14-ST34 Capteur millimétrique à 120GHz pour application automobile
2014	35_CIFRE 14-ST35 Localization with Narrowband Communications System
2014	36_CIFRE 14-ST36 Energy Efficient sub-millimeter wave Chip-to-Chip Links in UTBB FDSOI
2014	37_CIFRE 14-ST37 ULP TX radio techniques using N-path filters,
2014	38_CIFRE 14-ST38 Silicon-based THz power sources in nm (Bi)CMOS processes
2014	39_CIFRE 14-ST39 Systèmes communicants haut débit et bas coût par guides d'ondes en plastique
2014	40_CIFRE 14-ST40 Récepteur RF, incluant le dispositif de réveil, à ultra faible consommat° pr applicati° iOT
2014	41_CIFRE 14-ST41 Réception Radio massivement parallèle
2014	42_CIFRE 14-ST42 Horloge atomique miniaturisée
2014	44_CIFRE 14-ST44 Convertisseur analogique-numérique large bande avec correction mixte
2014	45_CIFRE 14-ST45 Etude et caractérisation d'interfaces à l'aide la réflectométrie de neutrons
2014	46_CIFRE 14-ST46 Ultra Low Power energy converters design for electro-mechanical harvesting matrices
2014	47_CIFRE 14-ST47 Fiabilité du CMOS in technologies avancées Etude & modélisat° du BTI (Bias Temperature In
2014	48_CIFRE 14-ST48 In situ Noise receiver and signal source for MMW BIST
2014	49_CIFRE 14-ST49Potentialité technologie CMOS SOI pour le développt en bande X de soluti° d'antenne active
2014	50_CIFRE 14-ST50 Nanometric study of the charge carrier dynamics & the local Cu interconnects resistance
2014	51_CIFRE 14-ST51 protocoles de communicat° adaptatifs low-consommat° pour des réseaux de capteurs autonomes
2014	52_CIFRE 14-ST52 Intégrati° 3D mémoires résistive complémentaire & à nanofil ds le back-end-of-line du CMOS
2014	54_CIFRE Caracterisation et Modélisation des techniques de dopages alternatives pour CMOS avancées et III-V
2014	55_CIFRE DRI - Etude des interactions entre traitements de surface et résines lors des gravures humides
2014	56_CIFRE DRI_Efficacité des procédés SC1 pour les nettoyages HMask BEOL
2014	58_CIFRE Etude en fiabilité des claquages polysilicium-contactactive dans les technologies 28FD et 14FDSOI
2014	59_CIFRE Evaluation des potentialités de la technologie H9SOIFEM pour adresser le marché des small cell
2014	60_CIFRE Flexible electronic
2014	62_CIFRE Interferometre Si pour mesure composants forte impedance attoF, MOS sub 14nm, Bip Av
2014	63_CIFRE MOSFET transistor modeling for Ultra Low Power Circuit Design
2014	64_CIFRE Numerical and experimental investigations of mechanical stress effects on electrical performances
2014	65_CIFRE SRAM in-field repair solutions
2014	66_CIFRE Walsh Tx for Full Software Radio applications (WTx)
2015	1_CIFRE 15-ST01 Diagnostic avancé des mémoires
2015	2_CIFRE 15-ST02 Advanced TCT Management
2015	4_CIFRE 15-ST04 Caractérisat° électrique et modélisati° compacte

2015	5_CIFRE 15-ST05 Etudes numériques & expérimentales pour la compréhens° & la maitrise des phénomènes d'Aut
2015	6_CIFRE 15-ST06 Conception de protection 3D contre les décharges électrostatiques (ESD) en
2015	8_CIFRE 15-ST08 Dynamic body bias in memory
2015	9_CIFRE 15-ST09 Développement de modèles statistiques pour les surfaces aplanies
2015	10_CIFRE 15-ST10 Dév de méthodologies & de bancs de mesures associés en Bruit & Puissance au-delà de 170G
2015	11_CIFRE 15-ST11Développement & applicat° de la précess° pour la caractérisat° des technologies avancées 14nm
2015	12_CIFRE 15-ST12 Etude de l'impact d'un procédé de gravure plasma de silicium sur les performances
2015	13_CIFRE 15-ST13 Etude des interfaces entre couches minces par acoustique picoseconde for tech CMOS & 3DI
2015	14_CIFRE 15-ST14 Etude des procédés de gravure sélective par plasma remote & leurs applicat°
2015	15_CIFRE 15-ST15 Etude et Développement de TBH SiSiGeC pour Technologie BiCMOS 28 nm FDSOI
2015	16_CIFRE 15-ST16 Etude & intégrat° de systèmes neuro-morphiques ultra basse
2015	17_CIFRE 15-ST17 Evaluat° of Silicon Photonics techno for the developt of innovative 40 Gbs wireless link a
2015	20_CIFRE 15-ST20 Integrat° challenges for fine pitch hybrid bonding 3D interconnects
2015	21_CIFRE 15-ST21Intégrat° d'1 2ème niveau de guidage photonique par dépôt de SiN au-dessus du SOI traditionne
2015	22_CIFRE 15-ST22 Intégrat° d'une cellule ePCM (Embedded Phase Change Memory) dans la technologie 28nm FDSOI
2015	23_CIFRE 15-ST23 Intégrat°robuste vis-à-vis de l'activité électrothermique suivant les différents
2015	25_CIFRE 15-ST25 Low Cost &Low Power Integrated 60 GHz Transmitter
2015	26_CIFRE 15-ST26 Modélisati°des technologies FDSOI 14nm & en-deçà pour les applicat°ultra-basse tension
2015	27_CIFRE 15-ST27 Non Volatile Memory characterization by UHV-CAFM
2015	28_CIFRE 15-ST28 Optimisat° numérique du recuit par laser nanoseconde et par micro-ondes for l'intégrat 3D
2015	29_CIFRE 15-ST29 Outils interactifs for l'analyse visuelle et l'optimisat°des processus de product°
2015	30_CIFRE 15-ST30 Photonics Reliability
2015	31_CIFRE 15-ST31 Radiation-Hardening-By-Design of analog CMOS circuits
2015	32_CIFRE 15-ST32 Système de radiocommunication agile auto-adaptable
2015	33_CIFRE 15-ST33 Système d'interface très haut débit pour liaisons par fibre optique
2015	34_CIFRE 15-ST34 Ultra Wide band receiver for 5G & beyond
2015	35_CIFRE 15-ST35 Vapor chambers for high performance cooling and thermal management
2015	36_CIFRE 15-ST36 XPS analysis of High-K Metal Gate field effect devices & correlat° to threshold voltage
2015	37_CIFRE 15-ST37contribut° aux développements de circuits de qualificat° pour une plateforme photonique
2015	38_CIFRE 15-ST38 Plateforme de mesure in situ de la consommation des nœuds d'un réseau de capteurs

2015	39_CIFRE 15-ST39 retrait de contaminants dans les structures à fort aspect ratio des capteurs d images CMOS
2015	40_CIFRE 15-ST40 Siliciures de Ti et de Ni sur substrat SiGe riche en Ge
2015	41_CIFRE 15-ST41 Étude matériaux & procédés de grille métallique for l'optimisat° des paramètres électriques
2015	42_CIFRE 15-ST42 Alimentation DCDC ultra-intégrée en technologie CMOS avancée pour l'Internet des Objets
2015	43_CIFRE 15-ST43 Low Power BTLE 802.15.4 Localization System for IoT
2015	44_CIFRE Caractérisation des contraintes dans les canaux des transistors FDSOI par holographie électronique
2015	45_CIFRE DRI Hybrid Metrology
2015	46_CIFRE Epitaxie de semi-conducteurs III-V pour une intégration sur une plateforme Photonique-Silicium
2015	48_CIFRE Etude et compréhension du comportement des transistors TBH SiGe au-delà du BVCEO
2015	49_CIFRE Fonctionnalités étendues en technologies FDSOI (2814nm), BiCMOS (B55, Adv BiCMOS) et PDSOI (H9SOI)
2015	51_CIFRE Modélisation TCAD avancées pour analyse et amélioration des performances des dispositifs 14FD
2015	52_CIFRE Modélisation de nouvelles architectures de pixels avancés et optimisation des performances
2015	53_CIFRE ModélisationTCAD pour l'étude et l'optimisation de la variabilité des technologies FDSOI
2015	54_CIFRE Nouvelle approche de génération de contrainte biaxiale dans des films minces de SOI pour technologie
2015	57_CIFRE Sensibilité des composants photoniques aux contraintes locales générées par les interconnexions 3D
2015	58_CIFRE Wet laser applications to semiconductors

ANNEXE 6 – FROM FMEA AS PROBLEM SOLVING TO DESIGN-ORIENTED PROCESS : TOWARD A DESIGN PERSPECTIVE OF FMEA

INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2016
Dubrovnik - Croatia, May 16 - 19, 2016.

FROM FMEA AS A PROBLEM SOLVING METHOD TO A DESIGN-ORIENTED PROCESS: TOWARD A DESIGN PERSPECTIVE OF FMEA

B. Cabanes, S. Hubac, P. Le Masson and B. Weil

Keywords: FMEA, C-K design theory, problem solving, industrial design

1. Introduction

In a highly competitive industry, the management of quality and reliability in product design and manufacturing is becoming a fundamental issue. More and more, the main challenges on the new product development (NPD) are on identifying solutions and methods for the reduction, control and elimination of risk [Stamatis 2003]. According to Stamatis [2003], the focus of identifying and analyzing risks is mainly due to competition, time to market, market pressure, customer requirements, continual improvement philosophy, warranty and service cost. Thus, one of the main objective of risk analysis is to focus on prevention of problems, elimination of waste and reduction of unreliability [Stamatis 2003]. This means that the goal is to anticipate and understand what can be the probability, the consequences and the causes of potential problems and errors. In many high-tech sectors, such as automotive, aerospace, defense and semiconductor, the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) methodology is now one of the main used tools to identify and reduce risks during product design and manufacturing development [Lodgaard et al. 2011]. The FMEA is a systematic procedure to identify, anticipate and evaluate failure mode and their consequences on the system, product, technology, process, services, etc. Failure mode can be understood as deviations between actual and desired status of a system property [Wurtenberger et al. 2014]. However, practitioners (engineers, quality managers, etc.) and the literature in engineering design and quality management [Teng and Ho 1996], [Lodgaard et al. 2011] highlight many difficulties to implement and efficiently generate FMEA and to use the FMEA information to improve the quality of product and process design. We identify three main weaknesses and limits. The first one is that "unexpected" problems still happen even if the right FMEA procedures have been respected, the right knowledge has been used and the right design verifications have been done [Teng and Ho 1996]. The second one is that the FMEA methodology does not allow creating new learning. In complex engineering systems, the integration of a multitude of sub-systems, system-element and modules, from different engineering disciplines, increase the risk of product failures [Punz et al. 2011]. Indeed, each system is carrier of different effects, and these effects may involve undesired effects and problems in other modules and sub-systems. Thus, the main issue is not only sharing information between multidisciplinary teams to anticipate "well-structured problems" [Simon 1973], but to create new knowledge at the interface between interdisciplinary teams to propose creative redefinition of the situation. The third one is that FMEA methodologies have major difficulties in social interactions. These include the establishment of well-trained and balanced FMEA team, the coordination of individual departments in generating and accurate FMEA report [Teng and Ho 1996] and the collaboration between multidisciplinary teams in the design activity of FMEA report. Therefore, the main question of this paper

tries to answers: How to explain FMEA difficulties and how to improve FMEA methodology in order to be able to design a better risk management strategy in NPD? First, this research will discuss the FMEA procedure, its history, its main concepts and its current weaknesses. Then, we propose to highlight that the limits of FMEA procedure can be linked to the limits of a problem-solving paradigm [Dorst 1997, 2006]. We reveal that current vision of engineering design, and particularly FMEA procedure, is based on problem solving perspective, which is restricted by the "bounded-rationality" model, proposed by Simon [1996], [Yassine and Braha 2003]. From the work of Hatchuel [2001], and its concept of "expandable rationality" we propose to revisit the theoretical framework of the FMEA to explain why FMEA cannot be reduced to problem solving. Finally, we argue that FMEA procedure is a full design activity and we propose to extend the initial FMEA methodology, by using C-K design theory [Hatchuel and Weil 2003, 2009]. The research was carried out in STMicroelectronics manufacturing department, more specifically in the Engineering Competences Center located in Crolles (France).

2. Theoretical background

2.1 The FMEA methodology: a general overview

In 1949, the U.S. Armed Forces (Military Procedures document MIL-P-1629) introduced for the first time the FMEA methodology to analyze and organize failures according to their impact on mission success and equipment safety [Stone et al. 2005]. Since that time, the use of FMEA methodology increased considerably across the industry, from Apollo space program (1960s) to the semiconductor industry, foodservice, software, as well as automotive industry (1980s). In major industries, problem prevention and design/process improvement are the main focus of FMEA [Lodgaard et al. 2011]. Indeed, prevent problems is clearly more advantageous—in terms of cost, quality and reliability—than fixing problems. As a tool, FMEA allows to prevent problems before design reach testing, and it allows to drive design and process improvements. To obtain safe, stable, trouble-free designs and error-proof manufacturing process are the main important objectives [Punz et al. 2011]. Moreover, given that effective product testing and manufacturing process controls are critical elements of successful product development, FMEA is also used to improve test plans and process controls. At last, other benefits of conducting FMEA include the following issues: helps to select alternatives (in system, design, process, and service), helps to define opportunity for achieving fundamental differentiation, helps to improve the company's image and competitiveness, helps to increase customer satisfaction [Stamatis 2003]. Usually, in many industrial sectors, FMEA are divided into three FMEA processes (Figure 1): system FMEA, design FMEA and process FMEA [Teng and Ho 1996], [Stamatis 2003], [Carlson 2012], [Wurtenberger et al. 2014].

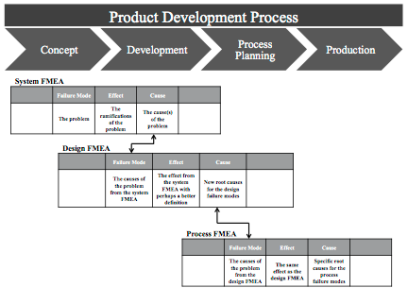


Figure 1. Relationship of system, design, and process FMEA [Stamatis 2003], [Wurtenberger et al. 2014]

System FMEA (also called concept FMEA) is the highest-level analysis of an *entire system,* composed of different subsystems [Carlson 2012]. Thus, in system FMEA, the focus is to convert operational needs

into a formal description of technical parameters and technical configurations. Indeed, the aims are to ensure an optimal compatibility between technical parameters, physical parameters, functional topic, and to integrate reliability, quality, maintainability, safety, security, etc. [Tumer and Stone 2003]. Design FMEA–usually managed by product/design engineers–aims to identify and demonstrate engineering solutions to conform to system FMEA requirements and customer specifications [Teng and Ho 1996], [Stamatis 2003]. Finally, process FMEA deals with manufacturing processes. The focus is to define how manufacturing and assembly process can be developed to ensure that products or technologies are built according to design requirements, whilst maximizing quality, reliability, productivity, and the efficiency of the different process [Tumer and Stone 2003], [Wagner et al. 2008]. Each type of FMEA are used to support the product development process.

2.2 How to design a FMEA: preparation and procedure

To clarify the FMEA procedure, we propose to introduce its key concepts and definitions. As mentioned above, the main goal of a FMEA is to improve product design and process design. That means that main objectives are to identify significant product and process characteristics, to identify and prevent potential failures, to improve test and verification plans, to improve process control plan, to minimize loss of product performance and performance degradation [Carlson 2012]. FMEA methodology is based on a tabular method of presenting data. Information from the analysis are visually displayed in a series of worksheet rows and columns (Table 1).

Table 1. Generic FMEA worksheet

Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of failure	Severity	Potential Cause(s) of failure	Occurrence	Prevention & Detection method	Risk Priority Number (RPN)	Recommended action	Actions taken

By *item*, it must be understood the main topic: the system itself for a system FMEA, the subsystem for a design FMEA and a manufacturing step for a process FMEA. A *function* corresponds to the task that the system, design, process must be perform. Usually, a function is described by an active verb. A *failure mode* characterizes the problem, i.e the way in which the *item* fails to perform the intended *function.* Each *function* could have many different *failure modes.* Moreover, it's important to highlight that a *failure mode* has to describe the physical description of the manner in which a failure occurs [Stamatis 2003]. An *effect* is the outcome and the consequence of the failure on the system, design and process, i.e. this is what happens when a failure occurs. *Effects of failure* must be analyzed from two perspectives: local consequences and global consequences. Local consequences mean that the failure can be isolated and it does not affect anything else. Global consequences mean that the failure can affect other functions. A *cause* is defined as the reason of the failure, i.e. the root cause of the failure. In most industries, FMEA procedures are recommended in case of new products or processes development, modifications of existing products or processes, customer's requests, quality improvement, and reliability management. There is no standard procedure for the FMEA method, however many examples in the literature use the following systematic approach [Teng and Ho 1996], [Stamatis 2003], [Carlson 2012]:

1. *Selection of the team*–FMEA cannot be done by an individual person. FMEA must be created by a team, and this team has to be defined depending on the nature of the project. Moreover, it's fundamental to ensure the cross-functional and multidisciplinary nature of the team [Stamatis 2003]. Then, the team tries to organize the opportunities of improvement by using brainstorming method, storybook method, cause-and-effect diagram, etc. What kinds of problems are there? What kinds are anticipated with particular situation?
2. *Selection of the functions*–Functional block diagram (for system and design FMEA) and process flowchart (for process FMEA) are used to make sure that everyone is on the same wavelength.

Does everyone understand the system, the problems associated with the design and process? Does everyone share an overview and a working model of the relationships and interactions of the systems, subsystems, processes, etc.?

3. *Failure mode collection*–The team has to collect and categorize the data of the failure mode.
4. *Effect investigation*–Enter all the primary functions for the item under analysis. Then, beginning with the first function, enter all the failure modes and corresponding effects with severity rankings. This step has to be done for all functions.
5. *Causes investigation*–For each *failure mode-effects* couple, enter all the causes, with occurrence ranking for each cause
6. *Detection analysis*-For each cause, enter prevention-type controls and detection-type controls.
7. *Recommended actions proposition*-By using different types of methods, such as brainstorming, cause-and-effect analysis, simulation, another FMEA, etc.; the objective is to evaluate and exploit the data for a resolution: Data ➔ Information ➔ Knowledge ➔ Decision.

FMEA method is a continual improvement method, so it's important to pursue improvement in each step.

2.3 The current weaknesses of the FMEA

Even if the FMEA is a widespread method used across industries, practitioners (engineers, quality managers, etc.) and the academic research highlight many difficulties to efficiently implement FMEA. In many cases, it's difficult to demonstrate that FMEA information improve the quality of product and process design. We identify three main weaknesses and limits.

2.3.1 The unexpected problems identification

Shortcomings are related to the difficulties in identifying key failures, to the fact that the analysis is subjective, based on the user's experience, and that the procedure is tedious and laborious for designers/engineers [Stone et al. 2005]. Moreover, academic researches highlight that "unexpected" problems still happen, even if the right FMEA procedures have been respected, the right knowledge has been used and the right design verifications have been done [Teng and Ho 1996]. On the one hand, this may partly be explained, by the fact that FMEA is performed too late in the design cycle [Stone et al. 2005]. In another hand, it also could be explained by the fact that designers/engineers don't really think about manufacturing issues during the design stages [Teng and Ho 1996]. Carlson [2012] also underlines the limitations of using generic listings of failure modes, effects, and causes. These types of listing provide standardized descriptions and limit the creativity of the FMEA team to "think outside the box" and to identify problems not previously observed [Carlson 2012].

2.3.2 Managing collective learning in multidisciplinary environment and at the interface between subsystem

To identify "unexpected" problems or new issues which are not already seen, this will necessarily involve managing collective learning capacities. However, the FMEA procedure does not achieve this fundamental objective. Indeed, as an inductive method, the FMEA is restricted to examine consequences (*effects & causes*) of an already known unwanted event (*failure mode*). This weakness makes it also difficult to support dynamic update of the FMEA report, i.e it's difficult to achieve FMEA as a living document [Lodgaard et al. 2011]. Moreover, in high-tech industries, the work environment is composed of a constellation of different practices and expertise. Thus, the analysis of complex systems to succeed in conducting an FMEA involves managing learning capabilities and support interdisciplinary collaboration. In addition, empirical data show that at least 50% of field problems occur at interfaces between sub-systems [Carlson 2012]. FMEA methodology tends to study the risks on a per-system basis, regardless of a global vision. Indeed, each system is carriers of different effects, and these effects may involve undesired effects and problems in other modules and sub-systems [Punz et al. 2011], [Wurtenberger et al. 2014].

2.3.3 Collaboration in the unknown: coordination and social interactions

Finally, the main issue is not only sharing information between multidisciplinary teams to anticipate "well-structured problems" [Simon 1973], but to create new knowledge at the interface of systems, between interdisciplinary teams, to propose creative redefinition of the situation, i.e. to give shape to the unknown. However, FMEA methodologies have major difficulties to take into consideration social interactions. These include the establishment of well-trained and balanced FMEA team, the co-ordination of each departments in generating and accurate FMEA report [Teng and Ho 1996] and the collaboration between multidisciplinary teams in the design activity of FMEA report.

2.4 FMEA methodology: From "bounded rationality" to "expandable rationality"

In high tech industries, Concurrent Engineering (CE) is becoming the main management philosophy in product and process development. CE is a set of operating principles allowing simultaneous development of product or process through an accelerated successful completion [Salomone 1995]. The main principles of CE–as *iteration principle, parallelism principle, decomposition principle and stability principle*–are derived from the fundamental characteristics of design decision-making and the "bounded rationality" paradigm [Yassine and Braha 2003]. "Bounded rationality" [Simon 1973, 1996] was a conceptual weapon against the "pure-rationality" based models of the decision paradigm [Hatchuel 2001]. This new model of rationality proposed to introduce the "satisficing" principle to introduce subjectivity, heuristics, uncertainty, imprecision in problem-solving and to illustrate that agents have a limited information-processing capacity. Today, the problem-solving paradigm, based on the conceptual framework proposed by Simon, is still the dominant paradigm in engineering design [Dorst 1997, 2006], [Yassine and Braha 2003]. As mentioned by Teng and Ho [1996] FMEA is a key instrument used in CE. Indeed, FMEA is one the main design and manufacturing engineering tool allowing to reduce product life cycle cost and to speed up the development of new product and process, i.e. one the main tool to manage and control CE [Teng and Ho 1996]. However, as mentioned above, the FMEA procedure has many weaknesses and limits. Thus, our main hypothesis in this article is that the weaknesses and limitations of FMEA are directly linked to the legacy of the problem-solving paradigm. Even if, the problem-solving paradigm and the "bounded rationality" were powerful concepts for the modeling of design, recent publications highlight fundamental weaknesses of this conceptual framework [Dorst 1997, 2006], [Hatchuel 2001]. In our opinion, one of the main contributions aiming to renew the problem-solving paradigm is the concept of "expandable rationality" [Hatchuel 2001] and the C-K design theory [Hatchuel and Weil 2003, 2009]. For these authors, design includes problem-solving, but it cannot be reduced to problem-solving [Dorst 2006]. To illustrate this argument, Hatchuel [2001] propose two examples. The first one is considered as problem-solving situation: *"looking for a good movie in town"*. The second one is considered as a real design project: *"have a nice party"*. Hatchuel explains that there are three important differences between these situations:

- The first difference is that in the design situation (example 2) there is no dominant design for what a *"good party"* should be. Hence, in example 2, there is something more: *"unexpected designs of what is a party can emerge from the process"* [Hatchuel 2001]. Finally, if unexpected expansions of the initial concepts are integral to a design process, design situation cannot be reduced to problem-solving.
- The second difference concerns collective learning. In example 1, collective learning results from exploration of already recognized knowing areas (films, theaters, member preferences, etc.). However, in case 2, collective learning determines the generation of problems and has to be considered as a design area. Hatchuel uses the term of *"learning devices"*, sort of sub-process that help designers to *"learn about what has to be learned or should be learned"* [Hatchuel 2001].
- Finally, social interaction is not just a design resource like in the case 1. In design situation, social interaction is a design resource and also a designable area. Thus, the understanding and the designing of social interactions is part of the design itself [Dorst 2006].

According to Hatchuel, this covey a new perspective on rationality: *"what means rational behavior in infinitely expandable and non-countable sets of actions?"* [Hatchuel 2001]. Hatchuel propose the concept of "expandable rationality" to highlight the "*designer ability to manipulate (individually and*

collectively) infinitely expandable concepts" [Hatchuel 2001]. Based on the Hatchuel proposition, we aim to revisit the theoretical framework of the FMEA to explain why FMEA cannot be reduced to problem solving. Moreover, we demonstrate that the FMEA failures are the consequences of the dominant conceptual framework, which is based on the "bounded-rationality" model. Then, to explain FMEA difficulties, in order to be able to design a better risk management strategy in NPD [Said et al. 2016], we argue that FMEA procedure is a full design activity. Finally, to improve FMEA methodology, we propose to extend the initial FMEA methodology, by using C-K design theory [Hatchuel and Weil 2003, 2009].

3. Research Methods and theoretical framework

3.1 Collaborative management research in semiconductor industry

3.1.1 Collaborative management research methodology

This qualitative research was conducted from January 2014 to August 2015, in STMicroelectronics, one of the European leaders in semiconductor industry. The present study is based on a collaborative management research [Shani et al. 2008], conducted by academics and practitioners in order to create actionable knowledge for the organization and new theoretical models in management research [David and Hatchuel 2008]. The research was carried out by a researcher in management science and by a STMicroelectronics senior expert in manufacturing science. The purpose of this research was to investigate FMEA methodology and it uses in STMicroelectronics manufacturing department, more specifically in the Engineering Competences Center located in Crolles (France). From the company perspective, the goal is to understand and explain the weaknesses of the FMEA procedure, in order to improve the process to augment the performances of the firm. From the academic perspective, the FMEA tool is an interesting research object. Indeed, it is used from the 80s by the main important industries, however practitioners and research agree that this tool is poorly efficient: How can we explain this paradox? Thus, the challenge is to bring new theoretical frameworks and new knowledge in the field of engineering design and management science.

3.1.2 Data collection process and data analysis

Collaborative management research methodology enables access to a large set of data and allows researchers to adjust their investigation in order to make sens of the field. During our interventions, data have been collected in several ways: observations and analysis of internal process, interviews with key actors, analysis of internal documentation (checklists, FMEA, standard operating procedure, etc.), and participation of internal meeting and working group. Unfortunately, it is impossible for us to present the exact information because of confidentiality issues. The collaborative management research began from the development of a shared view of a critical issue of interest to both senior expert and the researcher. This is followed by the exploration of alternative ways to design the inquiry process. We decided to proceed as follows. First we propose to model FMEA with the most recent models of design reasoning (C-K theory). Then, we highlight new solutions to improve FMEA procedure. Finally, we propose to implement these new solutions in an empirical study and we evaluate its performances.

3.2 An analytical framework based on C-K design theory

C-K design theory aims to provide a unified and rigorous framework for design [Hatchuel and Weil 2003, 2009]. According to C-K design theory, design is defined as the interaction between two interdependent spaces. On the one hand, K Space incorporates all the propositions with a logical status, i.e. all available knowledge that the designers are able to prove or disprove. On the other hand, C Space includes all the propositions neither true nor false in K space, i.e. concepts about partially unknown objects. Propositions in C space are qualified as "undecidable" relative to the content of a space K if it is not possible to prove that these propositions are true or false in K space. When designers are faced with concepts, designers cannot affirm whether such a thing may be possible or that this would never be the case. Design starts when an initial concept is created. Design process proceeds by expansion of this initial concept into other concepts (by partitioning the concept) and/or into new knowledge (Figure

2). During the design process, both C and K spaces are expandable and these transformations between spaces and in the same spaces take place through four operations: C➔C, C➔K, K➔K and K➔C.

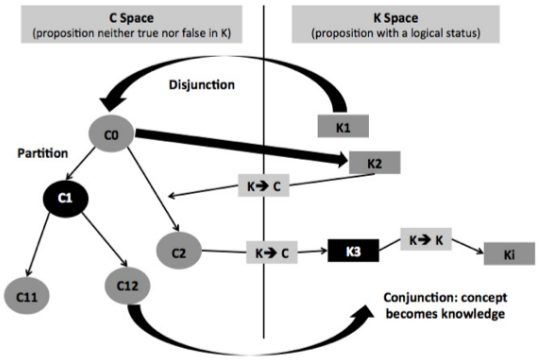


Figure 2. C-K Design Formalism [Hatchuel and Weil 2003]

The design process attempts to transform *"undecidable"* propositions into logical propositions in K, i.e. the design solution is when *"the first concept become a true proposition in K"* (a conjunction). The theory claims that C space has a determined structure: this space has a tree structure. Each node represents a partition in divers sub-concepts [Hatchuel and Weil 2003], and only partitioning or inclusions are allowed in C space. The theory introduces two different types for partitioning for concepts: *restrictive partitions* and *expanding partitions* [Hatchuel and Weil 2003]. Restrictive partitions add a property to a concept already known, unlike expanding partitions, which add properties not know in K as a property of the entities concerned. Therefore, *"creativity and innovation are due to expanding partitions of concepts"*. Then, design process has to be understood as interactions between these two spaces. Knowledge is used to elaborate concepts in C space, and concepts are used to expand knowledge in K space. Design process ends when *undecidable* proposition (concept) become *decidable* in K space. Moreover, using a color code (Table 2) can describe the various stages of the design process.

Table 2. Grayscale code for C-K framework [Agogué et al. 2013]

	Color code	Industrial implications	Theoretical foundations
C space	**Known concept**	The concept refers to a set of known technical solutions, whose performance is also known	There are many conjunctions
	Unexpected concept	The concept is far from the dominant design	Expansive partition
K space	**Validated knowledge**	Knowledge and validated in-house	Stabilized knowledge base (including dominant design)
	Ongoing knowledge	Knowledge being acquired	K identified, conditions of validity and evaluation to define
	Missing knowledge	Absent or non-actionable knowledge in-house	Identification of need for K (expansion of the knowledge base)

4. Results and discussion

4.1 "Expandable rationality" to identify the "unexpected" problems

The figure below (Figure 3) illustrates the FMEA design process with the C-K framework. As mentioned above, we can model the seven steps of the classic systematic approach.

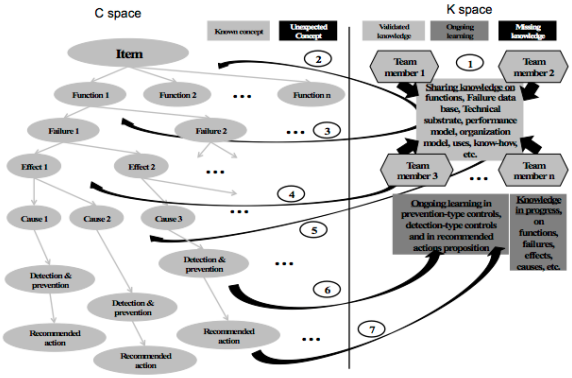


Figure 3. FMEA design process with C-K framework

As a problem solving method, FMEA does not allow to generate new concept which are nevertheless essential to identify "unexpected" problems. Indeed, sharing validated knowledge to constitute a "problem space" as a general starting point of a problem-solving process is not enough. Hence, it seems essential to not restrict the analysis to formal listing of failure modes and to already known unwanted phenomenon. The challenge is to develop learning capabilities to create new knowledge (*missing knowledge* in the figure below) in order to generate "unexpected concept" (Figure 4). Finally, this new activity shall therefore be regarded as a new and crucial objective of the FMEA procedure.

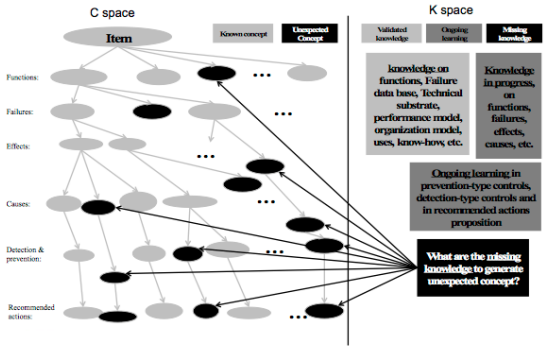


Figure 4. Unexpected concepts identification with C-K framework

4.2 The *"Measurement Space"* as a *"learning devices"* to improve collective learning in multidisciplinary environment

The parallelism principles and decomposition principle are the main key concepts of CE [Yassine and Braha 2003]. The first one is required for short development times and the second one allows decomposing complex system into a number of simpler subsystems that can be controlled independently. However, as we mentioned before, at least 50% problems occur at the interfaces between sub-systems. Most of FMEA designers focus on part or sub-system failures and miss the interfaces. Even if, the FMEA manuals specify that is fundamental to analyze the links between different types of

FMEA (System FMEA, design FMEA and process FMEA); in practice, this relationship is extremely difficult to capture (in theory, the causes in the system FMEA become the failure modes in the design, which in turn generate their own causes, which ultimately become the failure modes in the process FMEA [Stamatis 2003]). The reasons are that the design issues are different and the expertise of FMEA designers (knowledge, technical substrate, performance model, uses, know-how, methods, etc.) are often totally different (this is what we call an multidisciplinary environment) (Figure 5).

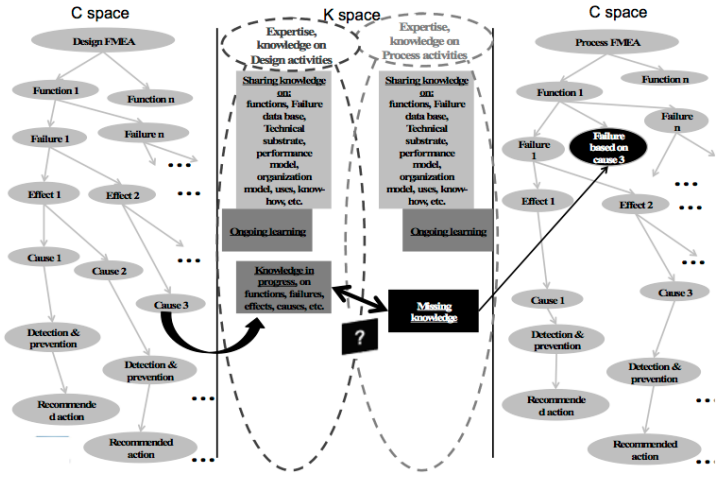


Figure 5. Relationship of system, design, and process FMEA with C-K framework

Moreover, our analysis at STMicroelectronics showed that for a same type of FMEA (process FMEA for example), which the content is at 90% similar (for same process category, the majority of the functions are identical), we observe more than 50% of mismatch. This means that for the same functions from different FMEA, the data into the FMEA (effects, causes, detection, etc.) are totally different and inconsistent. This observation illustrate that the FMEA design process is heavily dependent of the team and of the expertise mobilized by the team of designers. From the concept of "learning devices", proposed by Hatchuel [2001], we suggest to add a sub-process to help designers to structure knowledge and to give them the opportunity to learn in order to improve the their capacity to generate consistent analysis and consistent solutions. Moreover, the objective is taking into account that each system is carriers of different effects, and these effects may involve undesired effects and problems in other modules and sub-systems. In addition, the teams of FMEA designers are composed of different, complex and multiple expertise, and can be understood as a constellation of interconnected practices and expertise. Thus, the main issue is to create learning capabilities at the interface between interdisciplinary teams to propose creative redefinition of the situation. However, each expertise (for example, maintenance, manufacturing, process integration, process development, physics, materials, electronics, photonics, statistics, software, etc.) uses its own unique characteristics, as technical substrate, performance model, organization model, uses, know-how, etc. Thus, we propose the concept of "measurement space" to determine quantifiable and detectable value criteria for each field of expertise (what are the relevant data to fill the function? what are the measurable data? How do I measure? Which instruments? etc.). First, these value criteria allow to determine if the function is filled. Second, the determination of these value criteria allow to initiate learning between interdisciplinary teams to determine what has to be learned or should be learned and allow to propose creative redefinition of the failure mode and effects analysis issues. Finally, this value criteria are collected by category, according

to each expertise. Thus, each FMEA designers can engage collective discussions and can learn from each other, even if their competencies and knowledge are different (Figure 6). Table 3 illustrates the new FMEA worksheet used by STMicroelectronics.

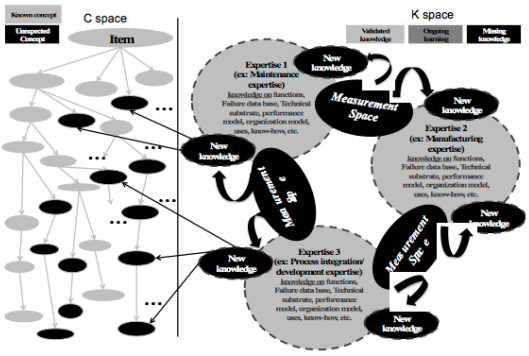


Figure 6. The "Measurement Space" as a "learning devices" with C-K framework

Table 3. STMicroelectronics FMEA worksheet with measurement space and value criteria in three categories

Item/Function What is the Item used for ?	**Measurement space** quantifiable and detectable value criteria for each field of expertise.	**Potential Failure Mode** Negation of (each) value criteria
Item : **TRFX** Function : * Transfer the wafer to chamber * Transfer the wafer (FI/Xfer => process chamber) at well balanced pressure	**Product**	
	Equipement	
	Manufacturing * Good wafer handling setup * Lift pins at good level * Well balanced pressure during wafer transfer	* Bad wafer handling setup
		* Lift pins at wrong level
		* Pressure not well balanced during wafer transfer
		* Wrong setting of Prestep (or header)
Item : **HOP (Heat On Pins)** Function : * Preheat the wafer on lift pins to prevent thermal stress and deformation during landing on edge ring. This preheat must be adjusted to wafer substrate and wafer technology (time, power on zones) * No rotation of the wafer to be maintained * Set and stabilize the pressure at process target value * Set and stabilize gases flows N2,02,N2_Mag	**Product** * No defectivity * Resistivity in control * Good visual beharvior	* Defectivity level too high
		* Resistivity out of control (Mean, range, uniformity)
		* Bad visual beharvior: warp,...
	Equipement * Correct zones power gradient adapted to wafer's sustrate and technology * Sufficient time (>= xx second) to complete chamber thermalisation * Pressure stable at process target value: - Atmos < target value (800 Torr) => enough delta pressure to evacuate gases without impact of weather condition (no pump)	* Bad settings for zones power (not adapted to wafer, sustrate, technology)
		* Insufficient time to thermalize the chamber
		* Pressure not at process value or instable
		* Process pressure setpoint too low
		* Process pressure setpoint too high
		* N2 flow not at process target or unstable
		* O2 flow not at process target or unstable
		* N2_Mag flow not at process target or unstable
		* Rotation in first step
	Manufacturing * Correct wafer hand off * Good prestep (header) setup	* Bad wafer hand-off
		* Wrong setting of Prestep (or header)

4.3 Creating and reordering knowledge to collaborate in the unknown

As mentioned above, the challenge is not only sharing information between multidisciplinary teams, but it's to create new knowledge at the interface of interdisciplinary teams and to give shape to the unknown. For this purpose, social interactions have not to be only considered as design resource but also as a part of the design itself. The social interaction conditions have to be designed to ensure well-trained and balanced FMEA team, the co-ordination of each department in generating and accurate FMEA report and the collaboration between multidisciplinary teams in the design activity of FMEA report. Thus, we propose to extend the initial FMEA methodology, as follows (Figure 7):

1. Per each expertise: creation of a knowledge base on functions, failure modes, effects and causes. Then, determination of value criteria for each expertise.

2. Sharing knowledge: unification of knowledge and collective learning phase through the value criteria identified in the "measurement space".
3. Selection of the functions and failure modes identification. This phase must enable to generate new functions and new failure modes previously unidentified.
4. Effects-causes-detection investigation: For each *function-failure mode* couple, determination of corresponding effects with severity rankings. Then, identification of causes, with occurrence ranking for each cause. Finally, estimation of prevention-type controls and detection-type controls.

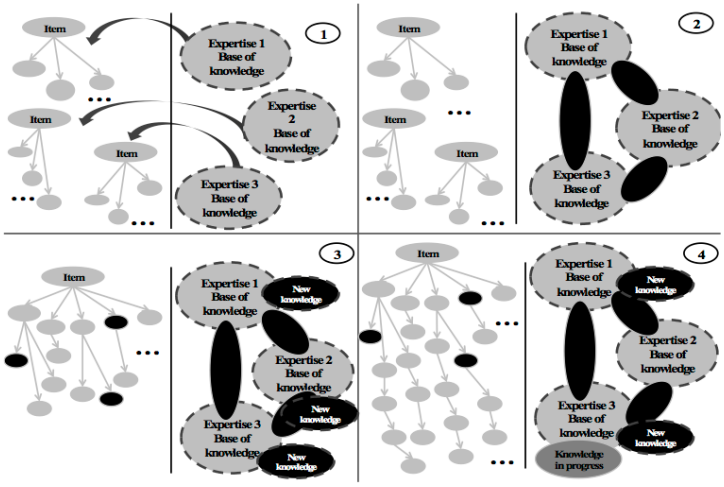


Figure 7. FMEA Methodology with C-K design theory

5. Conclusion

This paper analyses the FMEA method and identifies the main limits and difficulties of the traditional way of performing FMEA. Based on recent researches and on in-depth analysis at STMicroelectronics, we highlight three main weaknesses: the unexpected problems identification, the management of collective learning and the management of social interactions. This research was carried out to explain FMEA difficulties and to provide valuable findings to enhance the traditional FMEA method. For this purpose, we mobilize an original theoretical framework in order to demonstrate that the weaknesses of FMEA are directly linked to the legacy of the problem-solving paradigm. Then, from the work of Hatchuel [2001], and its concept of "expandable rationality" we propose to revisit the theoretical framework of the FMEA. Our main contributions are: to use design theory as a "reverse engineering" methodology to study existing process; to use C-K design theory as a framework to improve FMEA method; to introduce the concept of "measurement space" in the methodology to transform FMEA into a boundary object allowing new collective learning, better social cohesion and strong coordination between FMEA designers. These contributions allow extending the FMEA from a problem-solving method to a design-oriented process. Today, we observe real improvements at STMicroelectronics (see [Said et al. 2016] to have a complete overview of the deployment strategy at STMicroelectronics). Even if, we don't have yet the necessary hindsight to properly assess the effectiveness of the proposed new method, our preliminary results are more than encouraging. Indeed, on STMicroelectronics specific processes we have already shown more than 50% gain in FMEA accuracy allowing significant gains on Overall Equipment Efficiency (OEE gain >15%) and lower maintenance costs (the maintenance cost for

power generators equipment's decreased by 50% due to better reliability). Of course, further researches should be done to secure validity of the proposed method, in semiconductor industries and also in other industrial contexts.

References

Agogué, M., Hooge, S., Arnoux, F., Brown, I., "An Introduction to Innovative Design: Elements and Applications of C-K theory", Presse de Mines, 2013.

Carlson, C., "Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis", Vol.1, John Wiley & Sons, 2012.

David, A., Hatchuel, A., "From actionable knowledge to universal theory in management research", Handbook of Collaborative Management Research, Shani, A. B. (Ed.), Sage Publications Thousand Oaks, CA, 2008.

Dorst, C. H., "Describing Design-A comparison of paradigms", Thesis TU Delft, Delft University of Technology, 1997.

Dorst, K., "Design Problems and Design Paradoxes", Design issues, Vol.22, No.3, 2006, pp. 4-17.

Hatchuel, A., "Towards design theory and expandable rationality: the unfinished program of Herbert Simon", Journal of management and governance, Vol.5, No.3, 2001, pp. 260-273.

Hatchuel, A., Weil, B., "A new approach of innovative Design: an introduction to CK theory", DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, 2003.

Hatchuel, A., Weil, B., "CK design theory: an advanced formulation", Research in engineering design, Vol.19, No.4, 2009, pp. 181-192.

Lodgaard, E., Pellegård, Ø., Ringen, G., Klokkehaug, J. A., "Failure mode and effects analysis in combination with the problem solving A3", DS 68-9: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Copenhagen, 2011.

Punz, S., Follmer, M., Hehenberger, P., Zeman, K., "IFMEA–Integrated failure mode and effects analysis", DS 68-9: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Copenhagen, 2011.

Said, A. B., Shahzad, M. K., Zamai, E., Hubac, S., Tollenaere, M., "Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using Bayesian approach", Cognition, Technology and Work, Vol.18, No.1, 2016, pp. 193-213.

Salomone, T. A., "What every engineer should know about concurrent engineering", CRC Press, 1995.

Shani, A. B., Mohrman, S. A., Pasmore, W. A., Stymme, B., Adler, N., "Handbook of Collaborative Management Research", Sage Publications Thousand Oaks, CA, 2008.

Simon, H. A., "The sciences of the artificial", Vol.136, MIT press, 1996.

Simon, H. A., "The Structure of Ill-structured Problems", Artificial Intelligence, Vol.4, 1973, pp. 181-201.

Stamatis, D. H., "Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution", ASQ Quality Press, 2003.

Stone, R. B., Tumer, I. Y., Stock, M. E., "Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis design", Research in Engineering Design, Vol.16, 2005, pp. 96-108.

Teng, S. H., Ho, S. Y., "Failure mode and effects analysis: an integrated approach for product design and process control", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.13, No.5, 1996, pp. 8-26.

Tumer, I. Y., Stone, R. B., "Mapping function to failure mode during component development", Research in Engineering Design, Vol.14, 2003, pp. 25-33.

Wagner, C., Graebsh, M., Seering, W., Lindemann, U., "Specification risk analysis: introducing a risk management method for product architectures", DS 48: Proceedings of the DESIGN 2008, the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 2008.

Würtenberger, J., Kloberdanz, H., Lotz, J., von Ahsen, A., "Application of the FMEA during the product development process-dependencies between level of information and quality of result", DS 77: Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference, Dubrovnik, 2014.

Yassine, A., Braha, D., "Complex Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix Method", Concurrent Engineering, Vol.11, No.3, 2003, pp. 165-176.

Benjamin Cabanes, PhD Candidate
MINES ParisTech, Centre de Gestion Scientifique
60 Boulevard Saint Michel, 75006 Paris, France
Email: benjamin.cabanes@mines-paristech.fr

ANNEXE 7 – *DISRUPTIVE INNOVATION EXPLORATION APPLICATION FORM*

Disruptive Innovation Exploration

Application Form

Main Topic:
This application form is related to the innovation.augmented process flow.
Any innovator has to fill this form in order to quantify the innovation exploration maturity. This form is linked to the *Control_Panel_Innovation.xls* file allowing the 360° graph visualization and the Innovation_Exploration_Presentation.pptx presentation support file.

Instructions:
Please fill the tabs in this document related to your personal appreciation of your innovation.
Use the appreciation rankings to fill the *Control_Panel_Innovation.xls* file in order to obtain the 360° visualization graph. Copy paste the graph in the "Summary Section".
Send the Application Form file and the Innovation_Exploration_Presentation.pptx presentation to innovation.augmented@st.com

ST Confidential

life.augmented

Disruptive Innovation Presentation

Disruptive Innovation Title	Click here to enter a date.

Innovator Name(s) *Name*	**Innovation Patented**	Y/N
	Patent reference	
Function *Function*		
	Proof of Concept	Y/N
Organization *Organization*		
	Expert Partner Name	
Initial Submission Y/N If No, Previous Submission Reference: *YYDIMMNB*		

Innovation description summary:
Description, drawings…

Innovator aspiration and motivation :
Please detail your aspiration and motivation for a long term vision

Business Model Description: *if any and might be partially filled*	
Who? *Who are the customers and users…?*	**What?** *What is the value proposal for customers…?*
How? *What is the value chain…?*	**How much?** *Revenue characterization…*

Comment: Before, do you have already done some investigation for this proposition?
(Demonstrator; time; resource; patent …)

ST Confidential

life.augmented

Innovation Appreciation Summary Section

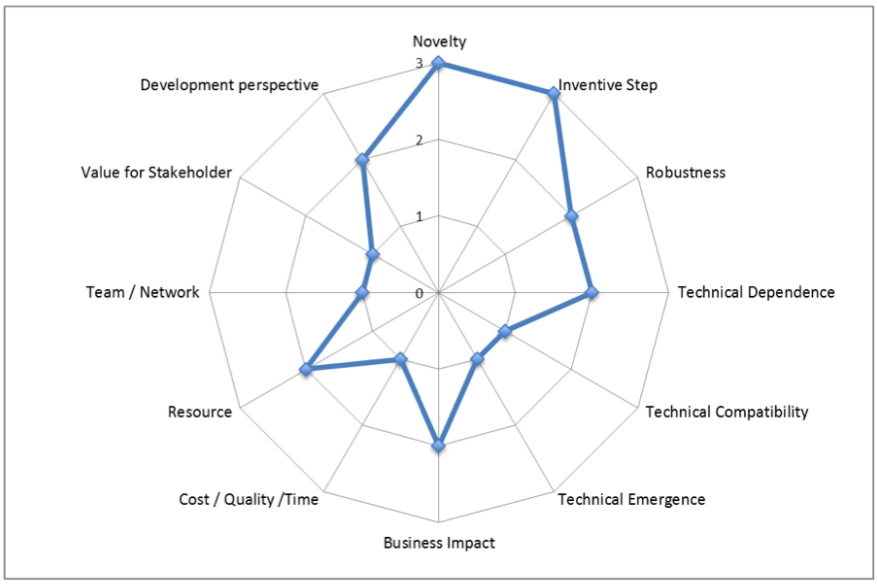
(see below end of document the definition of all items)

Innovation Exploration Evaluation Summary Please fill here the evaluation done next pages			
Idea/Abstraction Evaluation		**Socio-economic Evaluation**	
Novelty		**Business Impact**	
Inventive step		**Cost/Scope/Time**	
Robustness		**Resource**	
Technical Concretization Evaluation		**Ecosystem Evaluation**	
Technical dependence		**Team/Network**	
Technical compatibility		**Value for Stakeholders**	
Technical emergence		**Development perspective**	

Visual Graphic Evaluation

Please copy/paste the graphic from the Control_Panel_Innovation.xls file

Example :



ST Confidential

life.augmented

Innovation Appreciations

Idea / Abstraction

Novelty	Choose an item.
A concept is new if it engages new concept or new expertise	
N/A	*0*
The concept does not involve any change in the expertise	*1*
The concept involves a slight change in the expertise	2
The concept involves the development of a radically New expertise	3
Comments:	

Inventive Step	Choose an item.
It is not obvious to a person skilled in the art	
N/A	*0*
Obvious evolution of concepts and expertise	*1*
Non-obvious evolution of concepts and expertise	*2*
Disruptive evolution of concepts and expertise	*3*
Comments:	

Robustness	Choose an item.
Links between concepts, expertise, company business model and intellectual property	
N/A	*0*
No patentable & no relation with company business model	*1*
Hardly patentable & low relation with company business model	*2*
Easily patentable & high compatibility with company business model	*3*
Comments:	

ST Confidential

life.augmented

Socio-Economic aspect

Business Impact	Choose an item.
Links between concepts, expertise and market	
N/A	*0*
Serviceable dedicated Market	*1*
Serviceable generic Market	2
Creation of a new Market	3
Comments:	

Cost / Scope / Time[1]	Choose an item.
Qualitative and quantitative evaluation	
Unknown today	*0*
Uncertain evaluation	*1*
Preliminary evaluation	*2*
Consolidated evaluation	*3*
Comments: *cf annex for definition*	

Resource[1] **for demonstrator/ proof of concept**	Choose an item.
Qualitative and quantitative needs like men/month, material, silicon, software …	
Unknown today	*0*
Uncertain evaluation	*1*
Preliminary evaluation	*2*
Consolidated evaluation	*3*
Comments: *cf annex for definition*	

[1] Please refer to the Annex part for more details

ST Confidential

life.augmented

Ecosystem

Team / Network	Choose an item.
Team: Members of the Disruptive Innovation Exploration	
Network: Description of the stakeholders	
N/A	*0*
Same Organization	*1*
Different Organizations	2
Internal & External (firms, labs, etc.) Organizations	3
Comments: *give details on the ideal team*	

Value for Stakeholder	Choose an item.
Capacity to add value for stakeholders	
N/A	*0*
The purpose of the exploration has only value for the team	*1*
The purpose of the exploration has value for some stakeholder	*2*
The purpose of the exploration has value for all stakeholder	*3*
Comments:	

Development perspective[2]	Choose an item.
Do you know where your solution will be capitalized and exploited (TR&D, BU, Spin off…)?	
N/A	*0*
Unknown	*1*
Uncertain	*2*
Know	*3*
Comments: *cf annex for definition*	

[2] Please refer to the Annex part for more details

ST Confidential

life.augmented

Technical Concretization

Technical dependence[3]	Choose an item.
Capacity to impact local and cross perimeter: expertise, practices, competences …	
N/A	*0*
Low capacity to impact/influence	*1*
Medium capacity to impact/influence	2
High capacity to impact/influence	3
Comments: cf. annex for more information	

Technical compatibility	Choose an item.
Compatibility with existing local and cross expertise …	
N/A	*0*
Low compatibility with other expertise	*1*
Medium compatibility with other expertise	*2*
High compatibility with other expertise	*3*
Comments:	

Technical emergence	Choose an item.
Capacity to generate emerging application(s)	
N/A	*0*
Little applications already known	*1*
Application already known and new applications	*2*
Generating emerging or radically new applications	*3*
Comments:	

[3] Please refer to the Annex part for more details

ST Confidential

life.augmented

Annex / Glossary

BU: Business Unit

Cost: Cost evaluation to develop the proof of concept

Development perspective: How to transform idea into new concepts and expertise useful for the organization (intern/extern, TR&D, collaborative research, BU, New BU, Spin Off, licenses, etc.)

Scope: Requirements specified to achieve the end result.

Resource: service or other asset used to design and produce proof of concepts and expertise (men/month, materials, staff, software, silicon, technology, knowledge, etc.)

Technical dependence: What are the consequences of my innovation for other expertise and technical domain? For example, am I able to assess the implications of a new transistor architecture (ex: FDSOI) for circuit designers, manufacturing process, etc.?

Time Evaluation: Time evaluation to develop the proof of concept

Remark:

Green Ecological Aspect: *Might it be described as a green invention (materials, consumption…), does it help in the ecological aspect…?*

ST Confidential

ANNEXE 8 – ANALYSE STATISTIQUE DE LA DYNAMIQUE DES EXPERTISES CHEZ STMICROELECTRONICS

1. RAPPELS

Variance : il s'agit d'une mesure de la dispersion des valeurs autour de la valeur moyenne[167].

$$S^2 = \sum_{1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Ecart Type : il s'agit aussi d'une mesure de la dispersion des valeurs autour de la valeur moyenne.

$$S = \sqrt{\sum_{1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Coefficient de variation : écart type relatif, est une mesure de dispersion relative.

$$cv = \frac{S}{\bar{x}}$$

2. MODELE DE LA DYNAMIQUE DES EXPERTISES SELON L'HYPOTHESE D'UNE DYNAMIQUE D'EVOLUTION STABLE ET LENTE

	Nombre de thèses				
	Expertise 1	Expertise 2	Expertise 3	Expertise 4	Expertise 5
2004	3	3	4	4	2
2005	2	3	2	3	4
2006	4	4	2	4	3
2007	2	3	3	4	3
2008	3	2	3	4	3
2009	4	4	3	3	3
2010	5	4	3	4	3
2011	3	3	4	4	5
2012	3	3	2	4	3
2013	4	2	3	3	4
2014	3	2	4	2	3
2015	3	3	3	2	4
Total	39	36	36	41	40

[167] Hatchuel, A. & Tonneau, D. Modèles et décisions statistiques. Polycopié de cours. Mines ParisTech.

	Expertise 1	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	3		-0,25	0,06		
2005	2		-1,25	1,56		
2006	4		0,75	0,56		
2007	2		-1,25	1,56		
2008	3		-0,25	0,06		
2009	4		0,75	0,56		
2010	5		1,75	3,06		
2011	3		-0,25	0,06		
2012	3		-0,25	0,06		
2013	4		0,75	0,56		
2014	3		-0,25	0,06		
2015	3		-0,25	0,06		
	39	3,25		8,25	0,69	0,83

	Expertise 2	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	3		0,00	0,00		
2005	3		0,00	0,00		
2006	4		1,00	1,00		
2007	3		0,00	0,00		
2008	2		-1,00	1,00		
2009	4		1,00	1,00		
2010	4		1,00	1,00		
2011	3		0,00	0,00		
2012	3		0,00	0,00		
2013	2		-1,00	1,00		
2014	2		-1,00	1,00		
2015	3		0,00	0,00		
	36	3,00		6,00	0,50	0,71

	Expertise 3	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	4		1,00	1,00		
2005	2		-1,00	1,00		
2006	2		-1,00	1,00		
2007	3		0,00	0,00		
2008	3		0,00	0,00		
2009	3		0,00	0,00		
2010	3		0,00	0,00		
2011	4		1,00	1,00		
2012	2		-1,00	1,00		
2013	3		0,00	0,00		
2014	4		1,00	1,00		
2015	3		0,00	0,00		

	36	3,00		6,00	0,50	0,71

	Expertise 4	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	4		0,58	0,34		
2005	3		-0,42	0,17		
2006	4		0,58	0,34		
2007	4		0,58	0,34		
2008	4		0,58	0,34		
2009	3		-0,42	0,17		
2010	4		0,58	0,34		
2011	4		0,58	0,34		
2012	4		0,58	0,34		
2013	3		-0,42	0,17		
2014	2		-1,42	2,01		
2015	2		-1,42	2,01		
	41	3,42		6,92	0,58	0,76

	Expertise 5	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	2		-1,33	1,78		
2005	4		0,67	0,44		
2006	3		-0,33	0,11		
2007	3		-0,33	0,11		
2008	3		-0,33	0,11		
2009	3		-0,33	0,11		
2010	3		-0,33	0,11		
2011	5		1,67	2,78		
2012	3		-0,33	0,11		
2013	4		0,67	0,44		
2014	3		-0,33	0,11		
2015	4		0,67	0,44		
	40	3,33		6,67	0,56	0,75

3. MODELE DE LA DYNAMIQUE DES EXPERTISES CHEZ STMICROELECTRONICS

	CMOS	Energy Harvesting	FDSOI	III-V	Silicon Photonics	Bipolar	BiCMOS
2004	3	0	0	0	0	1	0
2005	2	0	0	0	0	1	2
2006	4	0	1	0	0	3	0
2007	11	0	0	0	0	1	0
2008	6	0	0	0	0	1	0

2009	9	0	0	0	0	2	0
2010	6	2	3	1	1	2	0
2011	12	3	6	1	2	2	2
2012	6	3	12	2	3	1	2
2013	5	2	6	3	4	0	3
2014	9	2	5	1	3	0	1
2015	4	0	7	1	5	0	2
Total	77	12	40	9	18	14	12

	CMOS	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	3		-3,42	11,67		
2005	2		-4,42	19,51		
2006	4		-2,42	5,84		
2007	11		4,58	21,01		
2008	6		-0,42	0,17		
2009	9		2,58	6,67		
2010	6		-0,42	0,17		
2011	12		5,58	31,17		
2012	6		-0,42	0,17		
2013	5		-1,42	2,01		
2014	9		2,58	6,67		
2015	4		-2,42	5,84		
	77	6,42		110,92	9,24	3,04

	Energy Harvesting	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	0		-1,00	1,00		
2005	0		-1,00	1,00		
2006	0		-1,00	1,00		
2007	0		-1,00	1,00		
2008	0		-1,00	1,00		
2009	0		-1,00	1,00		
2010	2		1,00	1,00		
2011	3		2,00	4,00		
2012	3		2,00	4,00		
2013	2		1,00	1,00		
2014	2		1,00	1,00		
2015	0		-1,00	1,00		
	12	1,00		18,00	1,50	1,22

	FDSOI	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	0		-3,33	11,11		
2005	0		-3,33	11,11		

2006	1		-2,33	5,44		
2007	0		-3,33	11,11		
2008	0		-3,33	11,11		
2009	0		-3,33	11,11		
2010	3		-0,33	0,11		
2011	6		2,67	7,11		
2012	12		8,67	75,11		
2013	6		2,67	7,11		
2014	5		1,67	2,78		
2015	7		3,67	13,44		
	40	3,33		166,67	13,89	3,73

	III-V	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	0		-0,75	0,56		
2005	0		-0,75	0,56		
2006	0		-0,75	0,56		
2007	0		-0,75	0,56		
2008	0		-0,75	0,56		
2009	0		-0,75	0,56		
2010	1		0,25	0,06		
2011	1		0,25	0,06		
2012	2		1,25	1,56		
2013	3		2,25	5,06		
2014	1		0,25	0,06		
2015	1		0,25	0,06		
	9	0,75		10,25	0,85	0,92

	Silicon Photonics	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	0		-1,50	2,25		
2005	0		-1,50	2,25		
2006	0		-1,50	2,25		
2007	0		-1,50	2,25		
2008	0		-1,50	2,25		
2009	0		-1,50	2,25		
2010	1		-0,50	0,25		
2011	2		0,50	0,25		
2012	3		1,50	2,25		
2013	4		2,50	6,25		
2014	3		1,50	2,25		
2015	5		3,50	12,25		
	18	1,50		37,00	3,08	1,76

	Bipolar	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type

2004	1		-0,17	0,03		
2005	1		-0,17	0,03		
2006	3		1,83	3,36		
2007	1		-0,17	0,03		
2008	1		-0,17	0,03		
2009	2		0,83	0,69		
2010	2		0,83	0,69		
2011	2		0,83	0,69		
2012	1		-0,17	0,03		
2013	0		-1,17	1,36		
2014	0		-1,17	1,36		
2015	0		-1,17	1,36		
	14	1,17		9,67	0,81	0,90

	BiCMOS	Moyenne	x-moyenne	(x-moyenne)2	Variance	Ecart type
2004	0		-1,00	1,00		
2005	2		1,00	1,00		
2006	0		-1,00	1,00		
2007	0		-1,00	1,00		
2008	0		-1,00	1,00		
2009	0		-1,00	1,00		
2010	0		-1,00	1,00		
2011	2		1,00	1,00		
2012	2		1,00	1,00		
2013	3		2,00	4,00		
2014	1		0,00	0,00		
2015	2		1,00	1,00		
	12	1,00		14,00	1,17	1,08

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Relation entre les concepts de compétences et d'expertise 29
Figure 2 : Typologie d'innovation de Henderson & Clark (1990) 33
Figure 3 : Typologie d'innovation de Hall & Andriani (2003) 34
Figure 4 : Croissance du chiffre d'affaires en fonction du ratio d'investissement en R&D (Jaruzelski, Dehoff & Bordia, 2005) 36
Figure 5 : Modèle linéaire de l'innovation (d'après Kline & Rosenberg, 1986) 37
Figure 6 : Modélisation de la théorie C-K 46
Figure 7 : Les quatre opérateurs de la théorie C-K 46
Figure 8 : Diagramme C-K & son code couleur (Agogué et al., 2013). 47
Figure 9: Modélisation de la conception réglée & de la conception innovante (Le Masson & Weil, 2010b) 48
Figure 10 : Performance des différents régimes de conception réglée (Le Masson et al., 2014) 52
Figure 11: Les trois dimensions d'un régime d'émergence d'expertise 55
Figure 12 : Typologie des groupes internes d'une organisation (Sardas et al., 2004) 65
Figure 13 : Exemple de dynamique globale du métier interne dans l'ingénierie automobile (Sardas & Dalmasso, 2006) 66
Figure 14 : Modèle de la double échelle (Cabanes et al., 2016) 68
Figure 15 : Approche trilogique de la gouvernance de l'expertise 77
Figure 16: Schéma conceptuel de la structure de l'expertise dans une entreprise industrielle 81
Figure 17 : Le laboratoire de Liebig à Giessen en 1831 84
Figure 18 : Modèle séquentiel de la gestion de projet et ingénierie concourante 93
Figure 19 : Structure matricielle métiers/projets 94
Figure 20 : Représentation de l'itinéraire de recherche selon le processus abduction / déduction / induction 120
Figure 21 : Schéma général du parcours de recherche 120
Figure 22 : Classement des entreprises leaders de l'industrie des semi-conducteurs selon leurs chiffres d'affaires et leurs investissements en R&D (2012-2015) 125
Figure 23 : Puces électroniques 126
Figure 24 : Evolution du marché des semi-conducteurs (1976-2015) 127
Figure 25: Marché mondial des semi-conducteurs selon le secteur industriel 127
Figure 26 : Ubiquité de la microélectronique 128
Figure 27 : loi de Moore et nombre de transistors par circuit intégré (Malier, 2010) 129
Figure 28 : Evolution des coûts d'équipements de photolithographie en fonction des nœuds technologiques 131
Figure 29 : Trois voies de recherche dans le secteur de la microélectronique 132
Figure 30 : Processus de développement et de fabrication des circuits intégrés 134
Figure 31 : Différentes étapes de fabrication des produits semi-conducteurs 134
Figure 32 : Processus de fabrication des circuits électroniques 135
Figure 33 : Modèle conceptuel des moyens de production des semi-conducteurs (Bassetto, 2005) 136
Figure 34 : Applications & familles de produits de STMicroelectronics 137
Figure 35 : Principaux site de ST en France 138
Figure 36 : Organisation de STMicroelectronics 139
Figure 37 : Coopérations avec la recherche publique 140
Figure 38: Les différents niveaux de la filière technique 147
Figure 39 : Technical Staff Website 151
Figure 40: Benchmark des dispositifs de management des experts (Le Boulaire, 2014) 153
Figure 41: Profils des experts ayant répondus au questionnaire 154
Figure 42: Reconnaissance, orientation professionnelle et satisfaction des experts 155
Figure 43: Filière technique & relation entre niveau d'expertise et expérience professionnelle 156
Figure 44: Experts & domaines d'expertise 156
Figure 45: Collaboration entre experts 157
Figure 46: Cartographie des expertises et des experts 158
Figure 47: Cartographie des domaines d'expertise et des experts associés 159
Figure 48: Relations entre domaines d'expertise et experts 160
Figure 49: Principales relations entre domaines d'expertise et experts 161
Figure 50: Les différentes communautés du réseau experts/domaines expertises 161
Figure 51: Relations d'interdépendance entre domaines d'expertise 162
Figure 52: interdépendance & création de nouvelles expertises 163
Figure 53: Caractéristiques de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 164
Figure 54: Dynamique des expertises selon l'hypothèse d'une dynamique d'évolution stable et lente 165
Figure 55: Dynamique des expertises en fonction des sujets de thèse chez STMicroelectronics 166
Figure 56: Dynamique d'évolution des expertises chez STMicroelectronics 167
Figure 57: Statut d'expert & relations avec les managers 168
Figure 58: Influence & rôles des experts 169
Figure 59: Distinction entre innovation incrémentale & innovation de rupture 172
Figure 60: Relations avec les institutions de recherche 174
Figure 61 : Représentation graphique d'une thèse et des domaines d'expertise 180

Figure 62 : Les différentes opérations utilisées dans les simulations 180
Figure 63 : Représentation graphique du modèle 1 181
Figure 64 : Simulation d'un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 183
Figure 65 : Représentation graphique du modèle 2 184
Figure 66 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 185
Figure 67 : Représentation graphique du modèle 3 186
Figure 68 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé l'absorptivité des champs d'expertise 187
Figure 69: Représentation graphique du modèle 123 188
Figure 70: Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise isostructurel (combinaison des modèles 1, 2 & 3) 188
Figure 71 : Représentation graphique du modèle 4 189
Figure 72 : Simulation d'un modèle d'émergence d'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise 190
Figure 73 : Structure des expertises chez STMicroelectronics en 2015 191
Figure 74 : Analyse empirique de l'émergence d'expertise chez STMicroelectronics 192
Figure 75 : Caractéristiques des graphes des différents modèles 193
Figure 76 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 123 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2004-2008) 194
Figure 77 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 123 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2010-2014) 195
Figure 78 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 4 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2004-2008) 196
Figure 79 : Comparaison des représentations graphiques du modèle 4 & de l'analyse empirique chez STMicroelectronics (2010-2014) 197
Figure 80 : Modèle de liaisons en chaine de Kline & Rosenberg (1986) 207
Figure 81 : Création d'un nouveau *« building blocks »* 208
Figure 82 : Création de nouvelles combinaisons 208
Figure 83 : Création de nouvelles relations en conservant les combinaisons et les *« building blocks »* existants 208
Figure 84 : Représentation graphique d'un graphe et d'un matroïde 212
Figure 85 : Exemple de graphe 213
Figure 86 : Interprétation des éléments du matroïde dans un graphe (Albar, 2010) 213
Figure 87 : Matroïdes et leurs rangs r(M) 214
Figure 88 : Différentes opérations sur un matroïde (Oxley, 2006) 214
Figure 89 : Evolution du rang et de la structure d'un matroïde en fonction des opérations d'extension et de co-extension 215
Figure 90 : Schéma conceptuel de la structure de l'expertise dans une entreprise industrielle 215
Figure 91 : Structure d'expertise, dynamique par extension & générativité 216
Figure 92 : Structure d'expertise, dynamique par co-extension & générativité 217
Figure 93 : Modèles d'émergence de l'expertise selon la dynamique des structures d'expertise 218
Figure 94 : Extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 218
Figure 95 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 219
Figure 96 : Co-extension des structures des champs d'expertise et extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 219
Figure 97 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 220
Figure 98 : Extension des structures des champs d'expertise et co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 220
Figure 99 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise 221
Figure 100 : Co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 221
Figure 101 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des champs d'expertise 222
Figure 102 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur la combinabilité des champs d'expertise 224
Figure 103 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur l'absorptivité des champs d'expertise 225
Figure 104 : Dynamique de l'émergence de l'expertise dans un régime basé sur la co-extension des champs d'expertise 227
Figure 105 : Transformation & réorganisation des structures d'expertise 229
Figure 106: Vue en 3D d'un transistor MOS (Huguenin, 2006) 233
Figure 107 : Transistor planaire 2D (FDSOI) & transistor 3D (FinFET) 235
Figure 108 : Différents concepts d'architecture de transistors 235
Figure 109 : Relations entre l'expertise FDSOI & les autres domaines d'expertise de l'organisation 236
Figure 110 : Illustration du raisonnement de conception des architectures de transistor en utilisant le formalisme CK (1) 237
Figure 111 : Illustration du raisonnement de conception des architectures de transistor en utilisant le formalisme CK (2) 238
Figure 112: Raisonnement de conception de nouvelles structures d'expertise d'architectures de transistor chez Intel & STMicroelectronics (1) 239
Figure 113: Emergence de l'expertise FinFET 239
Figure 114: Emergence de l'expertise FDSOI-UTBB 240

Figure 115: Raisonnement de conception de nouvelles structures d'expertise d'architectures de transistor chez Intel & STMicroelectronics (2) ... 241
Figure 116 : Evolution du débit des systèmes de télécommunication en fonction du temps ... 243
Figure 117 : Types d'interconnexions en fonction de la longueur du lien et de la bande passante nécessaire (Dupont, 2011) ... 244
Figure 118 : Roadmap des interconnexions optiques (source : IEEE spectrum) ... 245
Figure 119 : Concepts projecteurs de la stratégie d'exploration pour l'émergence de la proto-expertise *photonique sur silicium* ... 247
Figure 120 : Relations entre l'expertise *photonique sur silicium* & les autres domaines d'expertise de l'organisation ... 248
Figure 121 : Dynamique des expertises (documentation interne, STMicroelectronics) ... 282
Figure 122: Rôles & missions des experts (documentation interne, STMicroelectronics) ... 283
Figure 123: Communauté d'experts et société d'experts (documentation interne, STMicroelectronics) ... 286
Figure 124: Gouvernance du *Technical Staff College* (Documentation interne, STMicroelectronics) ... 288
Figure 125: Processus de l'*Office Disruptive Innovation Exploration* (documentation interne, STMicroelectronics ... 292
Figure 126: Critère « nouveauté » ... 292
Figure 127: Critère « impact économique » ... 293
Figure 128: Critères « Equipe/réseau » et « valeur pour les parties prenantes » ... 293
Figure 129: Critères « Dépendance technologique » et « compatibilité technologique » ... 294
Figure 130: Diagramme en radar de l'évaluation du potentiel d'innovation d'un projet de création d'expertise nouvelle ... 294
Figure 131: Première partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics) ... 296
Figure 132: Deuxième partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics) ... 297
Figure 133: Troisième partie de la charte des experts (documentation interne, STMicroelectronics) ... 297
Figure 134: Procédure pour la création d'un FMEA ... 303
Figure 135: Tableau FMEA ... 304
Figure 136: Trois catégories de FMEA ... 304
Figure 137 : Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (1) ... 305
Figure 138: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (2) ... 306
Figure 139: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (3) ... 307
Figure 140: Modélisation C-K d'un processus de conception d'un FMEA (4) ... 308
Figure 141 : Exemple d'une partie de FMEA chez STMicroelectronics ... 308
Figure 142: Les applications de l'Internet des objets (source : Libelim) ... 309
Figure 143: Schéma conceptuel de l'invention *Fourmi* ... 311
Figure 144: Schéma conceptuel de l'invention *Popcorn* ... 312
Figure 145: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (1) . 312
Figure 146: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (2) . 313
Figure 147: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (3) . 314
Figure 148: Modélisation C-K d'un processus d'exploration pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise (4) . 314
Figure 149: Relations entre l'expertise energy harvesting & les autres domaines d'expertise de l'organisation ... 315
Figure 150 : Ressources, capacités, savoir et compétences (Tarondeau, 2002) ... 337
Figure 151: Le schéma classique de GEPC (Gilbert, 2012) ... 341
Figure 152 : Modèle de la création de connaissance de Nonaka et Takeuchi (1995) ... 344
Figure 153: Dispositional attribution of "The expert" (Mieg, 2001) ... 361
Figure 154: Modèle conceptuel d'un amplificateur de puissance ... 365
Figure 155: Illustration de l'effet Edison ... 365
Figure 156: Modèle conceptuel de la charge d'espace dans un tube électronique (sans tension positive sur l'anode) . 366
Figure 157 : Modèle conceptuel de la charge d'espace dans un tube électronique (avec tension positive sur l'anode) 366
Figure 158: schéma illustrant une diode et triode ... 368
Figure 159: L'Audion de Lee De Forest, 1906. ... 368
Figure 160: atome de silicium et atome de germanium ... 369
Figure 161: Représentation d'association d'atomes de silicium ... 370
Figure 162: Apparition d'un trou et d'un électron lors d'une rupture de liaison covalente ... 370
Figure 163: Silicium dopé au phosphore ... 371
Figure 164: Silicium dopé au bore ... 372
Figure 165: Représentation d'une jonction PN ... 374
Figure 166: Modèle conceptuel du transistor à pointe ... 376
Figure 167: Premier transistor et son brevet en 1947 ... 376
Figure 168: Jonction PN ... 377
Figure 169: Phase1, collage des deux substrats ... 377
Figure 170: Phase 2, formation de la zone de déplétion ... 377
Figure 171: Phase 3, champ électrique de la ZCE ... 378
Figure 172: Modèle conceptuel d'une polarisation directe ... 378
Figure 173 : Modèle conceptuel d'une polarisation inverse ... 379
Figure 174: Modèle conceptuel d'un transistor bipolaire NPN ... 379
Figure 175: Etat bloqué – transistor bipolaire NPN ... 380
Figure 176: Etat passant - transistor bipolaire NPN ... 380
Figure 177: Principe physique du transistor NPN ... 381
Figure 178: Transistor à effet de champ à jonction ... 382
Figure 179: Schéma de principe et vue microscopique d'un transistor MOSFET ... 382

Figure 180: Création d'un canal de conduction dans un transistor MOS 383
Figure 181: Caractéristique d'un transistor MOSFET à canal N 383
Figure 182: Fonction inverseur, un transistor N et un transistor P 384
Figure 183: Transistor NMOS et PMOS dans une technologie CMOS 384
Figure 184: Vue en 3D d'un transistor MOS (Huguenin, 2006) 385
Figure 185: Graphe Ion/Ioff pour des NMOS, obtenu avec le logiciel de modélisation MASTAR (Skotnicki et al., 1988; 2003) 387
Figure 186: Illustration de l'effet de la réduction de la longueur de grille sur les zones de charge d'espace (Chanemougame, 2005) 387
Figure 187: Schéma électrique d'un transistor réel (a) et schéma de décomposition de la résistance R_S (b) (Chanemougame, 2005) 388

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Cahier des charges pour la gestion des capacités d'innovation (Le Masson et al., 2006) 44
Tableau 2 : Organisation d'un diagramme C-K (Agogué et al., 2013) 47
Tableau 3 : Code couleur du diagramme C-K (Agogué et al., 2013) 48
Tableau 4 : Comparaison des régimes de conception réglée (Le Masson et al., 2014) 51
Tableau 5 : Différences entre l'objet en tant que produit et l'objet en tant qu'expertise 53
Tableau 6: Deux archétypes de régimes d'émergence d'expertise 55
Tableau 7 : Synthèse des définitions du concept de métier (d'après Hulin (2010)) 64
Tableau 8 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 90
Tableau 9 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 97
Tableau 10 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise 103
Tableau 11: Caractéristiques générales d'un régime d'émergence d'expertise isostructurel et de son modèle de gouvernance associé 105
Tableau 12 : Listes des présentations des travaux de recherche 113
Tableau 13 : Listes des publications scientifiques 113
Tableau 14 : Différentes démarches de recherche (David, 2000) 114
Tableau 15 : Exemple de la *Technical Ladder Matrix* de ST (deux critères sur treize) 147
Tableau 16 : Liste non exhaustive des métiers techniques chez STMicroelectronics 150
Tableau 17: Experts & domaines d'expertise sur le site industriel de Crolles 158
Tableau 18: Exemple du codage de sujets de thèses 165
Tableau 19 : Analyse de la dispersion de thèses selon l'hypothèse d'une dynamique d'évolution stable et lente 166
Tableau 20 : Analyse de la dispersion des thèses chez STMicroelectronics 167
Tableau 21 : Principales activités des experts selon les managers & les experts 169
Tableau 22 : *Expert ressource* & *expert stratège* 170
Tableau 23 : Rôles de *l'expert ressources* & rôles de *l'expert stratège* 171
Tableau 24 : Rôles des experts en fonction du type d'innovation 173
Tableau 25: Analyse du régime d'émergence d'expertise chez STMicroelectronics 175
Tableau 26 : Répartition du nombre de nouvelles thèses par année 178
Tableau 27 : Paramètres d'évaluation de graphes 180
Tableau 28 : Analyse du régime d'émergence d'expertise chez STMicroelectronics 198
Tableau 29 : Structures d'expertises et représentation matroïdale 216
Tableau 30 : Relations entre la dynamique des expertises et la théorie des matroïdes 217
Tableau 31 : Régimes d'émergence d'expertise et potentiel d'innovation 223
Tableau 32 : Régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise & enjeux managériaux 226
Tableau 33 : Régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise & enjeux managériaux 229
Tableau 34 : Sujets de thèse en fonction & concepts projecteurs de la stratégie d'exploration 247
Tableau 35 : Distinctions entre les concepts de communauté et société 261
Tableau 36 : Distinctions entre le concept de communauté épistémique d'experts et le concept de société proto-épistémique d'experts 264
Tableau 37 : Régimes d'émergence d'expertise & gouvernance de l'émergence de l'expertise 267
Tableau 38 : Relation entre les concepts d'extension des imaginables et de régime d'émergence d'expertise 273
Tableau 39 : Missions & objectifs des *Technical Staff Offices* (Documentation interne, STMicroelectronics) 289
Tableau 40 : Nouveaux critères de la *Technical Ladder Matrix* de ST (Documentation interne, STMicroelectronics) 298
Tableau 41 : Trois régimes d'émergence d'expertise isostructurels 319
Tableau 42 : Relations entre les concepts de ressources, de compétences et de capacité stratégique (Johnson et al., 2014) 336
Tableau 43 : Compétences & savoirs (Pelletier, 1996) 337
Tableau 44: Définitions des principaux concepts de compétence et de capacité utilisées dans la littérature en stratégie 339
Tableau 45 : Typologies de connaissance selon Cohendet & Llerena (1999) 345
Tableau 46 : Différentes approches de la « *performances individuelle exceptionnelle* » (Ericsson & Smith, 1991) 356
Tableau 47 : Echelle de compétences de l'expertise (Hoffman, 1996) 357

RÉFÉRENCES

Abbott, A. (2014). *The system of professions : An essay on the division of expert labor*. University of Chicago Press.

Abernathy, W. J., & Utterback, J. M. (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology review, 64*(7), 254-228.

Abetti, P. A. (1989). Technology : a key strategic resource. *Management Review, 78, 2, 37-41.*

Acquier, A. & Eyherabide, M. (2005). Le métier de concepteur peut-il se gérer ? Deux expériences menées dans le secteur de l'automobile. In Boyer, L. & Scouarnec, A. (Eds.). *L'observatoire des métiers : Concepts et pratiques*. Editions EMS. pp. 189-208.

Adler, P. S. (2001). Market, Hierarchy, and Trust: The Knowledge Economy and the Future of Capitalism. *Organization Science, 12*(2), 215-234.

Adler, P. S. (2015). Community and innovation : from Tönnies to Marx. *Organization Studies, 36*(4), 445-471.

Adler, P. S., Kwon, S. W., & Heckscher, C. (2008). Perspective-Professional work : the emergence of collaborative community. *Organization Science, 19*(2), 359-376.

Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems : How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic management journal, 31*(3), 306-333.

Aggeri, F. (2000). *L'organisation et les outils de gestion des ressources technologiques*. Rapport pour l'ANRT.

Agogué, M. (2012). L'émergence des collectifs de conception inter-industries : le cas de la Lunar Society dans l'Angleterre du XVIIIème. *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, Vol. 109, pp. 55-65.

Agogué, M., Arnoux, F., Brown, I., & Hooge, S. (2013). *Introduction à la Conception Innovante : éléments théoriques et pratiques de la théorie CK*. Presses des MINES.

Aït-El-Hadj, S. & Boly, V. (2009). *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception*. Paris, Lavoisier.

Albar, B. (2010). *Sur quelques applications du Polynôme de Tutte*. Mémoire de M1 Mathématiques. Université Montpellier 2.

Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form* (Vol. 5). Harvard University Press.

Allen, T. J. (1977). *Managing the flow of technology : technology transfer and the dissemination of technological information within the R and D organization*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge.

Allen, T. J., & Cohen, S. I. (1969). Information flow in research and development laboratories. *Administrative Science Quarterly*, 12-19.

Allen, T. J., & Katz, R. (1986). The dual ladder : motivational solution or managerial delusion ?. *R&D Management, 16*(2), 185-197.

Alter, N. (2000). *L'innovation ordinaire*. Presses Universitaires de France.

Amin, A., & Roberts, J. (2008). *Community, economic creativity, and organization*. Oxford University Press.

Amit, R., & Schoemaker, P. J. (1993). Strategic assets and organizational rent. *Strategic management journal*, *14*(1), 33-46.

Andriessen, J. E. (2006). *Knowledge Communities in fives*. Delft Innovation System Papers.

Andriessen, J. E., Huis, E. M., & Soekijad, M. (2004). Communities of practice for knowledge sharing. In Andriessen, J. E., & Fahlbruch, B. (Eds.). *How to manage experience sharing: From organizational surprises to organizational knowledge*. Oxford: Elsevier.

Andrieu, F. (2005). *Transistor CMOS décananométriques à canaux contraints sur silicium massif ou sur SOI – Fabrication, caractérisation et étude du transport*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Angel, P. O., & Sanchez, L. S. (2009). R&D managers' adaptation of firms' HRM practices. *R&D Management*, *39*(3), 271-290.

Argyris, C. & Schon, D. (1996). *Organizational learning II : Theory, method and practice*. New York, Wesley Publishing Company.

Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). *Organizational learning : A theory of action perspective*. MA : Addison-Wesley.

Argyris, C., Putnam, R., & Smith, D. M. (1985). *Action science*. Jossey-Bass Inc Pub.

Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology : What it is and how it evolves*. Simon and Schuster.

Aryee, S. (1992). Career orientations, perceptions of rewarded activity, and career strategies among R&D professionals. *Journal of Engineering and Technology Management*, *9*(1), 61-82.

Aujac, H. (1960). La hiérarchie des industries dans un tableau des échanges interindustriels. *Revue économique*, 11 (2), 169-238.

Azoulay, P. (2004). Capturing knowledge within and across firm boundaries : evidence from clinical development. *The American Economic Review*, *94*(5), 1591-1612.

Azoulay, P., & Graff-Zivin, J. (2012). The production of scientific ideas. *NBER Reporter*, *2012*(3), 7.

Azoulay, P., Fons-Rosen, C., & Zivin, J. S. G. (2015). *Does science advance one funeral at a time ?* (No. w21788). National Bureau of Economic Research.

Azoulay, P., Graff Zivin, J. S., & Manso, G. (2011a). Incentives and creativity : evidence from the academic life sciences. *The RAND Journal of Economics*, *42*(3), 527-554.

Azoulay, P., Zivin, J. S. G., & Sampat, B. N. (2011b). *The diffusion of scientific knowledge across time and space : Evidence from professional transitions for the superstars of medicine* (No. w16683). National Bureau of Economic Research.

Azoulay, P., Zivin, J. S. G., & Wang, J. (2010). Superstar extinction. *The Quarterly Journal of Economics*, *125*(2), 549-589.

Bailey, D. E., Leonardi, P. M., & Chong, J. (2010). Minding the gaps : Understanding technology interdependence and coordination in knowledge work. *Organization Science*, *21*(3), 713-730.

Bailyn, L. (1985). Autonomy in the industrial R&D lab. *Human resource management*, *24*(2), 129-146.

Bailyn, L. (1991). The hybrid career : an exploratory study of career routes in R&D. *Journal of Engineering and Technology Management*, *8*(1), 1-14.

Baldwin C., Y., & Clark K., B. (2000). *Design Rules, volume one: the power of Modularity*. MIT Press.

Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (1997). Managing in an age of modularity. *Harvard business review*, *75*(5), 84.

Baldwin, C. Y., & Woodard, C. J. (2009). The Architecture of Platforms : A Unified View. In Gawer, A. (ed.). *Platforms, Markets and Innovation.* Edward Elgar.

Bansemir, B. (2013). *Organizational Innovation Communities.* Springer Science & Business Media, 198 p.

Barley, S. R., & Tolbert, P. S. (1991). Introduction : At the intersection of organizations and occupations. In P. S. Tolbert & S. R. Barley (Eds.). *Research in the sociology of organizations.* Vol. 8 (pp. 1-13). Greenwich, CT : JAI Press, Inc.

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, *17(1)*, 99-120.

Barney, J. B. (1986). Strategic factor markets : Expectations, luck, and business strategy. *Management science*, *32(10)*, 1231-1241.

Bassetto, S. (2005). *Toward a dynamic, operational and" embeded knowledge" manufacturing improvement.* Thèse de Doctorat. Arts et Métiers ParisTech.

Bély, L. (1996). *Dictionnaire de l'Ancien Régime.* Paris, Presses Universitaires de France.

Ben Mahmoud-Jouini, S., & Midler, C. (1999). Compétition par l'innovation et dynamique des systèmes de conception dans les entreprises françaises. Remarques à partir de la confrontation, de trois secteurs. *Entreprises et Histoire*, *23*, pp. 36-62.

Benkler, Y. (2006). *The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom.* Yale University Press.

Benusiglio, D. (1966). L'intégration de la recherche scientifique dans l'entreprise. *Sociologie du travail*, *4*(66), 64-98.

Beugelsdijk, S. (2008). Strategic human resource practices and product innovation. *Organization Studies*, *29*(6), 821-847.

Bigliardi, B., Galati, F., & Petroni, G. (2011). Collaborative modes of R&D : the new challenges for personnel management. *International Journal of Business, Management and Social Sciences*, *2*(3), 66-74.

Blackler, F. (1995). Knowledge, knowledge work and organizations : An overview and interpretation. *Organization studies*, *16*(6), pp. 1021-1046.

Bobadilla, N., & Gilbert, P. (2015). Managing scientific and technical experts in R&D : beyond tensions, conflicting logics and orders of worth. *R&D Management.*

Boldrini, J.P. (2011). *Le rythme implacable de l'innovation est-il gouverné par des lois d'évolution internes aux objets.* XXe Conférence de l'AIMS, Nantes, 7-9 juin.

Booz, J. P. & Schenk, E. (2009). *Comment gérer les experts au sein et en dehors des communautés ?* Paris, Lavoisier.

Boulding, K. E. (1955). Notes on the information concept. *Exploration, Vol. 6*, pp. 103-112.

Boyer, L. (2002). Le devenir des métiers. *Revue française de gestion*, vol. 28, n°140, p. 151-168.

Boyer, L., & Scouarnec, A. (2005). *L'observatoire des métiers : concepts et pratiques.* Editions EMS.

Boyer, L., & Scouarnec, A. (2009). *La prospective des métiers.* Editions EMS.

Bozotti, C. & Bühner, H.-F. (2005). *The European Semiconductor Industry : 2005.* Competitiveness Report EECA - ESIA (European Semiconductor Industry Association). 60 pages.

Braha, D. et Reich, Y. (2003). Topological structures for modelling engineering design processes. *Research in Engineering Design*, vol. 14, n° 4, pp. 185-199.

Brem, A., & Voigt, K. I. (2009). Integration of market pull and technology push in the corporate front end and innovation management—Insights from the German software industry. *Technovation*, *29*(5), pp. 351-367.

Bresnahan, T. (1999). New Modes of Competition and the Future Structure of the Computer Industry. In Eisenach, J. & T. Lenard (eds.). *Competition, Innovation, and the Microsoft Monopoly.* Berlin, Germany : Springer.

Brinkman, W., Haggan, D., Troutman, W. (1997). A History of the Invention of the Transisitor and Where It Will Lead Us. *IEEE Journal of Solid-state Circuit, Vol. 32*, N°12.

Brint, S. (2001). Gemeinschaft revisited : A critique and reconstruction of the community concept. *Sociological theory*, *19*(1), 1-23.

Brown, J. & Duguid, P. (1991). Organizational learning and communities-of-practice : Toward a unified view of working, learning, and innovation. *Organization science, 2(1)*, 40-57.

Brown, S. L., & Eisenhardt, K. M. (1998). *Competing on the edge : Strategy as structured chaos.* Harvard Business Press.

Buderi, R. (2000). *Engines of Tomorrow : how the world's best companies are using their research labs to win the future.* New York: Simon & Schuster.

Cabanes, B., Galy, P., Le Masson, P., & Weil, B. (2016). *Technical staff management for radical innovation in science-based organizations : a new framework based on design theory.* R&D Management Conference, Cambridge, UK.

Cabanes, B., Le Masson, P., Weil, B., Kokshagina, O., & Cogez, P. (2015). *Innovation et compétition entre plateformes technologiques : vers une stratégie basée sur la pervasivité des technologies.* XXIVe Conférence Internationale de Management Stratégique, Paris.

Cabourdin, G., & Viard, G. (1978). *Lexique historique de la France d'Ancien Régime.* A. Colin.

Calafat, G. (2011). Expertise et compétences. *Hypothèses, 14*(1), 95-107.

Callon M. & Rip A. (1992). Humains, non humains : morale d'une coexistence. In Theys, J. & Kalaora, B (dir.). *La Terre outragée. Les experts sont formels.* Editions Autrement.

Callon, M. (1972). Les modes de déterminations de la recherche d'entreprise. Rapport entre science et économie. *Sociologie du travail, 14*(1), 35-70.

Callon, M. (1988). Faut-il croire en la recherche industrielle ?. *Culture technique, (18)*, 202-209.

Caron, F. (2000). Dynamique des systèmes techniques et «capitalisme» : Le cas de l'industrie électrique en France 1880-1939. *Histoire, économie et société*, 387-410.

Carontini, E. (1990). Le rôle de l'abduction dans le processus d'interprétation (Notes à propos de la théorie de l'abduction chez Ch. S. Peirce). In Coutlée, G. & Sfez, L. (Eds.). *Technologies et symboliques de la communication.* Presses Universitaires de Grenoble.

Carr-Saunders, A. M. (1928). *Professions : Their organization and place in society.* Clarendon Press.

Carrincazeaux, C., & Lung, Y. (1998). La proximité dans l'organisation de la conception des produits de l'automobile. In Bellet, M., Kirat, T. & Largeron, C. *Approches multiformes de la proximité, Hermès, Paris*, 241-265.

Castel, R. (1987). *Savoirs d'expertise et production de normes.* Journées annuelles de la Société Française de Sociologie : « Normes sociales et règles juridiques. Sociologie du droit, sociologie et droit », Bordeaux.

Castel, R. (1995). *Les métamorphoses de la question sociale : une chronique du salariat.* Fayard.

Castells, M. (2011). *The rise of the network society: The information age: Economy, society, and culture* (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Catel, F., & Monateri, J. C. (2004). *Modularité : l'émergence de nouvelles compétences organisationnelles dans les industries de biens complexes ?.* Colloque IPI « Information, compétences et connaissances dans les systèmes productifs », Autrans, pp.14.

Cazal, D., & Dietrich, A. (2003). Compétences et savoirs : entre GRH et stratégie ?. *Les cahiers de la recherche, CLAREE, Centre Lillois d'Analyse et de Recherche sur l'Evolution des Entreprises, UPRESA CNRS, 8020.*

Chanal, V. (2000). Communautés de pratique et management par projet. *M@ n@ gement*, *3*(1), 1-30.

Chanal, V., Lesca, H., & Martinet, A. C. (1997). Vers une ingénierie de la recherche en sciences de gestion. *Revue française de gestion*, (116), 41-51.

Chandler Jr, A. D. (1990). *Scale and Scope, The Dynamics of Industrial Capitalism.* Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press.

Chanemougame, D. (2005). *Conception et fabrication de nouvelles architectures CMOS et étude du transport dans les canaux de conduction ultra minces obtenus avec la technologie SON.* Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Charue-Duboc F. & Midler C. (2002). L'activité d'ingénierie et le modèle de projet concourant. *Sociologie du Travail*, vol. 44, p. 401-417

Charue-Duboc, F. (1997). Maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage et direction de projet, pour comprendre l'évolution des projets chez Rhône Poulenc. *Gérer et Comprendre*, No. 49, pp. 54-64.

Charue-Duboc, F. (2007a). Dynamiques des connaissances et dynamiques d'innovation. *Réalités industrielles - Annales des Mines*, pp.32-37.

Charue-Duboc, F. (2007b). *Management stratégique de l'innovation technologique.* Habilitation à diriger des recherches en science des gestion, IAE de Lille.

Charue-Duboc, F., & Midler, C. (2000). Renewing Research Management in Project-Oriented Organizations-the case of a global vaccine firm. In Benghozi, P-J., Charue-Duboc, F. & Mideler, C. (Eds.). *Innovation Based Competition et Design Systems Dynamics : Lessons from French Innovative Firms and Organizational Issues for the Next Decade.* Paris L'Harmattan, pp. 221-238.

Charue-Duboc, F., & Midler, C. (2001). Développer les projets et les compétences - Le défi des hiérarchiques dans les métiers de conception. *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, No. 63, pp. 12-22.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. In *Visual information processing.* New York: Academic Press.

Chesbrough, H. (2003), *Open Innovation : The New Imperative for Creating and Profiting from Technology.* Harvard Business School Publishing.

Chevassu, C., *Transistor bipolaires*, polycopié de cours, 30p.

Chi, M. T. (2006). Two approaches to the study of experts' characteristics. In Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Chidamber, S. R., & Kon, H. B. (1994). A research retrospective of innovation inception and success : the technology–push, demand–pull question. *International Journal of Technology Management, 9*(1), 94-112.

Chovet, A. & Masson, P. (2005). *Physique des semi-conducteurs.* Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, 75p.

Christensen, C. M., Baumann, H., Ruggles, R., & Sadtler, T. M. (2006). Disruptive innovation for social change. *Harvard business review, 84*(12), 94.

Christensen, C., & Raynor, M. (2013). *The innovator's solution : Creating and sustaining successful growth.* Harvard Business Review Press.

Christensen, C.M. (1997). *The Innovator's Dilemma : When New Technologies Cause Great Firms to Fail.* Harvard Business School Press, Boston, MA, 225p.

Clairat, J. (2008). *Comment regarder l'expertise ? Esquisse et limites d'une cartographie des formes de savoir sur l'expertise.* Communication pour le colloque de Rennes : « L'expertise comme objet flou ? ». Rennes.

Clark, K. B., & Fujimoto, T. (1991). *Product development performance : Strategy, organization, and management in the world auto industry.* Harvard Business Press.

Clark, K. B., & Wheelwright, S. C. (1992). *Revolutionizing product development : quantum leaps in speed, efficiency, and quality.* Simon and Schuster.

Clark, K., & Fujimoto, T. (1991). *Product development performance. Strategy, organization and management in the world auto industry.* Harvard Business School Press : Boston, MA.

Clark, K., Chew, B., & Fujimoto, T. (1987). Product development in the world auto industry. *Brookings Papers on Economic Activity* (3), pp. 729-771.

Coase, R. H. (1937). *The nature of the firm.* Economica, 4(16), 386-405.

Cogez, P., Le Masson, P. & Weil, B. (2010). *The management of new common goods for collective growth in ecosystems : roadmapping for disruptive innovation in the semiconductor industry,* Proceedings of the IPDM Conference.

Cohendet, P., & Diani, M. (2003). L'organisation comme une communauté de communautés croyances collectives et culture d'entreprise. *Revue d'économie politique, 113*(5), 697-720.

Cohendet, P., & Llerena, P. (1999). La conception de la firme comme processeur de connaissances. *Revue d'économie industrielle, 88(1)*, 211-235.

Cohendet, P., Créplet, F., & Dupouët, O. (2003). Innovation organisationnelle, communautés de pratique et communautés épistémiques: le cas de Linux. *Revue française de gestion, (5)*, 99-121.

Cohendet, P., Creplet, F., & Dupouët, O. (2006). *La gestion des connaissances : Firmes et commmunautés de savoir.* Economica.

Cohendet, P., Roberts, J., & Simon, L. (2010). Créer, implanter et gérer des communautés de pratique. *Gestion, 35*(4), 31-35.

Collingwood, (2001). *Le Nouveau Léviathan : ou l'homme, la société, la civilisation et la barbarie.* Kimé.

Collins, H., & Evans, R. (2008). *Rethinking expertise.* University of Chicago Press.

Conner, K. R., & Prahalad, C. K. (1996). A resource-based theory of the firm : Knowledge versus opportunism. *Organization science, 7*(5), 477-501.

Coriat, B., & Weinstein, O. (2010). Les théories de la firme entre « contrats » et « compétences ». Une revue critique des développements contemporains. *Revue d'économie industrielle, (129-130)*, 57-86.

Cotgrove, S., & Box, S. (1970). *Science, industry and society.* London : Allen & Unwin.

Cowan, R., David, P. A., & Foray, D. (2000). The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and corporate change, 9*(2), 211-253.

Crowston, C. H. (2005). L'apprentissage hors des corporations. *Annales. Histoire, sciences sociales* (Vol. 60, No. 2, pp. 409-441). Éditions de l'EHESS.

Cusumano, M. A., & Nobeoka, K. (1998). *Thinking beyond lean : how multi-project management is transforming product development at Toyota and other companies.* Simon and Schuster.

Cyert, R. M., & March, J. G. (1963). *A behavioral theory of the firm. Englewood Cliffs.* NJ : Prentice Hall.

D'Aveni, R.A. (1994). *Hypercompetition.* The Free Press.

Dalmasso, C. (2009). *Internationalisation des activités d''ingénierie dans l'industrie automobile : les dynamiques d'acteur et de métier dans le processus d'organisation.* Thèse de Doctorat. MINES ParisTech.

Dalmasso, C., & Sardas, J. C. (2008). *Subjective investment and identity dynamics : the case of R&D activities.* ISPSO, Philadelphia.

Davenport, T. H., & Klahr, P. (1998). Managing customer support knowledge. *California management review, 40*(3), 195-208.

David (2012). Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion : trois hypothèses revisitées. In David, A., Hatchuel, A. & Laufer, R. (dir.). *Les nouvelles fondations des sciences de gestion.* Presse des Mines.

David, A. (2000). *La recherche-intervention, cadre général pour la recherche en management ?* IXème Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier.

David, A. (2012). Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion. In David, A., Hatchuel, A. & Laufer, R. (Eds.). *Les nouvelles fondations des sciences de gestion.* Presses des Mines.

David, A., & Hatchuel, A. (2007). From actionable knowledge to universal theory in management research. In Shani, A. B., Mohrman, S. A., Pasmore, W. A., Stymne, B., & Adler, N. (Eds.). (2007). *Handbook of collaborative management research.* Sage Publications, pp. 33-47.

David, A., Hatchuel, A. & Laufer, R. (dir.) (2012). *Les nouvelles fondations des sciences de gestion.* Presse des Mines.

De Fornel, M. (1990). Qu'est-ce qu'un expert ? Connaissances procédurale et déclarative dans l'interaction médicale. *Réseaux, 8*(43), 59-80.

Debackere, K., Buyens, D., & Vandenbossche, T. (1997). Strategic career development for R&D professionals : lessons from field research. *Technovation, 17*(2), 53-101.

Declerck, G. (2005), *A Look Into the Future of Nanoelectronics.* VLSI Technology Dig.

Defélix, C., Mazzilli, I., & Gosselin, A. (2015). Articuler les politiques de GRH et les stratégies d'innovation : des modèles à l'épreuve des faits. *Revue de gestion des ressources humaines*, (2), 60-72.

Delmas, C. (2004). L'externalisation relative de l'expertise économique en France et l'action publique. In Jacob, S. & Genard, J.-L. (dir.). *Expertise et action publique.* Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles.

Delmas, C. (2011). *Sociologie politique de l'expertise* (p. 26). Paris : La Découverte.

Delorme, F. (2015). *Technologie et régulations dans les organisations : le cas de l'ordre de bourse* dans une *salle de marché.* Thèse de doctorant en science de gestion. Université Pierre Mendès France, Grenoble.

Demsetz, H. (1988). The theory of the firm revisited. *Journal of Law, Economics, & Organization, 4*(1), 141-161.

Dennard, R.H., Gaensslen, F.H., Yu, H-N., Rideout, V.L., Bassous, E., Leblanc, A.R. (1974). Design of Ion-Implanted MOSFET's with very small Physical Dimensions. *IEEE of Solid State Circuits.*

Dérieux, S. (2016). *La transmission de la notion de travail bien fait dans l'entreprise. Une enquête sur le rôle de la mémoire des communautés de travail à ENEDIS (ex-ERDF).* Thèse de doctorant en science de gestion. Université de Lyon, Lyon.

Deschamps, J. P., & Nayak, P. R. (1997). *Les maîtres de l'innovation totale.* Les Éditions d'Organisation.

Devaux, S. & Rachline, M. (2002). *L'univers de la Microélectronique.* Edition Vilo.

Dewar, R. D., & Dutton, J. E. (1986). The adoption of radical and incremental innovations : An empirical analysis. *Management science, 32*(11), 1422-1433.

Dhifallah, S., Chanal, V., & Defélix, C. (2008). Quelle gestion des ressources humaines dans les organisations ambidextres ?. *Revue française de gestion*, (7), 161-175.

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), 1283-1295.

Doel, C. (1999). Towards a supply-chain community? Insights from governance processes in the food industry. *Environment and Planning A, 31(1)*, 69-85.

Dosi, G. & Marengo, L. (1994). Some elements of an evolutionary organizational competencies. In England, R. W. (dir). *Evolutionary concepts in contemporary economics.* University of Michigan Press.

Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., & Soete, L (1988). *Technical change and economic theory.* London : Pinter.

Drucker, P. (1993). *Au-delà du capitalisme, la métamorphose de cette fin de siècle.* Dunod.

Duchamp M. (1999). *Duchamp du signe.* Flamarion.

Duffaut, F. (2016). Pierre Chevenard ou la recherche au cœur de l'entreprise moderne. *Entreprises et histoire*, (2), 64-78.

Dupont, T. (2011). *Réalisation de sources laser III-V sur silicium.* Doctoral dissertation. Ecole Centrale de Lyon.

Dupuis, P., Joindot, M., Gilloire, A. *Comment le transistor a ouvert la voie aux technologies radioélectriques modernes.* Association pour l'Animation Scientifique du Trégor (APAST).

Durand, T. (1997). *Savoir, savoir-faire et savoir être, repenser les compétences de l'entreprise.* Communication à la VIème conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, Montréal, Canada.

Durieux, F. (2001). *Management de l'innovation.* Vuibert, Paris.

Durkheim, E. (1889). Communauté et société selon Tönnies. *Revue Philosophique*, (27), pp. 416–422.

Edgerton, D. E. (1996). *Industrial research and innovation in business.* Edward Elgar Publishing.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review, 14*(4), 532-550.

Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases : Opportunities and challenges. *Academy of management journal, 50*(1), 25-32.

Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). Dynamic capabilities : what are they ?. *Strategic management journal, 21*(10-11), 1105-1121.

El Qaoumi, K. (2016). *L'expansion fonctionnelle, nouvelle mesure de l'innovation. Analyse empirique et modélisation post-lancastérienne de la transformation des biens de consommation.* Thèse de doctorat. MINES ParisTech – PSL Research University.

Ellul, J. (2012). *Le système technicien.* Le Cherche midi.

Ensign, P. C., & Hébert, L. (2009). Competing explanations for knowledge exchange : Technology sharing within the globally dispersed R&D of the multinational enterprise. *The Journal of High Technology Management Research, 20*(1), 75-85.

Ericsson, K. A. (1996). *The road to expert performance : Empirical evidence from the arts and sciences, sports and games.* Mahwah. NJ: Erlbaum.

Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise : Prospects and limits.* Cambridge University Press.

Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). (2006). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Eriksen B., & Mikkelsen, J. (1996). Competitive advantage and the concept of core competence. In Foss, N. & Knudsen, C. (Eds). *Towards a competence theory of the firm.* London, Routledge, p. 54-74.

Evetts, J. (2004). *Organizational or occupational professionalism : Centralized regulation or occupational trust.* In ISA RC52 interim conference, Versailles, France (pp. 22-24).

Evetts, J., Mieg, H. A., & Felt, U. (2006). Professionalization, scientific expertise, and elitism : A sociological perspective. In Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Ewald, F. (1992). L'expertise, une illusion nécessaire. In Theys, J. & Kalaora, B (dir.). *La Terre outragée. Les experts sont formels.* Editions Autrement.

Favro, K. (2009). *L'expertise : enjeux et pratiques.* Tec & Doc.

Fayol, H. (1916). *Administration industrielle et générale.* Paris, Dunod.

Felk, Y. (2011). *Evaluation et pilotage des activités de recherche dans la R&D centrale de STMicroelectronics - Nouveaux principes de management de la recherche industrielle pour l'innovation de rupture.* Thèse de doctorat. MINES ParisTech.

Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). Studies of Expertise from Psychological Perspectives. In Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Fenouillet-Béranger, C. (2013). *Le FDSOI de la physique du dispositif à l'intégration d'une technologie compétitive.* Mémoire HDR. Université de Grenoble.

Ferlie, E., Fitzgerald, L., Wood, M., & Hawkins, C. (2005). The nonspread of innovations : the mediating role of professionals. *Academy of Management Journal, 48*(1), 117–134.

Fichter, K., Beucker, S. (Eds.) (2012). *Innovation Communities: Teamworking of Key Persons - A Success Factor in Radical Innovation.* Springer Science & Business Media, 340p.

Fillol, C. (2004). Apprentissage et systémique. *Revue française de gestion*, (2), pp. 33-49.

Foley, M. & Hart, A. (1992). Expert-novice differences and knowledge elicitation. In R.R. Hoffman (Ed.), *The Psychology of Expertise : Cognitive Research and Empirical AI* (pp. 233-344). New York : Springer Verlag.

Folger, R. & Cropanzano, R. (1998). *Organizational Justice and Human Resource Management.* Thousand Oaks, CA : Sage.

Foss, N. J. (2000). Equilibrium vs. evolution in the resource-based perspective. In Foos, N. J. & Robertson, P. L. *Resources, technology and strategy.* London : Routledge, pp. 11-30.

Freeman, R. E. (2010). *Strategic management: A stakeholder approach.* Cambridge University Press.

Fulbert et al. (2014). La photonique intégrée sur silicium. *Photoniques*, numéro 72, pp. 47-51

Galdin-Retailleau, S., Bournel, A., Dollfus, P. *Electronique Ultime.* Institut d'Electronique Fondamentale. Université Paris Sud.

Gallon, C. (2007). *Architectures avancées de transistors CMOS SOI pour le nœud 32 nm et en deçà : films ultra-fins, contraintes mécaniques, BOX mince et plan de masse.* Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Galvez-Behar, G., Hatchuel, A., Henry, O., O'Connor, E. S., & Segrestin, B. (2016). L'innovation a-t-elle joué un rôle dans la naissance de l'administrative science?. *Entreprises et histoire*, (2), 121-131.

Gand, S., Lelebina, O., Sardas, J.C. (2010). *La gestion des parcours d'experts en entreprise : pourquoi la simple gestion des carriers est insuffisante et comment la completer? Proposition d'un cadre d'analyse.* Actes du 21ème Congrès de l'AGRH, Rennes/Saint-Malo, France.

Garel, G. (1994). *Réduction du temps de conception, concourance et savoirs professionnels : le cas de l'emboutissage dans les projets automobiles.* Thèse de doctorat. Ecole polytechnique.

Garel, G. (2003). Pour une histoire de la gestion de projet. *Gérer et comprendre, 74*(1), 77-89.

Garel, G. (2011). Qu'est-ce que le management de projet ?. *Informations sociales*, (5), 72-80.

Garel, G. (2012). *Le Management de projet.* La Découverte.

Gastaldi, L. (2007). *Stratégies d'innovation intensive et management de la recherche en entreprise : vers un nouveau modèle de recherche concourante.* Thèse de doctorat. Université de Marne-la-Vallée.

Gastaldi, L. (2009). *Stratégies d'innovation et modes de management de la recherche en entreprise. La formalisation de trois idéaux-types.* 18ème Congrès de Management Stratégique, Association Internationale de Management Stratégique.

Gastaldi, L., & Gilbert, P. (2007). *Vers un modèle d'analyse des instruments de gestion des ressources humaines. Le cas de la double échelle scientifique et managériale.* Paper presented at the AGRH Conference, Fribourg.

Gastaldi, L., & Gilbert, P. (2008). Des experts à gérer : un même objectif, des pratiques différenciées. *Entreprise & Personnel, 276*, 42.

Gavard-Perret, M-L., Gotteland, D., Haon, Christophe, Jolibert, A. (2012). *Méthodologie de la recherche en sciences de gestion : réussir son mémoire ou sa thèse.* Pearson.

Gawer A., & Cusumano M. (2012). *Industry platforms and ecosystem innovation.* DRUID Conference. Copenhagen, Denmark.

Gawer, A. (2007). *A Strategy toolkit for platform leader wannabes.* DRUID Conference. Copenhagen, Denmark.

Gawer, A. (2010). *Toward a general theory of technological platforms.* DRUID Conference. London, UK.

Gawer, A., & Cusumano, M. (2002). *Platform leadership : How Intel, Microsoft, and Cisco drive industry innovation.* Harvard Business School Press.

Gero, J.S. (1990). Design prototypes : a knowledge representation schema for design, *Artificial Intelligence magazine*, vol. 11, n° 4, pp. 26-36.

Gero, J.S. (1994). Computational models of creative design processes. In Dartnall, T. (Eds.). *Artificial Intelligence and Creativity : An Interdisciplinary Approach.* Springer Science & Business Media., pp. 269-281.

Gertner, J. (2012). *The Idea Factory : Bell Labs and the Great Age of American Innovation.* Penguin Group US.

Gilbert, P. (1999). La gestion prévisionnelle des ressources humaines : histoire et perspectives. *Revue française de gestion*, 66-75.

Gilbert, P. (2012). *La gestion prévisionnelle des ressources humaines.* Paris, La découverte.

Gilles, B. (1978). *Histoire des techniques.* Gallimard, Paris.

Gilles, B. (1979). *La notion de système technique.* Technique et culture, N°1.

Gillier, T. (2010). *Comprendre la génération des objets de coopération interentreprises par une théorie des co-raisonnements de conception : vers une nouvelle ingénierie des partenariats d'exploration technologique.* Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL.

Gioan, E., & Alfonsín, J. R. (2013). Eléments de théorie des matroïdes et matroïdes orientés. In Langlois, P. (Eds). *Informatique Mathématique - Une photographie en 2013.* Presse Universitaire de Perpignan, pp. 47-95.

Girin, J. (1986). *L'objectivation des données subjectives. Eléments pour une théorie du dispositif dans la recherche interactive.* Colloque ISEOR, p. 170-186.

Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2009). *The discovery of grounded theory : Strategies for qualitative research.* Transaction publishers.

Gobet, F. (2015). *Understanding expertise : A multi-disciplinary approach.* Palgrave Macmillan.

Gomez, P-Y. (2014). Coopération ou incitation : le rôle des ordres de gouvernance dans la trajectoire de l'entreprise. In Segrestin, B., Roger, B., & Vernac, S. (Eds.). *L'entreprise : point aveugle du savoir.* Sciences Humaines.

Goria, S. (2006). Knowledge Mangement et intelligence économique : deux notions aux passés proches et aux futurs complémentaires. *Informations, Savoirs, Décisions et Médiations (ISDM)*, (27), pp. 1-16.

Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage : implications for strategy formulation. *California management review*, *33*(3), 114-135.

Greenberg, J. (1996). *The Quest of Justice on the Job : Essays and Experiments.* Thousand Oaks, CA : Sage.

Grossman, S. J., & Hart, O. D. (1986). The costs and benefits of ownership : A theory of vertical and lateral integration. *The Journal of Political Economy*, 691-719.

Gunz, H. P. (1980). Dual ladders in research : A paradoxical organizational fix. *R&D Management*, *10*(3), 113-118.

Gupta, A. K., & Singhal, A. (1993). Managing human resources for innovation and creativity. *Research-Technology Management*, *36*(3), 41-48.

Haas, P. (1992). Introduction: Epistemic Communities and International Policy Coordination. *International Organisation, vol. 46, n° 1*, p. 1-37.

Habermas, J. (2000). *La technique et la science comme idéologie.* Paris, Payot.

Hall, D. T. (1985). Project work as an antidote to career plateauing in a declining engineering organization. *Human Resource Management*, *24*(3), 271–292.

Hall, D. T., Schneider, B., & Nygren, H. T. (1970). Personal factors in organizational identification. *Administrative science quarterly*, 176-190.

Hall, R., & Andriani, P. (2003). Managing knowledge associated with innovation. *Journal of business Research*, *56*(2), 145-152.

Hansen, M. T., Nohria, N., & Tierney, T. (2000). What's your strategy for managing knowledge ? In Cortada, J. W., & Woods, J. A. *The Knowledge Management Yearbook 2000-2001.* Taylor & Francis, pp. 55-69.

Harold A. Linstone & Murray Turoff (2002), *The Delphi Method, Techniques and applications.* New Jersey Institute of Technology.

Hart, O., & Moore, J. (1990). Property rights and the nature of the firm. *Journal of political economy*, 1119-1158.

Hatchuel, A. (1994). Les savoirs de l'intervention en entreprise. *Entreprises et histoire*, *7*, 59-75.

Hatchuel, A. (2014). L'entreprise comme création collective, une mission à réinventer. In Segrestin, B., Roger, B., & Vernac, S. (Eds.). *L'entreprise : point aveugle du savoir.* Sciences Humaines.

Hatchuel, A. (2016). Henri Fayol et la théorie du chef d'entreprise : une nouvelle figure de l'autorité au tournant du XXe siècle. *Entreprises et histoire*, (2), 108-120.

Hatchuel, A. & Weil, B. (2002). *La théorie CK : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception.* Colloque Sciences de la conception, Lyon.

Hatchuel, A., & Molet, H. (1986). Rational modelling in understanding and aiding human decision-making: About two case studies. *European Journal of Operational Research*, *24*(1), 178-186.

Hatchuel, A., & Segrestin, B. (2016). Henri Fayol, théoricien de l'entreprise innovante. In Bertilorenzi, M., Passaqui, J-P. & Garçon, A-F. (Eds). *Entre technique et gestion.* Presses des Mines.

Hatchuel, A., & Weil, B. (1992). *L'expert et le système.* Paris : Economica.

Hatchuel, A., & Weil, B. (2003). *New Approach of Innovative Design : An Introduction to C-K Theory.* Paper presented at the ICED'03, Stockholm, Sweden.

Hatchuel, A., & Weil, B. (2009), C-K Design Theory : An Advanced Formulation. *Research in Engineering Design*, Vol. 19, pp. 181-192.

Hatchuel, A., Le Masson, P. & Weil, B (2001). *From R&D to RID.* 8th IPDM Conference, Enschede, The Netherlands.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2002). De la gestion des connaissances aux organisations orientées conception. *Revue internationale des sciences sociales*, (1), 29-42.

Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2002). From knowledge management to design-oriented organisations. *International Social Science Journal*, *54*(171), 25-37.

Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y., & Weil, B. (2011). *A systematic approach of design theories using generativeness and robustness.* International Conference on Engineering Design, ICED 11, Copenhagen.

Hayes, J. R. (1989). Cognitive processes in creativity. In Glover, J. A., Ronning, R. R., & Reynolds, C. (Eds.). *Handbook of creativity.* Springer Science & Business Media, pp. 135–145.

Hayes, R. H., & Abernathy, W. J. (2007). Managing our way to economic decline. *Harvard Business Review*, *85*(7-8).

Henderson, R. M., & Clark, K. B. (1990). Architectural innovation : The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative science quarterly*, 9-30.

Henderson, R., & Cockburn, I. (1994). Measuring competence ? Exploring firm effects in pharmaceutical research. *Strategic management journal*, *15* (S1), 63-84.

Hoffman, R. R. (1996). How can expertise be defined ? Implications of research from cognitive psychology. In Williams, R., Faulkner, W., & Fleck, J. (Eds.). *Exploring Expertise.* Edinburgh, Scotland : University of Edinburgh Press.

Hounshell, D. A. (1996). The evolution of industrial research in the United States. In Rosenbloom, R. S. & Spencer, W. J. (Eds.). *Engines of innovation : US industrial research at the end of an era.* Harvard Business Press, pp. 51-56.

Huber, B. (1999). *Experts in organizations : the power of expertise.* Academy of business and administrative science conference, Barcelona.

Huguenin, J-L. (2011). *Etude de dispositifs à film mince pour les technologies sub-22nm à basse consommation.* Thèse de doctorat. Université de Grenoble.

Hulin, A. (2010). *Les pratiques de transmission du métier : de l'individu au collectif. Une application au compagnonnage.* Thèse de Doctorat. Université François Rabelais-Tours.

Igbaria, M., Kassicieh, S. K., & Silver, M. (1999). Career orientations and career success among research, and development and engineering professionals. *Journal of Engineering and technology management*, *16*(1), 29-54.

Ilinitch, A.Y., D'Aveni, R.A., Lewin, A.Y. (1996). New organizational Forms and Strategies for Managing in Hypercompetitive Environments. *Organization Science. Vol. 7, No. 3*, pp. 211-220.

Imaï, K., Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1985). Managing the new product developement process : how japanese companies learn and unlearn. In Clark, K., Hayes, R., Lorenz, C. (Eds.). *The Uneasy*

alliance. Managing the productivity – technology dilemma. Harvard Business School Press : Boston, pp. 337-376.

Israel, P. (1998). *Edison : a life of invention.* John Wiley and Sons. New York.

Jacob S., Genard J.-L. (dir.) (2004). *Expertise et action publique.* Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles.

Jaffro, L. (2008). Communauté et société, Collingwood contre les sociologues. *Dialogue, 47*(02), 253-271.

Jaruzelski, B., Dehoff, K., & Bordia, R. (2005). *Money Isn't Everything. Lavish R&D budgets don't guarantee performance.* Strategy + Business, The Booz Allen Hamilton. Resilience Report, p. 15.

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of financial economics, 3(4)*, 305-360.

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of financial economics, 3*(4), 305-360.

Johnson, G., Scholes, K., Whittington, R., Scholes, K., Angwin, D. & Fréry, F. (2014). *Stratégique* (Vol. 10). Paris, Pearson Education.

Johnson, S. C., & Jones, C. (1957). How to organize for new products. *Harvard Business Review, 35*(3), 49-62.

Kandibyn, A., & Kihn, M. (2004). Raising your return on innovation investment. Strategy + Business, The Booz Allen Hamilton. Resilience Report, p.14.

Kapoor, R., & Adner, R. (2007). Technology interdependence and the evolution of semiconductor lithography. *Solid State Technology, 50*(11), 51-55.

Katz, R. (Ed.). (1988). *Managing professionals in innovative organizations : A collection of readings.* Ballinger.

Katz, R. (Ed.). (1997). *The human side of managing technological innovation : A collection of readings.* Oxford University Press.

Katz, R., & Tushman, M. (1981). An investigation in to the managerial roles and career paths of gatekeepers and project supervisors in a major R&D facility. *R&D Management, 11*, 103-110.

Katz, R., Tushman, M., & Allen, T. (1990). *Exploring the dynamics of dual ladders : A longitudinal study.* Massachusetts Institute of Technology, Working Paper.

Katz, R., Tushman, M., & Allen, T. J. (1995). The influence of supervisory promotion and network location on subordinate careers in a dual ladder RD&E setting. *Management Science, 41*(5), 848-863.

Kelley, D. J., O' Connor, G. C., Neck, H., & Peters, L. (2011). Building an organizational capability for radical innovation : The direct managerial role. *Journal of Engineering and Technology Management*, 28(4): 249-267.

Kerr, S., Von Glinow, M. A., & Schriesheim, J. (1977). Issues in the study of "professionals" in organizations : The case of scientists and engineers. *Organizational Behavior and Human Performance, 18*(2), 329-345.

Kim, Y., & Cha, J. (2000). Career orientations of R&D professionals in Korea. *R&D Management, 30*(2), 121-138.

Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In Landau, R., & Rosenberg, N. (Eds.). *The positive sum strategy : Harnessing technology for economic growth.* National Academy Press, pp. 275-305.

Knorr-Cetina, K. (1991). Epistemic cultures : Forms of reason in science. *History of Political Economy, (23)1*, 105-122.

Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic cultures : How the sciences make knowledge.* Harvard University Press.

Koenig, G. (2006). L'apprentissage organisationnel : repérage des lieux. *Revue française de gestion*, (1), 293-306.

Kogut, B., & Zander, U. (1992). Knowledge of the firm, combinative capabilities, and the replication of technology. *Organization science*, *3*(3), 383-397.

Kogut, B., & Zander, U. (1996). What firms do ? Coordination, identity, and learning. *Organization science*, *7*(5), 502-518.

Koh, A. (2000). Linking learning, knowledge creation, and business creativity : A preliminary assessment of the East Asian quest for creativity. *Technological Forecasting and Social Change*, *64*, 85–100.

Kokshagina, O. (2014). *Risk management in double unknown : theory, model and organization for the design of generic technologies.* Doctoral dissertation. MINES ParisTech

Kornhauser, W. (1982). *Scientists in industry : Conflict and accommodation.* Greenwood Pub Group.

Lachaussée, I. (2008). Communauté et société : un ré-examen du modèle de Tönnies. *Sens Public*, 12 p.

Lacord, J. (2012). *Développement de modèles pour l'évaluation des performances circuit des technologies CMOS avancées sub-20nm.* Thèse de doctorat. Université de Grenoble.

Lallé, B. (2004). Production de la connaissance et de l'action en sciences de gestion. *Revue française de gestion*, (1), 45-65.

Lançon, F., Temple, L., & Biénabe, E. (2016). La notion de filière : un cadre d'analyse pour les politiques et les stratégies de développement. In Biénabe, E., Rival, A., & Loeillet, D. (eds.). *Développement durable et filières tropicales.* Versailles : Ed. Quae, p. 29-40. (Agricultures et défis du monde).

Larson, M. S. (1977). *The rise of professionalism : a sociological analysis.* University of California Press.

Lascoumes, P. (2002). L'expertise, de la recherche d'une action rationnelle à la démocratisation des connaissances et des choix. *Revue française d'administration publique*, (3), 369-377.

Lasne, L. (2003). *Physique et technologie des composants de puissance.* Département E.E.A, Université Bordeaux 1.

Latour B. (1989). *La science en action.* Paris, La Découverte.

Lauzol, C. & Jonquière, A. M. (2015). *Les expert(e)s dans l'entreprise, développement des expertises, management des filières experts.* Edition Maxima.

Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation.* Cambridge University Press.

Lawler, E. E. (1994). From job-based to competency-based organizations. *Journal of organizational behavior*, *15*(1), 3-15.

Lazaric, N. (1999). Routines et apprentissage dans la théorie évolutionniste : portées et limites des fondements cognitifs. Dans Basle, M., Delorme, R., Lemoigne, J. L., Paulré, B. (dir.). *Approches évolutionnistes de l'entreprise et de l'industrie.* Paris, L'Harmattan.

Lazaric, N. (2010). *Les théories économiques évolutionnistes.* Paris, La Découverte.

Le Boulaire, M. (2014). *Etude benchmark management des experts*. Entreprise & personnel. 14 p.

Le Masson, P. & Weil, B. (2014). Réinventer l'entreprise : la gestion collégiale des inconnus communs non appropriables. In Segrestin, B., Roger, B., & Vernac, S. (Eds.). *L'entreprise : point aveugle du savoir*. Sciences Humaines.

Le Masson, P., & Weil, B. (2010a). Aux sources de la R&D: genèse des théories de la conception réglée en Allemagne (1840-1960). *Entreprises et histoire*, (1), 11-50.

Le Masson, P., & Weil, B. (2010b). La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : les expériences oubliées aux origines des bureaux d'études. *Entreprises et histoire*, (1), 51-73.

Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Fayol, Guillaume, Chevenard–la science, l'industrie et l'exploration de l'inconnu : logique et gouvernance d'une recherche conceptive. *Entreprises et histoire*, (2), 79-107.

Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Fayol, Guillaume, Chevenard–la science, l'industrie et l'exploration de l'inconnu : logique et gouvernance d'une recherche conceptive. *Entreprises et histoire*, (2), 79-107.

Le Masson, P., Hatchuel, A., Kokshagina, O., & Weil, B. (2016). Designing techniques for systemic impact : lessons from CK theory and matroid structures. *Research in Engineering Design*, 1-24.

Le Masson, P., Weil, B. (2008). La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études. In Hatchuel, A. & Weil, B. (Eds.). *Les nouveaux régimes de la conception. Langages, théories, métiers*. Vuibert, Colloques de Cerisy, 51-66.

Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2006). *Les processus d'innovation : Conception innovante et croissance des entreprises*. Paris : Lavoisier.

Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2014). *Théorie, méthodes et organisations de la conception*. Presses des Mines.

Le Masson, P., Weil, B., & Kokshagina, O. (2015). A new perspective for risk management : a study of the design of generic technology with a matroid model in CK theory. In Taura, T. (Eds.). *Principia Designae-Pre-Design, Design, and Post-Design*. Springer Japan, pp. 199-219.

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A. (2010). *Strategic management of innovation and design*. Cambridge University Press.

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., & Cogez, P. (2012). Why are they not locked in waiting games? Unlocking rules and the ecology of concepts in the semiconductor industry. *Technology Analysis & Strategic Management*, *24*(6), 617-630.

Le Moigne, J.L., & Morin, E. (dir.) (2013). *Intelligence de la complexité. Epistémologie et pragmatique*. Colloque de Cerisy. Editions Hermann.

Le Roux, M. (1998). *L'entreprise et la recherche : un siècle de recherche industrielle à Pechiney*. Rive droite.

Lefebvre, P., Roos, P. & Sardas, J. C. (2004). Les théories des Communautés de Pratique à l'épreuve : conditions d'émergence et organisation des communautés. *Systèmes d'information et Management*, *9*(1), 25.

Lefebvre, P., Roos, P., & Sardas, J. C. (2003). Gestion des compétences, gestion des connaissances et enjeux identitaires en conception : pour une approche unifiée de la dynamique métier. In Guénette, A. M., Rossi, M. & Sardas, J. C. (Eds.). *Compétences et connaissances dans les organisations*. Edition SEES, Lausanne.

Lefebvre, P., Roos, P., & Sardas, J. C. (2008). Redynamizing trades : A case study in aeronautic industry. In Minguet, G., Midler, C. & Vervaeke, M. (Eds.). *Working on Innovation*. New York : Routledge, 180-201.

Leifer, R., McDermott, C. M., O'Connor, G. C., Peters, L. S., Rice, M. P., & Veryzer, R. (2000). *Radical Innovation. How Mature Companies can Outsmart Upstarts*. Boston, MA : Harvard Business School Press.

Lelebina, O. (2014). *La gestion des experts en entreprise : dynamique des collectifs de professionnels et offre de parcours*. Thèse de Doctorat. MINES ParisTech.

Lelebina, O. & Sardas, J. C. (2011). *L'expertise et les experts dans les organisations : une approche multidisciplinaire pour la définition des notions clés*. Congrès de l'Association Francophone de Gestion des Ressources Humaines (AGRH).

Lenfle, S. (2008). *Projets et conception innovante*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris-Dauphine.

Leonard-Barton, D. (1992). Core capabilities and core rigidities : A paradox in managing new product development. *Strategic management journal*, *13*(S1), 111-125.

Leroi-Gourhan, A. (1973). *Milieux et techniques*. Albin Michel, Paris.

Levillain, K. (2015). *Les entreprises à mission : Formes, modèle et implications d'un engagement collectif*. Thèse de doctorat. MINES ParisTech.

Levillain, K., Hatchuel, A., & Segrestin, B. (2012). L'impensé de la RSE. *Revue française de gestion*, (9), 185-200.

Levillain, K., Segrestin, B., & Hatchuel, A. (2014). Repenser les finalités de l'entreprise. *Revue française de gestion*, (8), 179-200.

Levine, A. (2008). *John Bardeen, William Shockley, Walter Brattain, Invention of the Transistor - Bell Laboratories, American Physical Society*. http://www.aps.org/programs/outreach/history/historicsites/transistor.cfm, page consultée le 9 juillet 2014.

Levitt, B., & March, J. G. (1988). Organizational learning. *Annual review of sociology*, 319-340.

Lewin, K. (1951). *Field Theory in Social Science*. Harper & Row.

Little, A. D. (1913). Industrial research in America. *Science*, 643-656.

Little, A. D. (1918). *Industrial research laboratories Arthur D. Little, inc., dedicated to industrial progress*. Cambridge, Mass., The Murray printing company.

Lojek, B. (2007). *History of Semiconductor Engineering*. Springer.

Louart, P. (2003). Les acteurs de la GRH. In Allouche, J. *Encyclopédie des Ressources Humaines*, Paris, Vuibert. pp. 641-656.

Lowendahl, B., & Haanes, K. (1997). The unit of activity : a new way to understand competence building and leveraging. In Sanchez, R. & Heene, A. (ed.). *Strategic learning and knowledge management*. Chichester : John Wiley & Sons, 19-38.

Lundvall, B. Ä., & Johnson, B. (1994). The learning economy. *Journal of industry studies*, *1*(2), pp. 23-42.

Lynn, L.H., Aram, J.D., & Mohan Reddy, N. (1997). Technology communities and innovation communities. *Journal of Engineering and Technology Management*, *14*, pp. 129-145.

Machlup, F. (1983). Semantic quirks in studies of information. *The study of information : Interdisciplinary messages*, 641-671.

Mahoney, J. T. (1995). The management of resources and the resource of management. *Journal of business research, 33*(2), 91-101.

Maine, E., Thomas, V. J., & Utterback, J. (2014). Radical innovation from the confluence of technologies : Innovation management strategies for the emerging nanobiotechnology industry. *Journal of Engineering and Technology Management, 32*, 1-25.

Makadok, R. (2001). Toward a synthesis of the resource-based and dynamic-capability views of rent creation. *Strategic management journal, 22*(5), 387-401.

Malier, L. (2010). *Les sites français de production micro-nanoélectronique - Mission confiée par Christian Estrosi, Ministre chargé de l'industrie.* Ministère de l'industrie. 41 p.

Mangolte, P. A. (1998). *Le concept de" routine organisationelle" entre cognition et institution.* Thèse de Doctorat. Université Paris-Nord-Paris XIII.

Marage, P. (1997). *Il y a cent ans : la découverte de l'électron*, Histoire des sciences.

March, J. G., & Simon, H. A. (1958). *Organizations.* New York : John Wiley.

March, J. G., & Simon, H. A. (1993). *Organizations (2nd edn.).* Oxford, England : Blackwell.

Marengo, L. (1996). Structure, competence and learning in an adaptive model of the firm. In Dosi, G. & Malerba, F. (ed.). *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise.* London, Macmillan Press.

Marengo, L. & Dosi, G. (2005). Division of Labor, Organizational Coordination and Market Mechanisms in Collective Problem-solving. *Journal of Economic Behavior & Organization, vol. 58*, 303-326.

Marples, D. L. (1961). The decisions of engineering design. *IRE Transactions on Engineering Management*, (2), 55-71.

Martinet, A. C., & Pesqueux, Y. (2013). *Épistémologie des sciences de gestion.* Edition Vuibert.

McCarthy, E. J. (1959). Organization for New-Product Development?. *The Journal of Business, 32*(2), 128-132.

McDermott, C. M., & O'Connor, G. C. (2002). Managing radical innovation : an overview of emergent strategy issues. *Journal of product innovation management, 19(6*), 424-438.

McDermott, C., & Handfield, R. (2000). Concurrent development and strategic outsourcing : do the rules change in breakthrough innovation?. *The Journal of High Technology Management Research, 11*(1), 35-57.

Mees, C. E. K. (1920). *The organization of industrial scientific research.* McGraw-Hill Book Company, Incorporated.

Meschi, P. X. (1997). *Le concept de compétence en stratégie : perspective et limites.* Communication à la VIème conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, Montréal, Canada.

Mesure, S. (2013). Durkheim et Tönnies : regards croisés sur la société et sur sa connaissance. *Sociologie, 4*(2), 201-211.

Meyer, M. H., & Lehnerd, A. P. (2002). *Les plates-formes produits.* Dunod, Paris.

Midler, C. (1996). Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception. In Terssac, G. & Friedberg, E. (dir.). *Coopération et conception.* Toulouse. Octares, p. 63-85.

Midler, C. (1998). Evolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception. *Problèmes économiques.* N°2.558.

Midler, C. (2012). *L'auto qui n'existait pas : management des projets et transformation de l'entreprise.* Dunod.

Mieg, H. A. (2001). *The social psychology of expertise : Case studies in research, professional domains, and expert roles.* Psychology Press.

Mieg, H. A. (2006). Social and sociological factors in the development of expertise. In Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Miles, M.B., & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative Data Analysis : An Expanded Source Book.* 2nd Edition, Sage Publications, Thousand Oaks, CA.

Mili, A. (2009). *Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque : Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs.* Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Miller, W. L., & Morris, L. (2008). *Fourth generation R&D : Managing knowledge, technology, and innovation.* John Wiley & Sons.

Millman, S. (Editor) (1983). *A History of Engineering and Science in the Bell System.* AT&T Bell Laboratories.

Minsky, M. (1965). *Matter, mind and models.* In Proceedings of IFIP Congress, p 45-49.

Moisdon, J. C. (1984). Recherche en gestion et intervention. *Revue française de gestion.*

Moisdon, J. C., & Weil, B. (1992). L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales. *Gérer et Comprendre*, n°28, pp. 30-41.

Mondada, L. (2005). *Chercheurs en interaction : comment émergent les savoirs* (Vol. 28). Collection le savoir suisse.

Monfray, S. (2003). *Conception et caractérisation de dispositifs CMOS en technologie SON.* Thèse de doctorat. Université de Provence.

Morrison, P. D., Roberts, J. H., & Von Hippel, E. (2000). Determinants of user innovation and innovation sharing in a local market. *Management Science*, 1513-1527.

Moscovici, M. (1966). La recherche scientifique dans l'industrie. *Analyse et prévision*, *2*, 792-800.

Moscovici, M. (1967). Le laboratoire dans l'industrie ; Pour une sociologie de la recherche organisée. *Sociologie du travail*, *9*(4), 438-447.

Mottley, C. M., & Newton, R. D. (1959). The selection of projects for industrial research. *Operations Research*, *7*(6), 740-751.

Mowery, D., & Rosenberg, N. (1979). The influence of market demand upon innovation : a critical review of some recent empirical studies. *Research policy*, *8*(2), 102-153.

Myers, M. B., & Rosenbloom, R. S. (1996). Rethinking the role of industrial research. In Rosenbloom, R. S. & Spencer, W. J. (Eds.). *Engines of innovation : US industrial research at the end of an era.* Harvard Business Press, pp. 209-228.

Neel, D. L., & Neudauer, N. A. (2009). Matroids you have known. *Mathematics magazine*, *82*(1), 26-41.

Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press.

Noel, J-P. (2011). *Optimisation de dispositifs FDSOI pour la gestion de la consommation et de la vitesse : application aux mémoires et fonctions logiques*. Thèse de doctorat. Université de Grenoble.

Nonaka, I. (1988). Creating organizational order out of chaos : Self-renewal in Japanese firms. *California management review*, *30(3)*, 57-73.

Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*, *5*(1), 14-37.

Nonaka, I. et Takeuchi, H. (1997). *La connaissance créatrice : la dynamique de l'entreprise apprenante*. De Boeck Université.

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company : How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press.

Nooteboom, B. (2006). *Cognitive distance in and between COP's and firms : where do exploitation and exploration take place, and how are they connected ?*. CentER Disussion Paper Series.

O'Connor, G. C. (2008). Major Innovation as a Dynamic Capability : A System Approach. *Journal of product innovation management*, 25: 313-330.

O'Connor, G. C., & Rice, M. P. (2001). Opportunity recognition and breakthrough innovation in large established firms. *California Management Review*, *43*(2), 95-116.

Orr, J. (1990). Sharing knowledge, celebrating identity : war stories and community memory in a service culture. In Middleton, D. S., & Edwards, D. (Eds.). *Collective remembering*. Beverly Hills, CA: Sage, pp. 169-189.

Orth, C. D. (1959). The optimum climate for industrial-research. *Harvard Business Review*, *37*(2), 55-64.

Orth, C. D., Bailey, J. C. & Wolek, F. W. (1964). *The behavior of scientists and engineers in organizations : Administering research and development*. Tavistock Publications.

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.

Osty, F. (2003). *Le désir de métier : engagement, identité et reconnaissance au travail*. Rennes, Presses universitaires de Rennes.

Ouchi, W. G. (1980). Markets, bureaucracies, and clans. *Administrative science quarterly*, 129-141.

Oxley, J. G. (2006). *Matroid theory* (Vol. 3). Oxford University Press, USA.

Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering design : a systematic approach*. Springer Science & Business Media.

Passeron, J. C. (2013). *Le raisonnement sociologique : un espace non poppérien de l'argumentation*. Albin Michel.

Pelletier, G. (1996). Le gestionnaire, le leader et l'artiste. *Revue française de gestion*, (107), 44-57.

Pelz, D. C., & Andrews, F. M. (1966). *Scientists in Organizations : Productive Climates for Research and Development*. Wiley.

Penrose, E. T. (1995). *The theory of the growth of the firm*. Oxford : Basil Blackwell.

Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage : a resource-based view. *Strategic management journal*, *14*(3), 179-191.

Peters, M., Schneider, M., Griesshaber, T., & Hoffmann, V. H. (2012). The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change–Does the locus of policies matter ?. *Research Policy*, *41*(8), 1296-1308.

Petroni, G., Venturini, K., & Verbano, C. (2012). Open innovation and new issues in R&D organization and personnel management. *The International Journal of Human Resource Management*, *23*(1), 147-173.

Piaget, J. (1959). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant.* Neuchâtel, Éditions Delachaux et Niestlé.

Pierce, C.S. (1879). *Note on the theory of the economy of research.* United States Coast Survey

Piotet, F. (2002). *La révolution des métiers.* Presses Universitaires de France.

Pisano, G. P., & Shih, W. C. (2009). Restoring American Competitiveness. *Harvard business review*, *87*(7/8), 114-125.

Plane, J. M. (2013). *Théorie des organisations.* 4ème édition. Paris, Dunod.

Pochic, S. (2004). Le manager et l'expert, des figures imposées ? In Karvar, A. & Rouban, L. (Eds.). *Les cadres au travail, de nouvelles règles du jeu.* La Découverte, pp. 168-198.

Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge : Towards a post-critical philosophy.* London, Routledge and Kegan.

Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy : Techniques for Analyzing Industries and Competitors.* New York : Free Press.

Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review, Vol. 68,* Issue 3, p. 79-91.

Radaelli, G., Guerci, M., Cirella, S., & Shani, A. B. R. (2014). Intervention research as management research in practice : learning from a case in the fashion design industry. *British Journal of Management*, *25*(2), 335-351.

Raelin, J. A. (1986). *The clash of cultures : Managers and professionals.* Harvard Business Press.

Rafols, I., Meyer, M., (2007). How cross-disciplinary is bionanotechnology ? Explorations in the specialty of molecular motors. *Scientometrics. 70 (3), pp.* 633–650.

Reich, L. S. (2002). *The making of American industrial research : science and business at GE and Bell, 1876-1926.* Cambridge University Press.

Renard, G. (1963). La découverte et le perfectionnement des transistors. *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, Tome 14 n°4*, 323-358.

Rice, M. P., Leifer, R., & O'Connor, G. C. (2002). Commercializing discontinuous innovations : bridging the gap from discontinuous innovation project to operations. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *49*(4), 330-340.

Robinson, A.G. and Stern, S. (1997). *Corporate Creativity.* San Francisco : Berrett-Koehler.

Robinson, D. K., Le Masson, P., & Weil, B. (2012). Waiting games: innovation impasses in situations of high uncertainty. *Technology Analysis & Strategic Management*, *24*(6), 543-547.

Rochette, F. (2008). *Etude et caractérisation de l'influence des contraintes mécaniques sur les propriétés du transport électronique dans les architectures MOS avancées.* Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble.

Roger, A., & Roger, P. (2001). *Rôle et place des experts dans une société de l'information.* Actes du XIIe Congrès de l'AGRH.

Roos, P. (2006). Rationalisation de l'activité et recomposition des métiers de conception : diagnostic, modélisation et structuration des dynamiques de métier dans les services d'ingénierie aéronautique. *Ecole des Mines de Paris, Paris.*

Roqueplo, P. (1996). *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique.* Paris, Inra Editions.

Rosenbloom, R. S. & Burgelman, R. A. (Ed.). (1989). *Research on technological innovation, management and policy : a research annual* (Vol. 4). Jai Press.

Rosenbloom, R. S. & Spencer, W. J. (1996). Introduction : Technology's Vanishing Wellspring. In Rosenbloom, R. S. & Spencer, W. J. (Eds.). *Engines of Innovation, U.S. Industrial Research at the End of an Era.* Massachusetts : Harvard Business School Press, p1-9.

Roth, L. M. (1982). *A critical examination of the dual ladder approach to career development.* Center for Research in Career Development, Columbia Univ Graduate School of Business.

Rousseau, J. J. *Les transistors à effet de champ, Faculté des Sciences exactes et naturelles.* Université du Maine.

Roussel, P. A., Saad, K. N., & Erickson, T. J. (1991). *Third generation R&D : managing the link to corporate strategy.* Harvard Business Press.

Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision.* Economica.

Roy, B. (1992). Science de la décision ou science de l'aide à la décision. *Revue Internationale de Systémique, Vol. 6, n° 5,* 497-529.

Ryle, G. (1945). Knowing how and knowing that : The presidential address. *In Proceedings of the Aristotelian society* (Vol. 46, pp. 1-16). Aristotelian Society, Wiley.

Rynes, S. L. (2012). *The research–practice gap in industrial/organizational psychology and related fields: Challenges and potential solutions.* In Kozlowski S., W., J. (Eds.). Oxford handbook of industrial and organizational psychology. New York, NY : Oxford University Press.

Said, A. B., Shahzad, M. K., Zamai, E., Hubac, S., & Tollenaere, M. (2016). Experts' knowledge renewal and maintenance actions effectiveness in high-mix low-volume industries, using Bayesian approach. *Cognition, Technology & Work, 18*(1), 193-213.

Saint-Léon, E. M. (1975). *Histoire des corporations de métiers.* Arno Press.

Sanchez, R., & Mahoney, J. T. (1996). Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic management journal, 17*(S2), 63-76.

Sardas, J.-C., & Dalmasso, C. (2006). *Recomposition des métiers, tentatives de polyvalence et dynamiques identitaires.* Colloque AIPTLF. Hammamet.

Sardas, J.-C., Lefebvre, P., & Roos, P. (2004). *Structuration et management des groupes professionnels internes.* Association Internationale de Sociologie, 4ème Conférence Intermédiaire : Savoirs, Travail et Organisation, 22-24 Septembre 2004, Université de Versailles, France.

Saunier, C. (2008). *Rapport sur l'évolution du secteur de la micro/nanoélectronique.* Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. France. Sénat. France. Assemblée nationale.

Saviotti, P., & Metcalfe, J. S. (Eds.). (1991). *Evolutionary theories of economic and technological change : present status and future prospects.* Harwood Academic Publishers.

Schaller, R. R. (2004). *Technological Innovation in the Semiconductor Industry : A Case Study of the International Technology Roadmap for Semiconductors.* George Mason University. Doctor of Philosophy, 861.

Schmoch, U. (2007). Double-boom cycles and the comeback of science-push and market-pull. *Research policy*, *36*(7), 1000-1015.

Schmookler, J. (1966). *Invention and Economic Growth.* Harvard University Press, Cambridge, MA.

Schön, D. A. (1983). The reflective practitioner. London : Temple Smith. Basic Books, Inc.

Scouarnec, A. (2010). *Management et métier - Visions d'experts : Mélanges en l'honneur de Luc Boyer.* Editions EMS.

Segrestin, B. (2016). Le tournant fayolien : des révolutions industrielles à la naissance de l'entreprise moderne. *Entreprises et histoire*, (2), 5-12.

Segrestin, B., & Hatchuel, A. (2012). *Refonder l'entreprise.* Seuil, coll. « La république des idées ». Paris, 128 p.

Segrestin, B., Lefebvre, P., & Weil, B. (2001). *Les régimes de conception : un préalable à l'examen des nouvelles formes de coopération inter-firmes.* 9ème rencontre GERPISA, Paris.

Selinger, E., & Crease, R. P. (2006). *The philosophy of expertise.* Columbia University Press.

Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline : The Art and Practice of the Learning Organization.* New York: Currency Doubleday.

Sewell, W. H. (1983). *Gens de métier et révolutions : le langage du travail de l'Ancien Régime à 1848* (Vol. 23). Editions Aubier.

Shani, A. B., Mohrman, S. A., Pasmore, W. A., Stymne, B., & Adler, N. (Eds.). (2007). *Handbook of collaborative management research.* Sage Publications.

Sharp, P. A., Cooney, C. L., Kastner, M. A., Lees, J., Sasisekharan, R., Yaffe, M. B., ... & Hammond, P. T. (2011). *The third revolution : The convergence of the life sciences, physical sciences, and engineering.* Massachusetts Institute of Technology.

Shepard, H. A. (1956). Nine dilemmas in industrial research. *Administrative Science Quarterly*, 295-309.

Shepard, H. A. (1958). The dual hierarchy in research. *Research Management*, *1*(3), 177-187.

Shinn, T. (1980). Division du savoir et spécificité organisationnelle : Les laboratoires de recherche industrielle en France. *Revue française de sociologie*, 3-35.

Shon-Roy, L., Wiesnoski, A., Zorich, R., & Phillips, W. (1998). *Advanced semiconductor fabrication handbook.* ICE, Integrated circuit engineering.

Siggelkow, N. (2007). Persuasion with case studies. *Academy of management journal*, *50*(1), 20.

Simon-Lee, F. (2011). *La mobilisation des réseaux sociaux lors du développement d'idées créatives : études de cas au sein d'un centre de R&D d'un fabricant de semi-conducteurs.* Thèse de Doctorat. Université de Caen Basse Normandie.

Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial.* MIT press.

Simon, H. A. (1982). *Models of bounded rationality : Empirically grounded economic reason* (Vol. 3). MIT press.

Simon, H. A. (1989). The Scientist as Problem Solver. In Klahr, D., & Kotovsky, K. (Eds.). *Complex information processing : The impact of Herbert A. Simon.* Psychology Press, pp. 375-398.

Simon, H. A. (1991). Bounded rationality and organizational learning. *Organization science, 2*(1), pp. 125-134.

Simon, H.A. (2004). *Les sciences de l'artificiel.* Editions Gallimard.

Simondon, G. (1969). *Du mode d'existence des objets techniques.* Aubier-Montaigne.

Sire, B. (1999). Métier. Le Duff, R. *Encyclopédie de la gestion et du management*, Paris, Dalloz. p. 815-816

Skotnicki, T. (2000a). *Circuits intégrés CMOS sur silicium.* Technique de l'ingénieur.

Skotnicki, T. (2000b). *Transistor MOS et sa technologie de fabrication.* Technique de l'ingénieur.

Skotnicki, T., Bœuf, F. (2003). *EGEM, chapitre 3, Introduction à la physique du transistor MOS.* Edition Hermès.

Skotnicki, T., Hutchby, J., King, T., J., Wong, H., S., P., Bœuf, F. (2005). The end of CMOS scaling – Toward the intriduction of new materials and structural changes to improve MOSFET performance. *IEEE Circuits & Devices Magazine, p. 16-26.*

Skotnicki, T., Merckel, G., & Pedron, T. (1988). The voltage-doping transformation : a new approach to the modeling of MOSFET short-channel effects. *IEEE Electron Device Letters, 9*(3), 109-112.

Spender, J. C., & Grant, R. M. (1996). Knowledge and the firm : overview. *Strategic management journal, 17*(S2), pp. 5-9.

Stankiewicz, F. (2003). Des compétences de la firme aux compétences des salariés-Le point de vue non autorisé d'un économiste du travail. *Revue d'économie industrielle, 102*(1), 55-68.

Suh, N.P. (1990). *The Principles of Design.* Oxford University Press, UK, 418p.

Suh, N.P. (1998). Axiomatic Design Theory for Systems, *Research in Engineering Design*, vol. 10, n° 4, pp. 189-209.

Suh, N.P. (2001). *Axiomatic Design : Advances and Applications.* Oxford University Press, Advanced Manufacturing, USA, 528p.

Takeuchi, H., & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. *Harvard business review, 64(1)*, 137-146.

Tarondeau, J. C. (2002). *Le management des savoirs : «Que sais-je?» n° 3407.* Paris, Presses universitaires de France.

Taylor, F. W. (1914). *The principles of scientific management.* Harper.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities : the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic management journal, 28*(13), 1319-1350.

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic management journal*, 509-533.

Tolbert, P. S. (1996). Occupations, organizations, and boundaryless careers. *The boundaryless career : A new employment principle for a new organizational era*, 331-349.

Toledano, J. (1978). À propos des filières industrielles, *Revue d'économie industrielle*, Vol. 6, No. 1, pp. 149-158.

Tönnies, F. (1957). *Community and Society.* Harper & Row, New York.

Tönnies, F. (2010). *Communauté et société.* Presses Universitaires de France. 277 p.

Tremblay, M., Wils, T., & Proulx, C. (2002). Determinants of career path preferences among Canadian engineers. *Journal of Engineering and Technology Management, 19*(1), 1-23.

Trépos, J. Y. (1996). *La sociologie de l'expertise.* Presse Universitaires de France.

Tuertscher, P., Garud, R., & Kumaraswamy, A. (2014). Justification and interlaced knowledge at ATLAS, CERN. *Organization Science, 25*(6), 1579-1608.

Turpin, T., & Deville, A. (1995). Occupational roles and expectations of research scientists and research managers in scientific research institutions. *R&D Management, 25*(2), 141-157.

Van Maanen, J., & Barley, S. R. (1984). Occupational communities : Culture and control in organizations. *Research in Organizational Behavior.* pp. 287-365.

Vanderheyden, B. *Transistor bipolaire à jonction.* Department of Electricity, Electronics, and Computer Science (Montefiore Department). Université de Liège, p. 37-56.

Varenne, F. (2011). *Modéliser le social : méthodes fondatrices et évolutions récentes.* Dunod.

Verona, G., & Ravasi, D. (2003). Unbundling dynamic capabilities : an exploratory study of continuous product innovation. *Industrial and corporate change, 12*(3), 577-606.

Veryzer, R. W. (1998). Discontinuous innovation and the new product development process. *Journal of product innovation management, 15*(4), 304-321.

Von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation.* MIT Press.

Von Krogh, G., & Roos, J. (Eds.). (1996). Managing knowledge : perspectives on cooperation and competition. London, Sage Publications.

Von Krogh, G., Ichijo, K., & Nonaka, I. (2000). *Enabling knowledge creation : How to unlock the mystery of tacit knowledge and release the power of innovation.* Oxford University Press on Demand.

Wan Wees, L., & Jansen, P. (1994). Dual Ladder "in Balance". *International Journal of Career Management, 6*(3), 11-19.

Ward, J. (2009). *History of Transisitors.* Vol.1 : The First Germanium Hobbyist Transistor, A Publication of the Transisitor Museum, 41 p.

Warnier, V. (2005). *La constitution des compétences stratégiques : le cas de l'industrie de la dentelle haut de gamme.* Thèse de Doctorat. Université Lille 1.

Waters, M. (1989). Collegiality, bureaucratization, and professionalization : A Weberian analysis. *American journal of sociology*, 945-972.

Weber, O. (2005). *Etude, fabrication et propriété de transport de transistors CMOS associant un diélectrique haute permittivité et un canal de conduction haute mobilité.* Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Weil, B. (1999). *Conception collective, coordination et savoirs. Les rationalisations de la conception automobile.* Thèse de Doctorat. Ecole des Mines de Paris.

Weinstein, O. (2012). Les théories de la firme. *Idées économiques et sociales, (4)*, 6-15.

Weinstein, O., & Azoulay, N. (2000). Les compétences de la firme. *Revue d'économie industrielle, 93*(1), 117-154.

Weisberg, R. W. (2006). Modes of expertise in creative thinking : evidence from case studies. In Ericsson, K. A., Charness, N., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance.* Cambridge University Press.

Welsh, D. J. (2010). *Matroid theory.* Courier Corporation.

Wenger, E. (1998). Communities of practice : Learning as a social system. *Systems thinker, 9(5)*, 2-3.

Wenger, E. & Snyder, W. (2000). Communities of practice : The organizational frontier. *Harvard business review, 78(1)*, 139-146.

Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic management journal, 5(2)*, 171-180.

West, J., & Lakhani, K. R. (2008). Getting clear about communities in open innovation. *Industry and Innovation, 15*(2), 223-231.

West, J., & O'mahony, S. (2008). The role of participation architecture in growing sponsored open source communities. *Industry and Innovation, 15(2)*, 145-168.

Whalley, P. & Barley, S. R (1997). Technical Work in the Division of Labor : Stalking the Wily Anomaly In Barley, S. R. & Orr, J. E. (Eds.) *Between Craft and Science : Technical Work in US Settings.* Cornell University Press. pp. 23-52.

Wheelwright, S. C., & Clark, K. B. (1992). *Revolutionizing product development : quantum leaps in speed, efficiency, and quality.* Simon and Schuster.

Wiesenfeld, B.M., Swan, W.B. Jr., Brockner, J., and Bartel, C.A. (2007). Is more fairness always preferred ? Selfesteem moderates reactions to procedural justice. *Academy of Management Journal, 50, 5*, 1235–1253.

Williamson, O. E. (1975). *Markets and hierarchies : antitrust analysis and implications.* New York : The Free Press.

Williot, J. P. (1988). Un exemple de la recherche industrielle au XIX siècle : l'usine expérimentale parisienne du gaz, 1960-1905. *Culture Technique*, 273-278.

Winograd, T., & Flores, F. (1986). *Understanding computers and cognition : A new foundation for design.* Ablex Publishing Intellect, Norwod, NJ.

Winter, S. G. (1995). Four Rs of profitability : rents, resources, routines, and replication. *Working paper IIASA*, WP-95-07.

Yin, R.K. (2009). Case study research : Design and methods. Vol. 5, Sage publications.

Yoshikawa, H. (1981). *General Design Theory and a CAD system.* In Sata, T. & Warman, E. (Eds.). Man-Machine Communication In CAD/CAM. Proceedings of the IFIP WG5.2-53 Working Conference, pages 35-57. North-Holland, Amsterdam.

Zack, M. H. (1999). Developing a knowledge strategy. *California management review, 41*(3), 125-145.

Zarifian, P. (2001). *Le modèle de la compétence. Trajectoire historique, enjeux actuels et propositions.* Paris, Editions Liaison.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale : quelle gouvernance de l'émergence de l'expertise pour l'innovation intensive ? 11

Innovation & gouvernance de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles 12

Premières hypothèses & problématique de recherche 14

Approche méthodologique de la recherche 17

Plan & itinéraire de recherche 18

Partie I. – Innovation & gestion de l'expertise dans les organisations industrielles 25

Chapitre 1 – Innovation & expertise : entre tensions et interdépendances 27

1. L'expertise dans les organisations : frein ou moteur de l'innovation ? 30

1.1. Connaissance, compétences & innovation 30

1.2. Typologies de l'innovation basée sur les dimensions de la connaissance 32

1.3. Les limites d'un modèle de l'innovation fondées sur les connaissances 34

2. Les défis d'un capitalisme de l'innovation intensive 37

2.1. Innovation intensive & rupture de l'identité des objets 38

2.2. La conception comme capacité d'innovation 41

2.3. Les théories de la conception : exploration & structuration de l'inconnu 44

3. Régime de conception & régime d'émergence d'expertise 49

3.1. Conception réglée & conception innovante 49

3.2. Identité de l'objet en tant que produit & identité de l'objet en tant qu'expertise 52

3.3. Le concept de régimes d'émergence d'expertise 54

4. Synthèse du chapitre 1 56

Chapitre 2 – De la gestion des experts à la gouvernance de l'expertise 57

1. L'expert dans les organisations : groupes professionnels & dynamique des métiers 59

1.1. L'expert : entre logique professionnelle et logique organisationnelle 60

1.2. Le concept de métier dans les organisations 62

1.2.1. Les corporations de métiers 62

1.2.2. Le concept de métier 63

1.3. La dynamique des collectifs de métiers 64

2. Le modèle de référence de la gestion des experts : la double échelle 67

2.1. L'origine & le principe de la double échelle 67

2.2. Les limites de la double échelle 69

3. La gouvernance de l'expertise face à l'innovation intensive 72

3.1. Les enjeux de la gestion des experts & de l'expertise face l'innovation 72

3.2. Experts & innovation en rupture : mécanismes d'incitations et dispositifs organisationnels 74

3.3. Organiser le développement et le renouvellement de l'expertise : vers le concept de gouvernance de l'expertise 75

4. Synthèse du chapitre 2 78

Chapitre 3 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise : dynamique des structures d'expertise & dispositifs de gestion 79

1. Gouvernance & émergence d'expertise dans les laboratoires industriels 81

1.1. Histoire des premiers laboratoires de recherche dans les organisations industrielles 82

1.2. Formes sociales de la recherche industrielle dans les organisations 85

1.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise 88

2. Gouvernance & émergence d'expertise dans le management de projet 90

2.1. Du modèle séquentiel de management de projet à l'ingénierie concourante 92

2.2. Structure matricielle métiers/projets & apprentissage 93

2.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise 95

3. Gouvernance & émergence d'expertise dans les stratégies de plateforme technologique 97

3.1. Concept de modularité & principes de coordination 98

3.2. Plateforme technologique & écosystème 99

3.3. Un régime d'émergence d'expertise basé sur l'absorptivité des champs d'expertise 101

4. Premières hypothèses & questions de recherche 104

5. Synthèse du chapitre 3 107

Partie II. – Méthodologie de recherche & présentation du terrain de recherche 109

Chapitre 4 – Approche méthodologique & itinéraire de recherche 111

1. La recherche intervention comme cadre méthodologique général de la thèse 114

1.1. Le choix d'une démarche de recherche-intervention 114

1.2. Principes méthodologiques de la recherche-intervention 116

1.3. Recueil & analyse des données 117

2. Etapes & itinéraire de recherche 118

2.1. Révéler une anomalie de gestion : la gouvernance de l'expertise face à l'innovation intensive 118

2.2. Construction d'un modèle théorique de l'émergence de l'expertise 119

2.3. Expérimentation d'un nouveau dispositif de gestion 119

2.4. Une représentation de l'itinéraire de recherche 120

3. Schéma général du parcours de recherche 120

4. Synthèse du chapitre 4 121

Chapitre 5 – Présentation du terrain de recherche & justification du caractère extrême du cas 123

1. Présentation de l'industrie des semi-conducteurs 125

1.1. Un secteur industriel clé de l'économie mondiale 126

1.2. Typologie des acteurs industriels 129

1.3. Limites & défis de l'industrie des semi-conducteurs 130

2. Processus de développement et de fabrication des circuits intégrés 133

2.1. Les principales étapes de fabrication des produits semi-conducteurs 134

2.2. Caractéristique de la phase *« Front-end »* 135

2.3. Modèle conceptuel des moyens de fabrication 135

3. STMicroelectonics : un cas extrême pour penser la relation entre expertise & innovation ... 137

3.1. Présentation de STMicroelectronics ... 137

3.2. Le site de crolles ... 139

3.3. STMicroelectronics : une entreprise industrielle où les tensions entre expertise et innovation sont maximales ... 140

4. Synthèse du chapitre 5 ... 142

Partie III. – Mise en évidence d'une anomalie concernant les théories de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles ... 143

Chapitre 6 – Dispositifs de gestion des experts & dynamique des expertises chez STMicroelectronics ... 145

1. Gestion des experts chez STMicroelectronics ... 146

1.1. La double échelle chez STMicroelectronics ... 146

1.2. Les *Technical Advisory Committees* ... 148

1.3. La charte des experts ... 148

1.4. L'observatoire des métiers ... 149

1.5. Le réseau social d'entreprise spécialement destiné aux experts : *Technical Staff Website* ... 150

1.6. Constats concernant le modèle de gestion des experts chez STMicroelectronics ... 151

2. Des dispositifs de gestion semblables à l'ensembles des organisations industrielles ... 152

3. Analyse empirique de la gestion & de la dynamique des expertises : mise en évidence d'une anomalie ... 154

3.1. Orientation professionnelle, satisfaction & reconnaissance de l'expertise dans l'organisation ... 154

3.2. Coordination, action collective des experts & domaines d'expertise ... 156

3.3. Dynamique des expertises chez STMicroelectronics ... 163

3.4. Rôles des experts dans l'organisation & dans les processus d'innovation ... 168

4. Caractérisation de l'anomalie & principaux enseignements ... 174

5. Synthèse du chapitre 6 ... 176

Chapitre 7 – Analyse empirique des formes d'émergence de l'expertise chez STMicroelectronics ... 177

1. Analyse des formes d'émergence de l'expertise à l'aide de représentations graphiques basées sur la théorie des graphes ... 179

1.1. Structures d'expertise & théorie des graphes ... 179

1.2. Représentation graphique d'une thèse & principales opérations ... 180

2. Analyses & simulations des différents modèles d'émergence de l'expertise ... 181

2.1. Première classe de modèles : modèles basés sur la préservation des structures d'expertise 181

2.1.1. Modèle 1 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la cumulativité des champs d'expertise ... 181

2.1.2. Modèle 2 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la combinabilité des champs d'expertise ... 184

2.1.3. Modèle 3 : un modèle d'émergence de l'expertise basé l'absorptivité des champs d'expertise 186
2.1.4. Modèle 123 : combinaison des modèles 1, 2 & 3 188
2.2. Seconde classe de modèles : modèle basé sur la réorganisation des structures d'expertise. 189
2.2.1. Modèle 4 : un modèle d'émergence de l'expertise basé sur la restructuration des champs d'expertise 189
3. Analyse empirique de l'émergence d'expertise chez STMicroelectronics 191
4. Synthèse du chapitre 7 199
Partie IV. – Elaboration d'un modèle formel de l'émergence de l'expertise 201
Chapitre 8 – Modèle formel de l'émergence d'expertises dans les organisations industrielles 203
1. Pourquoi & comment modéliser ? 205
1.1. Enjeux & objectifs de la modélisation 205
1.2. Méthodologie 205
2. Un modèle formel de l'émergence d'expertise basé sur la dynamique des structures d'expertises 205
2.1. Dynamique exogène de l'émergence de l'expertise & de l'innovation : entre progrès scientifique et opportunités de marché 206
2.2. Vers une dynamique endogène de l'émergence de l'expertise & de l'innovation : structure d'expertises & relations d'interdépendance 210
2.3. Eléments de théorie des matroïdes 211
***3.* Modèle théorique de la dynamique des structures d'expertises : entre *extension* & *co-extension* 215**
3.1. Un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 218
3.2. Un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et l'extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 219
3.3. Un modèle d'émergence basé sur l'extension des structures des champs d'expertise et la co-extension des structures d'interdépendances des champs d'expertise 220
3.4. Un modèle d'émergence basé sur la co-extension des structures des champs d'expertise et des structures d'interdépendances des champs d'expertise 221
4. Régimes d'émergence d'expertise & enjeux managériaux 222
4.1. Enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur l'extension des structures d'expertise 223
4.2. Enjeux managériaux d'un régime d'émergence d'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise 227
5. Synthèse du chapitre 8 230
Chapitre 9 – Emergence & recomposition des structures d'expertise chez STMicroelectronics : le cas de l'expertise *FDSOI* et de la *photonique sur silicium* 231
1. Le FDSOI : une rupture technologique majeure pour la poursuite de la miniaturisation des circuits électroniques 232

1.1. Enjeux et motivations de la technologie FDSOI 233
1.2. Processus d'émergence de l'expertise FDSOI & réorganisation des structures d'expertise 234
1.2.1. De multiples alternatives technologiques pour la réorganisation des structures de l'expertise 234
1.2.2. Rupture technologique & structure d'interdépendance des expertises 237
1.3. Acteurs et collectifs pour organiser la réorganisation des structures d'expertise 241
2. La *photonique sur silicium :* l'émergence d'une nouvelle expertise 242
2.1. Exploration d'un champ d'innovation nouveau : optique, interconnexions & silicium 242
2.2. Une exploration organisée pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise 246
2.3. Processus d'émergence de l'expertise *photonique sur silicium* & réorganisation des structures d'expertise 248
3. Synthèse du chapitre 9 249
Partie V. – Ingénierie de la gouvernance de l'émergence de l'expertise face à l'innovation intensive : principes d'organisation & modèles de gouvernance 251
Chapitre 10 – Gouvernance de l'émergence de l'expertise basée sur la co-extension des structures d'expertise : vers le concept de société proto-épistémique d'experts 253
1. Phénoménologie des enjeux d'interdépendance de l'expertise dans la littérature en sciences de gestion 255
1.1. Le concept de pervasivité des technologies 255
1.2. Le concept de *convergence* des technologies 257
1.3. Le concept de *confluence* des technologies 257
2. Réorganisation des structures d'expertise : les limites d'une logique communautaire 258
2.1. Le paradoxe du concept de communauté 258
2.2. Communauté et société : deux idéaux-types 259
3. Des communautés épistémiques d'experts à la société proto-épistémique d'experts : organiser l'émergence d'expertises pour provoquer la déstabilisation et la révision des *dominant designs* 262
3.1. Experts & communautés de savoirs dans les organisations 262
3.2. Le concept de *société proto-épistémique d'experts* dans les organisations 263
3.3. La *société proto-épistémique d'experts* : un modèle de gouvernance pour un régime d'émergence de l'expertise basé sur la co-extension des structures d'expertise 265
4. Gouvernance de l'émergence de l'expertise & gouvernance de l'entreprise : rôle & légitimité de la *société proto-épistémique d'experts* dans la gouvernance des organisations industrielles 268
4.1. Légitimité de la *société proto-épistémique d'experts* dans la gouvernance de l'entreprise 268
4.2. Emergence d'expertise & gouvernance de l'entreprise : les proto-expertises en tant qu'inconnus communs non appropriables 270
4.3. L'émergence de *sociétés proto-épistémiques d'experts* dans les organisations industrielles : le signe d'un nouveau tournant fayolien ? 274
5. Synthèse du chapitre 10 278

Chapitre 11 – Institutionnalisation d'une nouvelle gouvernance de l'émergence de l'expertise : l'exemple du *Technical Staff College* chez STMicroelectronics 279

1. Mise en évidence & affirmation de six principes fondamentaux 281

1.1. Distinguer deux régimes d'émergence de l'expertise 281

1.2. Considérer deux rôles distincts des experts : experts ressources & experts stratèges 282

1.3. Considérer la dynamique endogène de l'émergence de l'expertise 283

1.4. Affirmer les limites du modèle de l'open innovation 284

1.5. Distinguer de nouveaux enjeux managériaux pour l'émergence de l'expertise en situation d'innovation intensive 285

1.6. Distinguer les concepts de communauté épistémique d'experts & de société proto-épistémique d'experts 285

2. Une nouvelle structure organisationnelle : le *Technical Staff College* 286

2.1. Objectifs & missions du *Technical Staff College* 287

2.2. Principes & modalités d'organisation 287

2.3. Présentation des missions des différents groupes de travail du *Technical Staff College* 289

3. Processus d'institutionnalisation du *Technical Staff College* 295

3.1. Une charte des experts qui prend en compte les enjeux de l'innovation de rupture 295

3.2. Une matrice d'évaluation centrée sur l'engagement et la participation des experts dans la *société proto-épistémique d'experts* 297

4. Synthèse du chapitre 11 299

Chapitre 12 – Exemples de projets entrepris par le *Technical Staff College* : la cas de la *méthode FMEA* & le cas de l'expertise *energy harvesting* 301

1. Renouvellement d'un dispositif de gestion de la qualité : le cas de la méthode *FMEA* 302

1.1. La méthodologie FMEA 302

1.2. Identification des limites du FMEA 304

1.3. Mise en place d'une nouvelle procédure de FMEA afin d'organiser des apprentisages pour la collaboration multidiciplinaire 305

2. Emergence d'une nouvelle expertise : le cas de l'expertise *energy harvesting* 309

2.1. Exploration d'un champ d'innovation nouveau : objet autonome & récupération d'énergie 309

2.2. Une exploration organisée pour l'émergence d'un nouveau champ d'expertise 310

2.3. Processus d'émergence de l'expertise *energy harvesting* & réorganisation des structures d'expertise 315

3. Synthèse du chapitre 12 316

Conclusion générale 317

Principaux résultats de recherche 317

Implications managériales 322

Limites du travail de recherche 323

Perspectives de recherche 324

Annexes 327

Annexe 1 – Compétence, savoir & connaissance : des concepts en question 329

1. Compétence & connaissance dans la théorie des organisations 330

1.1. La théorie béhavioriste de la firme ... 331
1.2. La théorie évolutionniste ... 332
1.3. Les compétences en management stratégique ... 333
1.4. Caractérisation & typologies des compétences et des capacités de la firme ... 336
2. Compétence & savoir dans la gestion des ressources humaines ... 340
2.1. La gestion prévisionnelle des emplois et des compétences ... 340
2.2. De *Job-Based Organizations* à *Competence-Based Organizations* ... 341
3. Dynamique des connaissances & apprentissage organisationnel ... 342
3.1. Nature & support des connaissances dans l'organisation ... 342
3.2. Gérer le *knowing* plutôt que le *knowledge* ... 343
3.3. De l'apprentissage individuel à l'apprentissage organisationnel ... 346
3.3.1. L'apprentissage organisationnel et les boucles d'apprentissage d'Argyris & Schön ... 347
3.3.2. L'apprentissage organisationnel par les routines de Levitt & March ... 349
3.3.3. L'organisation apprenante de Senge ... 349
Annexe 2 – L'empire de l'expert : théories & approches de l'expertise ... 351
1. L'expertise : entre savoir & décision ... 353
1.1. La vision classique de l'expertise ... 353
1.2. La vision relativiste de l'expertise ... 354
2. La performance individuelle de l'expert ... 355
2.1. *Expertise absolue* & *expertise relative* ... 356
2.1.1. Domaines dans lesquels les experts excellent ... 358
2.1.2. Les limites de la performance des experts ... 358
2.2. *Connaissances procédurales* & *connaissances déclaratives* ... 359
2.3. Psychologie sociale de l'expertise & typologie des experts ... 360
Annexe 3 – Histoire & principes techniques du composant de base de la microélectronique : le transistor ... 363
1. Du tube à vide au transistor ... 364
1.1. Principe de l'effet amplificateur ... 364
1.2. De l'effet Edison aux tubes électroniques ... 365
1.2.1. Les bases de l'électronique à tubes et l'invention de la diode ... 365
1.2.2. L'invention de la triode ... 367
1.3. Premières découvertes sur les semi-conducteurs ... 369
1.3.1. Quelques éléments de la physique des semi-conducteurs ... 369
1.3.2. Premiers travaux et découvertes sur les semi-conducteurs ... 372
1.3.3. Développement de la compréhension des propriétés des solides ... 373
1.3.4. Développement des propriétés de surface ... 373
1.4. Le processus de conception du transistor dans les Bell Labs ... 375
2. Principe de fonctionnement d'un transistor ... 377
2.1. La jonction PN ... 377
2.1.1. Polarisation directe ... 378
2.1.2. Polarisation inverse ... 378
2.2. Le transistor bipolaire à jonction (BJT : Bipolar Junction Transistor) ... 379

2.2.1. Etat bloqué 379
2.2.2. Etat passant 380
2.3. Le transistor à effet de champ (FET : Field Effect Transistor) 381
2.3.1. Principe de l'effet de champ 381
2.3.2. Transistor MOS et sa technologie de fabrication 382
3. Vers la fin de la miniaturisation CMOS ? 385
3.1. Principe de la réduction d'échelle 385
3.2. Les effets parasites de la miniaturisation du transistor MOS 387
3.2.1. Les effets canaux courts 387
3.2.2. Les résistances en série 388
3.2.3. Les courants de fuites de grille 388
3.2.4. La déplétion de grille 388
Annexe 4 – Questionnaire sur la gestion des experts & la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 389
1. Demographic profile of members of Technical Staff 390
2. Career orientation and career satisfaction 391
3. Expertise recognition in the organization 392
4. The dynamic of the expertise in the organization 394
5. Coordination and cooperation in the technical staff community 397
6. Members of Technical Staff in organization 399
7. Members of technical staff and innovation 405
Annexe 5 – Listes des sujets de thèses CIFRE chez STMicroelectronics de 2004 à 2015 409
Annexe 6 – From FMEA as problem solving to design-oriented process : toward a design perspective of FMEA 429
Annexe 7 – *Disruptive Innovation Exploration Application Form* 441
Annexe 8 – Analyse statistique de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 449
1. Rappels 449
2. Modèle de la dynamique des expertises selon l'hypothèse d'une dynamique d'évolution stable et lente 449
3. Modèle de la dynamique des expertises chez STMicroelectronics 451
Liste des figures 455
Liste des tableaux 459
Références 461
Table des matières 487

Résumé

Dans les industries de hautes technologies, le rythme contemporain de l'innovation se caractérise aujourd'hui par un renouvellement accéléré des produits et par une déstabilisation des *dominant designs.* Dans ce contexte d'innovation intensive, les organisations industrielles se doivent de se doter de nouvelles capacités d'innovation de rupture pour organiser l'émergence de nouvelles expertises technologiques afin de permettre la conception innovante de nouveaux produits et technologies.
Paradoxalement, les enjeux d'expertise et de conception innovante peuvent parfois sembler en opposition ou du moins en tension. L'expertise semble préserver les *dominant designs*, mais c'est aussi elle qui permet la génération d'expansion conceptuelle. Derrière cette aporie, se posent des questions cruciales sur le management contemporain de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles en situation d'innovation intensive.
A partir d'une démarche exploratoire basée sur une étude de cas longitudinale chez STMicroelectronics, cette thèse s'intéresse aux modèles de gouvernance de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles. A partir d'une analyse empirique chez STMicroelectronics, ces travaux mettent en évidence que l'émergence de nouvelles expertises s'effectue par une réorganisation et une restructuration profonde des structures d'expertise. Autrement dit, les nouveaux domaines d'expertise émergent à partir de la recomposition des relations d'interdépendance entre les domaines d'expertises existants.
Par ailleurs, ces travaux de recherche proposent un modèle formel de l'émergence de l'expertise dans les organisations industrielles. Ce modèle permet d'identifier de nouveaux enjeux managériaux et de mettre en évidence des modèles organisationnels permettant de supporter ces formes d'émergence d'expertise. De nouvelles solutions managériales sont ensuite expérimentées et analysées chez STMicroelectronics. Enfin, la thèse propose une analyse des rôles et missions des experts scientifiques dans les stratégies d'exploration et d'innovation au sein des organisations industrielles.

Mots Clés

Expertise, innovation, émergence de l'expertise, stratégie technologique, gouvernance de l'expertise, gestion des experts, management de l'innovation

Abstract

In science-based industries, the pace of innovation is characterized by accelerated renewal of products and the destabilization of dominant designs. In this context of intensive innovation, industrial organizations have to develop new breakthrough innovation capabilities to organize the emergence of new technological expertise allowing the innovative design of new products and technologies.
Paradoxically, expertise and innovation issues can sometimes seem to be in opposition or at least in tension. Expertise seems to preserve the dominant designs, but it also allows the generation of conceptual expansion. Behind this aporia, there are crucial questions about the contemporary management of the emergence of expertise in science-based organizations in a situation of intensive innovation.
From on an exploratory approach based on a longitudinal case study at STMicroelectronics, this thesis focuses on governance models for the emergence of expertise in science-based organizations. Based on an empirical analysis carried out by STMicroelectronics, this work shows that the emergence of new expertise is effected by a reorganization and a profound restructuring of the expertise structures. In other words, new areas of expertise emerge from the reconfiguration of interdependent relationships between existing areas of expertise.
Moreover, this research suggests a formal model for the emergence of expertise in science-based organizations. This model allows to identify new managerial challenges and to highlight organizational models to support these expertise emergence forms. Then, new management solutions are tested and analyzed at STMicroelectronics. Finally, the thesis analyses scientific experts' roles and missions in the innovation strategies within science-based organizations.

Keywords

Expertise, innovation, emergence of expertise, technological strategy, governance of expertise, management of experts, innovation management