



Titre: Stratégies d'innovation dans les nouvelles filières énergétiques :
Title: émergence d'innovations radicales dans un contexte conservateur

Auteur: Guillaume Pichenot
Author:

Date: 2006

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Pichenot, G. (2006). Stratégies d'innovation dans les nouvelles filières
Citation: énergétiques : émergence d'innovations radicales dans un contexte conservateur
[Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/7662/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/7662/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Roger Miller, & Geza Joos
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

STRATÉGIES D'INNOVATION
DANS LES NOUVELLES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES :
ÉMERGENCE D'INNOVATIONS RADICALES
DANS UN CONTEXTE CONSERVATEUR

GUILLAUME PICHENOT
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
JANVIER 2006



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-16833-2

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-16833-2

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

STRATÉGIES D'INNOVATION
DANS LES NOUVELLES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES :
ÉMERGENCE D'INNOVATIONS RADICALES
DANS UN CONTEXTE CONSERVATEUR

présenté par : PICHENOT Guillaume

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BLAIS Roger A., ing., Ph.D., président du Jury et Professeur émérite

M. MILLER Roger, ing., Ph.D., membre et directeur de recherche

M. JOOS Geza, ing., Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. OLLEROS Xavier, Ph.D., membre

À ma mère.

*“Si quelqu'un aime une fleur qui n'existe qu'à un exemplaire dans les
millions et les millions d'étoiles, ça suffit pour qu'il soit heureux
quand il les regarde”*

REMERCIEMENTS

Pour son auteur, ce n'est jamais rien que de mettre la touche finale à un mémoire. Et pourtant, quelle importance et quelle signification, dans cette page ! Car ce travail est le fruit de rencontres et de passions. Première rencontre, et première passion, celle du métier de Professeur, avec Roger Blais, qui m'ouvrit toutes les portes, et avec qui toutes les discussions, furent un plaisir. Puis je croisai Roger Miller, grand expert du domaine de la gestion des technologies, que je remercie pour son étonnant esprit de synthèse immédiate ainsi que ses connaissances bibliographiques illimitées, et aussi pour le temps qu'il m'aura accordé en tant que directeur de mon projet. Je n'oublie pas le professeur Xavier Olleros, à qui je dois la bonne formulation d'une grande partie de mon corps théorique, grâce à sa session d'été à l'UQAM. Et enfin, un merci à Geza Joos, si j'ose dire, Chevalier Blanc de ce travail, qui sut recadrer, rediriger et donner les nouveaux élans quand la tâche semblait m'échapper.

Et puis... et puis il y a les autres, tous les autres, qui m'ont... non pas simplement aidé dans ce travail, mais accompagné au long des années. Trop de noms peuplent mes souvenirs, mais je citerais Tarek (*c'est pas très clair, l'intelligibilité de l'histoire*), Maude (*spinning, laughing, dancing to her favourite song*), et tous les "collaborateurs" (*oh, le joli mot !*) du "Scope". Deux ans plus tôt, avec Patou, Raphous, Ju, TeO, Dédé, Kris, ToOm, Xu et les autres BdC ou Bu-roZ... merci d'avoir *trouvé mon étoile, de l'avoir suivie un instant*. Je reviens encore deux ans en arrière pour retrouver Guillaume, Jérémie, et Laure qui m'ont appris le temps. *Pauvres seraient ceux qui pourraient compter leurs biens, si le temps s'achetait...* Et pour finir, les troupes d'Hamlet et de feu les Misérables... en particulier Tatin et Alix. Et au fil des années, tous mes professeurs, pour le virus du savoir, ainsi que ma famille, toujours présente. Puis, pour l'esprit, et pour ces années montréalaises magnifiques, je citerai mes colloqs. *Nunc est bibendum*, et tout ce qui s'ensuit.

Suite à ces années de maîtrise, je serai le dernier diplômé de Supélec promo 2004, mais j'ai toujours aimé à rester dernier et voir les autres finir. *Le goût particulier des grandes solitudes.*

Et s'il n'en restait qu'un...

RÉSUMÉ

Force est de constater que l'émergence d'industries stables autour des nouvelles filières énergétiques (NFE) n'a pas encore eu lieu. L'activité y dépend aussi bien du contexte (politique, pressions, cycle technologique) que de la performance économique et technique. À cet égard, le développement des NFE doit s'étudier dans une perspective meso, regroupant industriels, scientifiques, systèmes d'innovation et acteurs financiers. C'est à ce niveau que se situe le présent travail, en s'attachant à la description de comportements d'innovation.

Son but est double : contribuer au programme MINE en caractérisant les NFE vis à vis des « courses technologiques » ; et montrer qu'un facteur déterminant dans la lenteur de l'émergence est la poursuite, selon des schémas classiques, d'innovations radicales.

Sans prétendre à une explication exhaustive, le présent mémoire nous amène à une meilleure perception des joutes d'innovation dans l'énergie, grâce à une vision bâtie autour de revues de littérature (sectorielle sur l'énergie; générale sur l'émergence) et d'entrevues auprès de dirigeants d'entreprises. Cette vision a ensuite été testée sur d'autres entreprises ayant répondu au questionnaire MINE.

Notre cadre théorique indique que le contexte incrémental d'innovation des NFE (avec ses entreprises historiques, sa logique centralisée, sa grande inertie, les montants mis en jeu, et des objectifs politiques parfois contradictoires), exacerbe les difficultés des innovateurs en rentrant en conflit avec la nature disruptive des NFE. Les innovateurs sont trop isolés, dans une problématique complexe et à grande échelle, pour enclencher une dynamique d'émergence (ouverture d'opportunités et masse critique d'activités). Cette logique provoque des comportements d'innovation particuliers : un motif original de création de valeur pour une phase d'émergence (forte importance relative du prix et de la fiabilité); une volonté d'intégration verticale des entreprises d'une solution complète, et corollairement, une démarche protectionniste de ses composantes, qui coopèrent le moins possible horizontalement; un attentisme au niveau global malgré le dynamisme technologique; et un déficit d'actions pionnières au profit de stratégies de niche à valeur prouvée.

ABSTRACT

There has never been yet any stable industry gravitating around new forms of energy (NFE). Contextual factors such as politics, lobbying and technological cycles always played more of a role than economic or technological performance. Thus, it seems inevitable to consider the NFE in a meso-level approach to innovation. This thesis is an original study of innovative behaviours of industrial NFE players given such a level of analysis.

Its goal is twofold : to contribute to the MINE program, by comparing the NFE's innovative context against that of MINE's "technology races" ; and to explain how a classical pattern of innovation hinders the birth of a dedicated industry that, we shall see, is radical, not aiming at an exhaustive understanding. Our work sheds new light on innovation in the NFE by creating a vision based on an extensive theoretical framework (with reviews on energy systems, and the birth of innovative industries) and its interpretation through semi-guided interviews with executives from various firms. That vision was finally tested using respondents to the MINE survey tool.

Our framework highlights that the NFE's incremental pattern of innovation (with its incumbents, its centralized logic, its inertia, the amount of required investments, and several colliding political aspects) exacerbates the classical issues of entrepreneurs, by conflicting with the disruptive nature of NFE. Innovators are therefore too isolated in a problematic environment whose scale and complexity hinders the creation of a true dynamics of emergence (leading to new opportunities and creating a critical mass of innovative activity).

We argue that this logic underlies the innovative behaviours observed in the NFE : an original pattern of value creation, that emphasizes quality and cost constraints, disrupting the emerging dynamics; a strong tendency for innovators to integrate vertically with architects of global solutions, and simultaneously, to protect themselves against competitors and not to participate in horizontal cooperation; a slow evolution at the global level, despite a healthy dynamism of knowledge; and a lack of pioneering initiatives, as innovators prefer to seek existing, value proven market niches.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TABLE DES MATIÈRES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES.....	xiv
LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS.....	xv
LISTE DES ANNEXES.....	xvi
INTRODUCTION : UN DEMI SIÈCLE D'ÉMERGENCE INACHEVÉE.....	1
CHAPITRE 1: OBJECTIFS ET MÉTHODES.....	2
1.1 CONTEXTE ORIGINAL DE L'ÉTUDE.....	2
1.1.1 INTÉRÊT DE LA SITUATION MACRO.....	2
1.1.2 LE PROGRAMME MINE.....	3
1.1.3 THÈMES ORIGINAUX DOMINANTS DE L'ÉTUDE.....	4
1.2 OBJECTIFS.....	5
1.2.1 CONTRIBUTION À MINE.....	5
1.2.2 INNOVATION CONSERVATRICE.....	6
1.2.3 ÉTENDUE DE LA RECHERCHE.....	6
1.3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	7

1.3.1 NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE MÉSO.....	7
1.3.2 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	9
1.4 ORGANISATION DU MÉMOIRE.....	10
CHAPITRE 2 : L'ÉMERGENCE DES INDUSTRIES.....	11
2.1 L'ÉMERGENCE, LE ROYAUME DES PIONNIERS.....	11
2.1.1 PIONNIERS ET RADICALITÉ DANS LA LITTÉRATURE.....	11
2.1.2 FACTEURS DE SUCCÈS INTERNES.....	13
2.1.2.1 L'ENTREPRENEUR ET SON ÉQUIPE.....	13
2.1.2.2 FACTEURS TECHNOLOGIQUES.....	14
2.1.3 FACTEURS DE SUCCÈS EXTERNES.....	16
2.1.3.1 RESSOURCES ET COMPÉTENCES.....	16
2.1.3.2 : MISE EN MARCHÉ.....	17
2.1.4 CONCLUSION.....	17
2.2 LE CAPITAL DE RISQUE.....	18
2.2.1 ÉGOÏSME DU VC.....	18
2.2.2 SÉLECTION DES PROJETS PAR LE VC.....	20
2.3 ÉMERGENCE VUE AU NIVEAU MÉSO.....	21
2.3.1 ACTEURS DU NIVEAU MÉSO.....	22
2.3.2 COOPÉRATION ET INNOVATION.....	24
2.3.3 INNOVATION EN JOUTES.....	25
2.3.4 LE MODÈLE DE VAN DE VEN DE NAISSANCE DES INDUSTRIES.....	26
2.4 INTERDÉPENDANCE EN PHASE D'ÉMERGENCE.....	27
2.4.1 EXEMPLE DE DÉPENDANCE.....	27
2.4.2 COMMUNAUTÉ SOCIALE.....	28
2.4.3 SYNTHÈSE INTERMÉDIAIRE : L'ÉMERGENCE, PHÉNOMÈNE ACCUMULATIF.....	29

2.5 COORDINATION ET ACTION POLITIQUE EN ÉMERGENCE.....	30
2.5.1 QUELQUES OBJECTIFS D'UNE POLITIQUE DE COORDINATION.....	31
2.5.2 EXEMPLES DE COORDINATION.....	32
2.6 LES COURSES TECHNOLOGIQUES.....	34
2.6.1 COURSES TECHNOLOGIQUES MINE.....	35
2.6.2 COURSES AU SENS CLASSIQUE.....	35
2.7 SYNTHÈSE.....	37
CHAPITRE 3 : DYNAMIQUE TECHNOLOGIQUE EN ÉNERGIE.....	39
3.1 ÉNERGIE AUJOURD'HUI ET DEMAIN.....	39
3.1.1 TECHNOLOGIES ET COÛTS POUR L'ÉNERGIE.....	39
3.1.2 SCÉNARIOS POUR LE FUTUR.....	47
3.2 LOGIQUE ÉNERGÉTIQUE ACTUELLE.....	49
3.2.1 DISCUSSION GÉNÉRALE	49
3.2.2 DESIGN DOMINANT ET EFFETS DE RÉSEAU.....	52
3.2.3 EFFETS INSTITUTIONNELS.....	56
3.3 PERCÉE DES TECHNOLOGIES NOUVELLES.....	59
3.3.1 REGAIN D'INTÉRÊT.....	59
3.3.2 TECHNOLOGIES DISRUPTIVES.....	60
3.3.3 INFLUENCE POLITIQUE.....	66
3.4 CONCLUSION.....	68
CHAPITRE 4 : ÉTUDES DE CAS.....	70
4.1 JEUNE POUSSE UNIVERSITAIRE DANS LES REFORMEURS À HYDRO- GÈNE.....	70
4.1.1 PRÉSENTATION ET ACTIVITÉ.....	70
4.1.2 PROBLÉMATIQUES DE L'ENTREPRISE.....	71

4.1.3 INTERPRÉTATION.....	72
4.2 PME PRIVÉE DANS LE CONSEIL ET OPTIMISATION DE L'ÉOLIEN...	73
4.2.1 PRÉSENTATION.....	73
4.2.2 PROBLÉMATIQUES POUR L'ÉOLIEN ET POUR L'ENTREPRISE "B".....	74
4.2.3 INTERPRÉTATION.....	76
4.3 ENTREPRISE À STRUCTURE DE CAPITAL PUBLIC SPÉCIALISÉE EN MACHINES TOURNANTES ÉLECTRIQUES.....	77
4.3.1 PRÉSENTATION.....	77
4.3.2 PROBLÉMATIQUES DE L'ENTREPRISE.....	78
4.3.3 INTERPRÉTATION.....	81
4.4 CONCLUSION ET FORMALISATION DES THÈSES.....	82
4.4.1 NFE ET COURSES TECHNOLOGIQUES.....	82
4.4.2 INNOVATION DANS UN CONTEXTE CONSERVATEUR.....	86
CHAPITRE 5 : COLLECTE DE DONNÉES.....	89
5.1 LE QUESTIONNAIRE MINE.....	89
5.2 DESCRIPTION DES RÉPONDANTS.....	92
5.2.1 ENTREPRISES TÉMOIN DANS LES FILIÈRES CLASSIQUES.....	92
5.2.1.1 L'ENTREPRISE 108.....	92
5.2.1.2 L'ENTREPRISE 105.....	93
5.2.2 RÉPONDANTS NFE.....	93
5.2.2.1 ENTREPRISE 101.....	93
5.2.2.2 ENTREPRISE 102.....	94
5.2.2.3 ENTREPRISE 103.....	94
5.2.2.4 ENTREPRISE 104.....	94
5.2.2.5 ENTREPRISE 106.....	94
5.3 TABLEAU DES RÉPONSES.....	95

5.3.1 PRÉCISIONS SUR LES TERMINOLOGIES.....	98
5.3.2 CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉCHANTILLON.....	99
5.4 OBSERVATIONS SUR LA CRÉATION DE LA VALEUR.....	99
5.4.1 DISCUSSION GÉNÉRALE SUR LA CRÉATION DE LA VALEUR.....	100
5.4.2 CONCLUSIONS ET LIMITES.....	101
5.5 OBSERVATIONS SUR L'INTÉGRATION VERTICALE.....	102
5.5.1 ÉLÉMENTS DE RÉPONSE PERTINENTS.....	102
5.5.2 INTERPRÉTATION.....	104
5.6 OBSERVATIONS SUR L'ATTENTISME DE LA JOUTE.....	106
5.6.1 RÉACTIVITÉ, ADAPTABILITÉ ET DYNAMISME DES ENTREPRISES.....	106
5.6.2 INTERPRÉTATION.....	107
5.7 OBSERVATIONS SUR LES ACTIONS PIONNIÈRES ET SUR LES STRATÉ-	
GIES DE NICHE.....	108
5.7.1 DISCUSSION SUR LES RÉSULTATS.....	108
5.7.2 CONCLUSIONS ET LIMITES.....	109
5.8 OBSERVATIONS SUR LE PROTECTIONNISME ET LA VIGUEUR DE LA	
COMMUNAUTÉ.....	110
5.8.1 RÉSULTATS.....	110
5.8.2 INTERPRÉTATION.....	111
CONCLUSION : UN CAS TOUJOURS PARTICULIER.....	113
STRATÉGIES ET COMPORTEMENTS OBSERVÉS.....	113
LOGIQUE À L'OEUVRE.....	114
OUVERTURES.....	115
BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES.....	118
ANNEXES.....	124

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3.1 : COMPARAISON DES COÛTS EN CENTS. D'EURO PAR KWH PAR FILIÈRE ET PAR SCÉNARIO.....	40
TABLEAU 3.2 : RÉPARTITION PAR POSTE DES CAPITAUX ENGAGÉS DANS DES FILIÈRES CONVENTIONNELLES.....	40
TABLEAU 3.3 : COÛTS DE PRODUCTION EN CENTIME D'EUROS PAR KWH.....	41
TABLEAU 5.1 : RÉPONSES BRUTES AU QUESTIONNAIRE MINE.....	96-98

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3.1 : PART DE MARCHÉ PAR FILIÈRE, 2003.....	42
FIGURE 3.2 : LES FILIÈRES DU RENOUVELABLE, 2003.....	43
FIGURE 3.3 : LA FILIÈRE DES COMBUSTIBLES RENOUVELABLES, 2003.....	44
FIGURE 3.4 : CROISSANCE ANNUELLE PAR SECTEUR DE 1990 À 2003.....	44
FIGURE 3.5 : PART DE MARCHÉ RÉGIONALE PAR SOURCE, 2003.....	45
FIGURE 3.6 : ÉVOLUTION DES PARTS DE MARCHÉ MONDIALES, 1973 À 2003.....	46
FIGURE 3.7 : INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE DÉMOGRAPHIQUE	47

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

IEA ou **AIE**: Agence Internationale de l'Énergie. Basée à Paris, l'IEA fournit et analyse des données sur les marchés et les technologies de l'énergie.

DOE: Department of Energy. Ministère de l'Énergie des États-Unis. Organe politique, de surveillance et d'analyse sur l'Énergie.

MINE: Acronyme pour Managing Innovation in the New Economy. Ici, ce terme pourra désigner les acteurs du groupe de recherche MINE ou les thèses qu'ils ont développées.

NFE: Nouvelles Filières Énergétiques. Par opposition aux filières conventionnelles ou classiques.

OCDE: Dans notre contexte, OCDE désignera les membres dits de l'OCDE/IEA, soit les 14 pays les plus industrialisés.

PI: Propriété Intellectuelle

PV: Photovoltaïque. Désigne la technique du solaire photovoltaïque.

R-D ou **R&D**: Recherche et développement, en tant que fonction ou en tant que département dans une structure.

TEP: Tonne équivalent pétrole. Quantité d'énergie standardisée équivalente à une tonne de pétrole.

VC: Capital de risque, ou responsable d'un fonds de capital de risque, indifféremment (on parlera respectivement du VC ou d'un VC).

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : GAMES OF INNOVATION AND THEIR DYNAMICS, R. MILLER, S. FLORICEL, 2004.....	116
ANNEXE 2 : TABLEAU DE LITTÉRATURE COMPARÉE.....	146
ANNEXE 3 : VUE SCHÉMATIQUE.....	148

INTRODUCTION : UN DEMI SIÈCLE D'ÉMERGENCE INACHEVÉE

Stricto sensu, parler de nouvelles formes énergétiques pourrait passer pour une contradiction. D'aussi loin que les moulins à vent, l'énergie éolienne a été exploitée. Le photovoltaïque (Becquerel, 1839), n'est pas neuf non plus. Et que dire des piles à combustible (dont la paternité est partagée entre Sir Humphry Davy en 1806, CF. Schoenbein en 1838, et surtout Sir William Grove en 1839) ? Toutes ces idées sont plus vieilles que le moteur à explosion, ou le réacteur nucléaire, icônes des sources d'énergie dites conventionnelles.

Plus vieilles, donc, mais toujours en état d'enfance. Jamais ces solutions ne se sont imposées : l'exploitation d'énergies fossiles s'est avérée bien plus payante. Une logique implacable a donné des résultats fabuleux : plus de combustible, pour plus de chaleur, pour plus de pression. Avec la métallurgie alors en essor, on explique les progrès considérables, tant en rendement qu'en miniaturisation et en puissance brute, de la filière fossile. À une époque où s'inventait le capitalisme et la logique industrielle centralisée, nous avons vu naître un chemin de développement technologique à trajectoire de plus en plus contrainte, *path dependent*, et un blocage.

Dans ce système, les technologies solaires, éoliennes, à biomasse, à hydrogène (en combustion ou en pile à combustible) ou encore à géothermie sont restées déclinées au futur, en hypothèses, en alternatives, mais jamais concrétisées, sauf à de rares exceptions, dans d'ambitieux projets extrêmes : la première application majeure de pile à combustible n'est-elle pas dans le programme lunaire américain ?

Malgré des dizaines de tentatives depuis 50 ans, donc, ces énergies “nouvelles”, n'ont jamais été déployées massivement, et restent en tout état de cause, plus des sujets de recherche (économiques autant que scientifiques) qu'une source d'énergie majeure.

Ce mémoire analyse les stratégies et comportements d'innovation d'entreprises du secteur (dans un contexte nord américain ou européen classique) pour mettre en perspective la dynamique actuelle, et exposer des clés de l'émergence d'industries NFE.

CHAPITRE 1 : OBJECTIFS ET MÉTHODES

1.1 Contexte original de l'étude

1.1.1 Intérêt de la situation macro

Difficile de trouver un sujet plus d'actualité que celui des sources d'énergie. Entre 2003, année de conflit armé au Moyen-Orient, et 2005 où le coût du pétrole se rapproche, à dollar constant, de celui des années 30, l'énergie fait l'actualité. On commence à parler sérieusement de *peak-oil* (pic historique de production et consommation de pétrole, avant le déclin de la source d'énergie) à horizon 2020, et ceci explique le choc de 2005 : avec une capacité de raffinage en plafonnement et si peu de temps pour amortir de nouveaux équipements massifs, les industriels hésitent à augmenter leurs capacités [Reich, 2005].

Simultanément, le réveil de la Chine, avec ses réserves quasi inépuisables de charbon (on parle de centaines d'années), des importations massives de pétrole ou des projets hydro-électriques géants, confirme l'intérêt des pays, même émergents et sans antécédents structuraux, pour les systèmes énergétiques centralisés à grande échelle, la logique occidentale actuellement en place [IEA, 2003b].

Cependant, on assiste à l'Ouest à un nombre croissant de démonstrations technologiques nouvelles (électronique grand public à piles à combustible chez Nokia et Toshiba, maisons à chauffage solaire thermodynamique ou photovoltaïque, plans gouvernementaux pour l'éolien au Québec, au Danemark ou en Allemagne, succès de véhicules hybrides comme la Prius aux États-Unis et au Japon). Tout cela indique un n-ième frémissement et un nouveau technologique de nouvelles filières d'énergie.

Ce qui n'empêche pas de constater l'absence d'offre sur le marché : qu'en est-il de la distribution, de la visibilité de ces produits ? Elles restent en déficit, et d'ailleurs, la littérature fourmille d'études de cas à grande échelle et de projections économiques en demies-teintes.

Si donc les nouvelles filières énergétiques profitent d'un regain d'intérêt certain, les mêmes contradictions du secteur se répètent, les nouvelles filières énergétiques (NFE) doivent toujours faire leurs preuves.

1.1.2 Le programme MINE

Le programme de recherche MINE (acronyme pour *Managing Innovation in the New Economy*) est né fin 1999 d'une étude commandée par l'*Industrial Research Institute* (IRI) sur les meilleures pratiques de gestion de recherche et développement (R-D).

En se basant sur des entrevues semi guidées avec des hauts dirigeants de 75 très grandes entreprises, le groupe MINE a bâti une théorie, dite des Joutes d'innovation, qui résume les points-clés mis à jour. **Dans toute la suite de ce travail, on supposera connus le vocabulaire et les thèmes-clés du groupe MINE, qui sont exposés dans [Miller et Floricel, 2004a] reproduit en Annexe 1, voir aussi [Miller et Floricel, 2004b].**

La théorie de l'innovation de MINE se situe au niveau meso, au-delà des frontières de l'entreprise, pour y inclure toutes les parties prenantes de l'innovation (support public, groupes de pression, sources de financement et de savoir, etc.), mais sa préoccupation reste bien l'entreprise et sa performance. En quelques mots, MINE prévoit que sous la pression de facteurs contextuels au niveau méso (tels que la dynamique du savoir, le pouvoir de structuration de l'industrie ou la compétence du client à mesurer et exprimer ses besoins), les entreprises adoptent des configurations distinctes et prévisibles de réseau d'innovation, appelées Joutes d'Innovation. Ces joutes, qui représentent la configuration optimale des acteurs pertinents, sont des motifs de création et capture de la valeur partagés entre tous les joueurs de la chaîne de valeur.

L'approche du groupe MINE est très généraliste, en ce sens qu'elle ne vise pas un secteur industriel en particulier, mais essaie de décrire la variété des configurations possibles en fonction des facteurs exogènes d'une industrie, quelle qu'elle soit.

En cela, le cadre théorique de MINE est particulièrement intéressant : en prenant les variables pertinentes du modèle MINE et en appliquant ce modèle à un cas industriel bien limité, il doit être possible d'analyser les comportements et le réseau d'innovation en NFE

dans une nouvelle lumière. En retour, nous pouvons éclairer le groupe MINE sur un cas particulier d'organisation industrielle.

1.1.3 Thèmes originaux dominants de l'étude

Très inspirés par la volonté d'appliquer les méthodes et les résultats, à l'époque encore très préliminaires, du groupe MINE, les objectifs de base de l'étude se voulaient proches des problématiques classiques de gestion de la technologie : l'essor de modèles dominants, la structuration des acteurs industriels, la gouvernance du réseau d'innovation, la gestion du risque, la caractérisation des innovations dans les typologies usuelles, la trajectoire technologique...

L'approche originale se voulait surtout très entrepreneuriale, avec une étude des facteurs de succès et de survie au niveau méso.

En pratique, MINE avait développé un cadre de travail si vaste en comparaison du temps et des moyens disponibles que nous ne pouvions pas nous attaquer à une étude statistique complète du secteur, ce qui nous aurait en plus exposé au risque de faire apparaître une variance trop importante des comportements des acteurs des différentes filières. Notre première étape fut donc de sélectionner de façon beaucoup plus ciblée l'étendue des variables étudiées. Cela ne pouvait être fait qu'en parcourant la littérature spécialisée en énergie, et en rencontrant divers acteurs du secteur pour identifier spécifiquement des problématiques de développement, qui deviendront les sujets d'étude.

C'est ce travail de découverte qui va venir modifier, progressivement, nos thèmes originaux pour se centrer de plus en plus sur des problématiques particulières, qui seront mises en évidence au fil des pages.

1.2 Objectifs

1.2.1 Contribution à MINE

En quelques mots, une course technologique au sens de MINE est un processus massif d’essais-erreurs sur les technologies et les modèles d’affaire, dans un contexte de fort dynamisme du savoir. Ce processus est piloté par des entrepreneurs technologiquement innovants, soumis à une forte pression de structuration : des joueurs historiques qui attendent leur heure pour rentrer dans l’arène avec leurs moyens, mais qui déjà gouvernent voire financent l’ensemble [Miller et Floricel, 2004a].

Dans ce cadre, la problématique majeure est d’identifier comment les entreprises sortent de leur enfance et traversent le “gouffre” [Moore, 1999] (création d’une vraie valeur), assurent leur survie et aident à imposer leur technologie et leur design (capture de la valeur).

Une autre problématique est alors d’observer comment les filières et les solutions se font concurrence, et d’étudier la collaboration entre acteurs d’une même filière et la compétition entre filières.

L’idée que les NFE soient engagées dans un processus similaire à une course technologique s’est surtout basée sur la rapidité du progrès technologique dans les NFE, et l’importance de la variable de performance dans l’équation de rentabilité d’une source d’énergie. Moindrement, dans le fait que la problématique des NFE est aussi de faire émerger un marché et un modèle d’affaires encore aujourd’hui quasi inexistant en raison de ces nouvelles technologies.

Dans un domaine où la performance technologique semble le facteur-clé qui pilote l’émergence, il semblait naturel de penser que les entreprises étaient engagées dans une course pour identifier en premier le couple modèle d’affaires - concept technologique qui sera rentable.

Nous ne pouvons cependant pas considérer cette intuition comme un acquis. Notre objectif sera alors dans un premier temps de confronter les observations faites dans le domaine de l’énergie aux résultats statistiques du groupe MINE dans les courses technologi-

ques. Les différences observables permettront de qualifier plus exactement le comportement de toute des NFE, et les variables pertinentes de leur contexte particulier. Surtout, nous apporterons des explications aux écarts mis en évidence entre la première intuition (les NFE sont une course) et les comportements observés, qui ne correspondent pas réellement.

1.2.2 Innovation conservatrice

Nous chercherons ensuite à montrer et observer dans les faits que les technologies NFE sont des innovations radicales (au sens de Christensen), mais qu’elles sont prisonnières d’un contexte d’innovation hautement classique et incrémental, que nous appellerons “conservateur”, car ce contexte est celui d’entreprises puissantes, déjà en place, qui protègent leurs intérêts, c’est à dire : leur modèle d’affaires, leur influence dans la chaîne, leurs sources de revenu [Christensen, 1997].

Cela correspond à montrer que les entreprises des filières conventionnelles ont un pouvoir de marché tel qu’il est presque impossible pour un entrepreneur de trouver une niche nouvelle et progressivement croissante qu’il pourrait exploiter en toute indépendance. Soit en raison de la concurrence des solutions classiques; soit en raison du pouvoir de marché des entreprises conventionnelles; soit encore parce qu’avant même tout cela, la jeunesse de sa technologie (durée de vie, coût, performance, incertitude) fait obstacle.

Un des objectifs de ce travail est de montrer des éléments allant dans ce sens.

1.2.3 Étendue de la recherche

Notre approche ne sera ni spécialisée ni différenciée par filière énergétique. On s’intéressera à des points communs entre différentes filières : biomasse, éolien, solaire, photovoltaïque et hydrogène principalement.

Le degré de maturité de ces différentes filières est très variable, ce qui offre de bons points de comparaison à différents niveaux de performance et de maturité de l’offre commerciale et technologique. Il est clair, par exemple, que la filière éolienne est presque au point, et est déployée aujourd’hui avec un modèle d’affaire très standardisé, alors qu’une

filière comme l'hydrogène se cherche entre plusieurs scénarios dont l'échelle est parfois sans commune mesure (de la combustion d'hydrogène dans un moteur à explosion à l'énergie décentralisée produite par pile à combustible), et que le photovoltaïque est partagé entre le déploiement immédiat dans des contextes avantageux (solaire dans les zones isolées de pays en développement) ou l'attente d'une révolution dans les rendements ou les méthodes de fabrication.

Ces technologies sont toutes, à différentes échelles, appelées à rentrer en concurrence entre elles d'une part, mais surtout contre les outils en place du système énergétique centralisé actuel, soit en s'y intégrant (remplacement de capacité de production conventionnelle par NFE) soit en le modifiant (énergie décentralisée). En cela, les problématiques du développement de ces énergies se ressemblent.

En restant à un niveau global, nous cherchons donc à exploiter des ressemblances contextuelles pour décrire et expliquer : des problématiques communes aux entreprises innovantes en NFE, les comportements qui y sont associés, et les obstacles à l'émergence d'industries NFE.

En revanche, notre but n'est pas d'établir ou de vérifier statistiquement un modèle global et (ou) optimal de comportement des entreprises.

1.3 Méthodologie de recherche

1.3.1 Nécessité d'une approche méso

Tiré du vocabulaire de la sociologie, le terme méso désigne l'unité d'analyse qui se situe au niveau organisationnel. Il est défini par opposition au niveau macro (analyse au niveau institutionnel et complet d'un grand système) et au niveau micro (analyse au niveau de l'individu). Le terme a glissé de la sociologie à l'économie et au vocabulaire de l'innovation, où il désigne l'unité d'analyse prenant en compte l'ensemble des joueurs liés d'un système au complet, mais qui s'intéresse spécifiquement aux effets sur les joueurs individuels.

Même une brève analyse économique et historique de l'évolution du secteur énergétique montre qu'il faut considérer son évolution à un niveau plus large que celui des entreprises qui le peuplent. À certains moments dans l'histoire (électrification de foyers de 1900 à 1930), il est quasi certain que ce sont les États et les volontés publiques qui ont bâti un pan de l'industrie énergétique, même si le tout était opérationnellement piloté par des entreprises, souvent nationalisées [Hughes, 1983]. Dans le même temps, et pour rendre aux acteurs économiques la place qui leur est due, c'est l'industrie automobile, et particulièrement Ford, qui mettait en place l'ère du pétrole, et par un effet d'écho, pas seulement dans les transports [Unruh, 2000].

Le visage de l'industrie énergétique est aujourd'hui un héritage de tous ces mouvements historiques. Dans le contexte occidental, c'est bien en tenant compte de cet héritage que les NFE doivent trouver leur marché, soit en battant les solutions actuelles pour les remplacer là où elles sont implantées, soit en cherchant d'autres portes d'accès.

D'une façon ou d'une autre, l'énergie restera un enjeu public majeur dans lequel les États garderont toujours leur mot à dire, législativement ou économiquement.

Les problématiques de sécurité énergétique et de développement durable, particulièrement, conditionnent fortement l'intervention des États en faveur : du renouvellement des sources d'énergie; du financement de la recherche (publique ou non); de la création de marchés de niche ou d'expériences pilotes de déploiement... Le tout s'opérant sous la pression de détenteurs d'enjeux (lobbys, mouvements verts, opinion publique), qui ont bien compris que les systèmes énergétiques constituent un enjeu financier énorme et incontournable de l'économie (ce qu'aucun financier ne peut laisser passer) et du cadre de vie (ce qu'aucun politicien ne peut ignorer à terme).

Entre volonté(s) politique(s), entreprises (anciens monopoles nationaux ou non), solutions conventionnelles ou nouvelles, pressions écologiques, problématiques macro économiques, aspects stratégiques pour les nations, notion de bien ou de service public, et solutions de haute technologie, l'énergie est un secteur où l'innovation ne peut que s'étudier au niveau méso, ne serait-ce que parce qu'il échappe à la logique économique ou technologique pure pour devenir un lieu où, sans doute plus qu'ailleurs, l'innovation est un processus so-

cial où chaque choix est très lourd de conséquences financières, et pour longtemps : le choix de la filière nucléaire en France, son abandon en Allemagne, le choix de l'hydroélectricité au Québec... autant de décisions tout autant politiques qu'économiques et techniques qui dessinent le paysage industriel du secteur énergétique à long terme.

1.3.2 Méthodologie de recherche

Cherchant à comparer les comportements d'innovation des entreprises à celui des courses technologiques MINE, nous nous devons dans un premier temps de bâtir un modèle théorique qui soit plus diversifié en thématiques, et plus ciblé sur les problématiques des énergies nouvelles : l'émergence. Dans un second temps, nous nous attacherons à lire ce modèle à la lumière des problématiques sectorielles observées sur le terrain.

Le corps théorique a été constitué par une revue extensive de littérature sur l'émergence des industries technologiques. En accord avec nos intuitions, cette revue se concentre sur les courants de littérature liés : à l'entrepreneurship, au capital de risque, à la survie des entreprises en milieu innovant, à la coordination et au rôle des politiques d'innovation, aux théories meso et sociales de l'innovation (dont MINE), aux courses technologiques, et à la diffusion des technologies. La revue permet de développer un modèle des acteurs et phénomènes pertinents liés à l'émergence des industries.

Pour l'insertion des problématiques sectorielles dans ce modèle, nous avons ensuite assemblé une revue de littérature sectorielle sur l'énergie : situation mondiale de l'approvisionnement et de la consommation, les technologies et leur part de marché, l'état de l'art et les perspectives d'évolution technologique, les systèmes énergétiques à grande échelle (leur logique, leur configuration, leurs contraintes d'évolution), des études d'impact des nouvelles filières et de leur implantation dans de tels systèmes, les mécanismes de blocage (*lock-in*) technologique en énergie (cas du carbone).

Cette revue théorique est enrichie des éclaircissements de plusieurs dirigeants d'entreprises dans diverses filières. Nous avons pour cela eu recours au protocole d'entrevue semi-guidée utilisé par le projet MINE.

En mettant en correspondance la littérature générale et les éléments sectoriels, nous développons un jeu d'hypothèses qui décrivent les comportements d'innovation dans les nouvelles filières énergétiques, et proposons une logique qui les explique.

Finalement, nous mettons en évidence ces comportements auprès de plusieurs nouvelles entreprises ayant répondu au questionnaire MINE sur l'innovation, comme confirmation et quantification de nos thèses.

1.4 Organisation du mémoire

C'est ce mouvement méthodologique qui sert de base à la construction du présent document.

Le chapitre 2 met en place le cadre théorique dédié au thème du management des technologies, avec une revue de littérature assectorielle sur l'émergence d'industries. Chaque sous-partie y détaille un courant de littérature et contribue ainsi à une vision globale des mécanismes et acteurs pertinents de l'émergence. Nous concluons sur les éléments fédérateurs de tous ces courants et les thèmes principaux exploitables pour la suite.

Le chapitre 3 met en place le cadre théorique dédié au thème de l'énergie (au sens large, conventionnel et NFE) par une seconde revue de littérature. Celle-ci expose les faits et technologies-clés pour comprendre la dynamique du secteur, ses forces de structuration, et le positionnement des NFE dans le problème global.

Le chapitre 4 vient compléter les observations théoriques par des comptes-rendus d'entrevues auprès de dirigeants de trois entreprises. La mise en écho des chapitres 2, 3 et 4 nous permet de formuler des hypothèses sur les comportements d'innovations dans le secteur des NFE, et de proposer une logique sous-tendant ces comportements.

Pour quantifier et évaluer la validité de nos hypothèses et de notre logique, nous procédons dans le chapitre 5 à une collecte et interprétation de données supplémentaires, à l'aide de l'instrument d'enquête MINE.

CHAPITRE 2 : L'ÉMERGENCE DES INDUSTRIES

2.1 L'émergence, le royaume des pionniers

Partir d'une technologie, réunir des ressources, percer un marché latent, entraîner des imitateurs et des structures de support pour finalement créer un système de valeur stable et viable, c'est à dire une industrie, voilà l'émergence.

Très tôt historiquement, ce phénomène s'est retrouvé étudié sous sa perspective la plus stimulante pour l'imagination, celle de l'entrepreneur, qui reste en tout état de cause, l'élément moteur et déclencheur du phénomène. Celui qui a l'idée (ou plus : la vision), qui fédère les ressources, puis en fait la preuve.

Schumpeter le premier s'est fortement penché sur l'essence de l'entrepreneuriat, bien avant la naissance du mot. Ses vues, depuis les années 30, ont inspiré tous les théoriciens de l'émergence, qui ont cherché à comprendre les facteurs de succès et d'échec de ce processus à forte mortalité d'entreprise ; à caractériser ce qui faisait le succès de l'entrepreneur en tant que personne, ou dans la situation qu'il exploite.

Toute tendance confondue, la littérature sur l'entrepreneuriat s'accorde sur un point, le succès d'un entrepreneur en industrie émergente est toujours lié à une rupture entre deux modèles.

2.1.1 Pionniers et radicalité dans la littérature

Dès ses premières études, Schumpeter définissait l'entrepreneur dans une perspective de changement radical : la très fameuse création destructrice [Schumpeter, 1936]. Dans sa logique, l'action de l'entrepreneur était de rendre obsolète un jeu de compétences généralement admis comme nécessaire, en le balayant par un nouveau jeu plus performant ou plus adapté à l'usage du marché. Dans ce processus, l'entrepreneur était lui-même l'agent (au sens sociologique), du changement, l'élément moteur, la cause [Miller et Garnsey, 2000], [Formaini, 2001]. Il résultait de son action une modification profonde de la façon dont opère une in-

dustrie pour servir un marché, jusqu'à ce qu'un nouvel entrepreneur ne vienne encore changer la donne.

On a aujourd'hui une vision plus large du processus, ayant compris que l'entrepreneur n'agit pas seul. Particulièrement, on admet que l'émergence est plutôt le fait d'une série d'entrepreneurs qui ouvrent ensemble des opportunités, dans un processus de construction accumulative, pas à pas [Mezias et Kuperman, 2001]. Certaines tentatives échouent, tandis que d'autres ouvrent de nouvelles voies, chaque fois plus prometteuses. Cela implique une certaine conscience : l'entrepreneur n'est pas toujours plus héroïque qu'il n'est chanceux, à profiter au bon moment du travail entrepris par ses prédécesseurs.

Ce processus, au-delà de la création d'un nouvel arrangement entre ressources, stratégie, et marché, et au-delà de son caractère progressif et de sa dimension coopérative, est surtout marqué par son incertitude [Low et Abrahamson, 1997].

C'est ce contexte qui caractérise l'émergence. Quand une grande entreprise investit un marché naissant, sa crédibilité et ses moyens dissipent incertitude et problèmes de financement dans le nouvel espace, et l'on n'est plus vraiment en contexte d'émergence. En revanche, on a vu souvent des grandes entreprises essayer de saisir des nouvelles opportunités, et tout comme des entrepreneurs, ne pas trouver le bon arrangement pour créer et capturer la valeur [Christensen, 1997]. Ce qui prouve qu'un phénomène d'émergence, quels que soient les joueurs qui l'animent, nécessite une rupture radicale et de nouvelles solutions.

Il importe de constater que la littérature sur l'entrepreneuriat n'est pas la seule à décliner l'émergence autour du concept de radicalité et du rôle central des pionniers.

[Abernathy et Utterback, 1978] met aussi en place la radicalité comme un motif récurrent de l'évolution des cycles de vie, voir aussi [Tushman et Rosenkopf, 1992]. Ils parlent de "discontinuités" (de processus, créatrice, destructrice) qui séparent l'ère d'amélioration incrémentale d'une génération de technologie de l'ère de fermentation de la génération suivante.

[Miller et Garnsey, 2000] suggère la nécessité pour le courant de littérature sur la diffusion de chercher de nouvelles inspirations dans l'entrepreneuriat.

Les théories écologistes insistent sur la légitimité cognitive pour expliquer le taux de natalité des entreprises en émergence [Low et Abrahamson, 1997]. Elles mettent ainsi en évidence le fait que c'est le manque de confiance et d'acceptation, et leur construction progressive, qui fondent le processus d'émergence.

Dans tous ces courants, on insiste donc bien sur la discontinuité des nouvelles industries par rapport à l'existant ; et on considère que ce sont les entrepreneurs pionniers qui réussissent à bâtir progressivement la confiance, l'intérêt, la reconnaissance, la technologie, et le modèle d'affaire, partant d'une situation où tous ces éléments manquent [Lerner, 2002].

2.1.2 Facteurs de succès internes

2.1.2.1 L'entrepreneur et son équipe

Toute une série de littérature s'essaye à analyser et prédire les succès d'initiatives entrepreneuriales à la lumière du seul entrepreneur. Il s'agit le plus souvent d'évaluer les composantes de son caractère.

Il se dégage certains traits communs entre les entrepreneurs, qui sont positivement liés au succès des entreprises : capacité d'abstraction et capacité à gérer (agir dans et malgré) l'incertitude [Bhidé, 2000], capacité entrepreneuriale (telle que définie dans [Erikson, 2002]), réseau de connaissances [Low et Abrahamson, 1997]. L'entrepreneur est un individu qui fait le lien entre deux réseaux d'intérêt faits pour se rencontrer : un possédant un problème et l'autre pouvant y apporter une solution. L'art de l'entrepreneur est d'établir le lien de façon commerciale.

Un autre courant [Blais, 1997], s'attache à la compréhension des motivations des entrepreneurs, et les relie au succès de leurs entreprises. [Blais et Toulouse, 1992] analyse en profondeur l'entrepreneurship sous forme d'études de cas de PME en reliant le type de l'entrepreneur à l'environnement techno-socio-économique, le secteur industriel, et les facteurs de succès et d'échec.

Un autre courant explore au-delà de l'entrepreneur seul : le plus souvent, celui-ci a derrière lui un contexte culturel, des expériences passées (ancien emploi, réseau de contacts), parfois un soutien industriel (spin-off)... Il peut aussi s'agir d'un "entrepreneur en série".

Entre l'entrepreneur, ses financiers et ses partenaires s'installe une certaine organisation de l'entreprise nouvelle (Conseil d'administration, comité de régie interne, Direction, collaboration interne...) qui affecte la performance.

[Markman et al., 2001] présente une série de facteurs qui contribuent au succès d'innovations: la capacité de communication et le partage des tâches, la minimisation de l'asymétrie de l'information ; le nombre et la diversité des expériences des fondateurs, la présence d'un CA fort. Inversement : l'âge des décideurs et leur implication financière dans l'entreprise diminuera les comportements innovateurs.

[Giarratana, 2004] cite la prise de risque, l'investissement en innovation et l'achat des innovations non stratégiques (au lieu de leur développement à l'interne) comme un facteur positif.

On constate dans ces littératures une remarquable concordance des conclusions, mais en même temps, leur insuffisance pour expliquer ou prédire entièrement le succès, ainsi que la très grande sensibilité au contexte culturel [Mueller et Thomas, 2001]. Il faut pour cela aller plus loin, notamment en analysant les facteurs technologiques pour les entreprises de type industriel.

2.1.2.2 Facteurs technologiques

La nature et le contexte technologique de l'innovation influencent aussi ses chances de survie et le type d'entreprise capable de la mener à bien. [Shane, 2001] montre en particulier que la portée de l'innovation, sa radicalité, et la portée de ses brevets sont trois facteurs de succès corrélés positivement à la probabilité de succès d'une nouvelle entreprise innovante.

[Blais et Toulouse, 1992] démonte pour leur part que le succès des entrepreneurs est étroitement lié à la stratégie qu'ils adoptent en fonction du secteur technologique dans lequel ils oeuvrent, soit: scientifique, technologique, commercial, ou scientifique/commercial ou encore technologique/commercial.

[Giarratana, 2004] analyse la technologie sous l'angle des marchés de niche en indiquant qu'elle est la clé pour éviter d'éventuelles barrières. Ainsi, la percée d'une entreprise sur un marché de niche est fonction en premier lieu de la technologie.

[Audretsch et Mata, 1995] insiste ici sur des points antagonistes. Il confirme que les entreprises à technologie plus avancée ont de meilleures chances de survie, mais aussi que la mortalité des entreprises est d'autant plus forte que le contexte technologique est de pointe.

En fait, deux phénomènes sont à l'oeuvre ici. Le contexte de haute technologie crée une incertitude plus importante et plus prolongée dans la phase d'émergence, ainsi qu'une sélection plus stricte des solutions jugées valables (à l'exclusion des autres). En même temps, une forte orientation technologique des entreprises leur permet réactivité et performance, ce qui leur permet de briller dans l'arène.

On assiste donc à un phénomène de sélection [Agarwal, 1996]. Plus l'entreprise a survécu, plus fortes sont ses chances de succès (l'incertitude diminuant et l'entreprise ayant donc une solution jusque là jugée porteuse). Par contre, le risque est de ne pas s'avoir s'adapter pour répondre aux "critères de sélection".

Au final, l'adaptabilité est donc la clé [Miller et Garnsey, 2000]. L'avantage technologique est nécessaire et facteur de succès à l'entrée, mais facteur d'échec à la survie si l'entreprise ne sait pas s'adapter avec l'émergence. Pour cela, la stratégie technologique est déterminante.

L'école de Porter fonde une grande partie de sa théorie sur la construction de l'avantage compétitif dans le cadre du déploiement des stratégies technologiques [Porter, 1997]. Le principe en matière de technologie est de se fonder sur ses compétences-clés pour bâtir une source d'avantages inimitables et se donner un pouvoir de marché.

En réussissant à se focaliser uniquement sur un avantage compétitif, et en éliminant le plus possible les fonctions à valeur non ajoutée, ou qui ne participent pas à l'avantage technologique et au coeur de métier, l'entreprise optimise sa structure de coûts et se valorise sur ses compétences de base. La clé est alors de savoir impartir le reste des activités.

Avec l'orientation marché [Low et Abrahamson, 1997], le développement des capacités stratégiques [Miller et Floricel, 2004b], la différenciation [Giarratana, 2004], et surtout, la minimisation des irréversibilités (investissement en capital ou en temps engageant définitivement l'entreprise dans une voie unique), nous avons là une base des qualités corrélés po-

sitivement à l'exploitation de la technologie, de façon à augmenter les chances de survie et de croissance.

2.1.3 Facteurs de succès externes

À la recherche d'une vue plus générale des facteurs de succès chez les entrepreneurs, certains courants théoriques étendent de plus en plus le point de vue. Nous sommes partis des entrepreneurs eux-mêmes, pour passer aux facteurs de succès internes à l'entreprise. Mais au-delà, le contexte dans lequel évolue l'entreprise peut aussi poser de nouvelles barrières.

2.1.3.1 Ressources et compétences

Par nature, l'entrepreneur est celui qui réunit de nouvelles ressources pour créer un acteur économique. Ces ressources sont essentiellement : le temps et l'argent [Audretsch et Mata, 1995]. Il faut aussi citer les compétences comme facteur-clé, mais elles peuvent s'acquérir par l'argent.

Le manque de temps est intrinsèque de l'entrepreneur. Dans une entreprise en naissance, le partage des tâches et des responsabilités est informel, et la concentration de l'entreprise sur son cœur de métier tend à minimiser le temps disponible et à le consacrer aux missions *perçues* comme essentielles. Le problème se complique encore, quand il faut passer du temps à chercher son financement.

Effectivement, dans un contexte d'émergence, il faut rajouter au manque de temps la difficulté à s'approprier les ressources. Le point-clé ici est l'incertitude sur la viabilité d'un marché ou d'une technologie, ainsi que sur le retour sur investissement atteint par les financiers. En l'absence de certitude, l'obtention de ressources, tant humaines que financières et matérielles est difficile.

On fait état dans la littérature de plusieurs points précis. Premièrement, la crédibilité [Audretsch, 1995] et [Low et Abrahamson, 1997]. Les entrepreneurs doivent faire la preuve de concept, puis la dépasser. À ces deux stades, la crédibilité des technologies est à créer. L'entrepreneur doit aussi le plus souvent démontrer son aptitude à gérer une entreprise.

Encore une fois, il peut soit le faire avec le temps, soit acheter la compétence auprès d'experts qui apporteront savoir et crédibilité.

Un grand nombre d'échecs d'entreprises innovantes provient d'un déficit en compétences extérieures au cœur de technologie [Bhidé, 2000]. La gestion et le financement de l'entreprise, le développement des affaires, les fonctions techniques complémentaires (distribution, production non prototype...) sont autant de processus, fonctions et compétences qui deviennent critiques le moment venu, et dont l'entreprise ne dispose souvent pas suffisamment tôt, ou parfois même, refuse d'acquérir [Oakey, 2003], [Miller et Garnsey, 2000].

Au-delà de la crédibilité et des compétences, l'entrepreneur doit aussi obtenir la reconnaissance (y compris le consensus social) autour de sa technologie [Low et Abrahamson, 1997] et [Hargadon, 2001]. Car le problème doit bien s'analyser au-delà de la technologie et du marché, mais parfois aussi au niveau institutionnel et social.

2.1.3.2 : Mise en marché

Les innovations développées sans avoir pris en compte, dès leur début, le souci de la mise en commercialisation ont une naissance bien plus complexe. Il s'agit même là d'un facteur de succès clair de réussite [Hung et Chu, 2005].

D'autre part, on sait que les problématiques de mise sur le marché, surtout sur un marché de masse, sont souvent liées au changement de culture nécessaire lors de la transition d'une entreprise de développement à une de production. La satisfaction de clients pionniers est une chose que l'entrepreneur peut savoir faire, mais les pionniers sont bien plus tolérants et prêts à payer pour les fonctionnalités que le marché de masse [Moore, 1999] : on parle même de gouffre ou de vallée de la mort. Au-delà du simple écart de compétence, il y a une culture d'entreprise à changer.

Cette transition, et même sa préparation, sont des obstacles majeurs aux entrepreneurs.

2.1.4 Conclusion

Souvent, les défis qui se posent à la survie de l'entreprise sont externes. Il faut convaincre les sources institutionnelles, les financiers, les clients, pour engager un support et un

effet d'avalanche autour de l'innovation, et ainsi la sortir de la phase d'émergence : c'est quand l'intérêt pour la technologie est manifesté par cette variété d'acteurs que l'incertitude diminue et que les capitaux arrivent plus librement.

D'autres défis se posent à l'interne : compétences, attribution des ressources. L'entrepreneur, surtout bien aidé par ses conseillers et cadres, peut ici apporter un vrai plus. Ces défis sont plus importants au départ, lors de l'entrée sur le marché, car sans une bonne gestion à l'interne, l'entreprise ne peut même pas rentrer dans l'arène. À terme, c'est à l'externe que la différence se fait.

Les entreprises les mieux armées pour ça sont dans certaines configurations [Low et Abrahamson, 1997], [Audretsch et Mata, 1995], caractéristiques de leur âge et de l'industrie où elles évoluent. La conformation à ces configurations explique la majorité de la variance de la performance des entreprises [Low et Abrahamson, 1997], [Miller et Garnsey, 2000], [Miller et Floricel, 2004b].

2.2 Le capital de risque

On considère souvent le capital de risque (*Venture Capital*, ou VC) comme moteur de l'industrie et de sa naissance. En fait, on fait erreur. Le VC n'est pas là pour faire naître des industries. Mais dans des cas exceptionnels, il arrive qu'il fasse une « erreur », où il accorde une confiance aveugle au développement d'une certaine technologie maîtresse aux répercussions immenses.

2.2.1 Égoïsme du VC

Traditionnellement, on étudie le VC avant son entrée dans l'entreprise (choix, risque, prise de décision) [Higashide et Birley, 2002] ou après (asymétrie de l'information, conflits avec l'entrepreneur) [Auken et Neeley, 2000]. Mais on étudie rarement l'action en train de se faire : comment l'entrepreneur amène à lui le VC

En particulier, on considère dans la littérature sur la sociologie de la création d'industries que le financier est attiré (rôle passif) par les bonnes occasions entrepreneuriales. Comme si

L'on pouvait penser que le capital de risque était un acquis sur lequel on peut compter. Mais en fait, c'est l'entrepreneur qui va chercher le financier. Et le VC joue par la suite un grand rôle (en plaçant ses hommes et prenant une partie du contrôle). Il est donc tout, sauf passif [von Burg et Kenney, 2000].

Le VC est quasi absent de la recherche fondamentale [Hung et Chu, 2005], [Zieder, 1998]. La raison en est simple, c'est que l'émergence industrielle et la recherche fondamentale sont des milieux trop risqués pour le capital de risque : la sélection y est trop impitoyable, pour qu'il puisse réaliser suffisamment de retour sur investissement [Larrue, 2000].

Or, toute la problématique du capital de risque est de parier sur des gagnants puissants pour payer la note encourue par les perdants. Un responsable d'un fonds, rencontré durant ces travaux nous confiait donc : "*Venture capitalists never take any chance*" (les financiers de capital de risque ne prennent jamais le moindre risque). D'où leur faible implication en pré-démarrage d'industries. Les exceptions à la règle existent, voir plusieurs exemples plus bas.

De plus, plusieurs études de cas dont [von Burg et Kenney, 2000] et [Zieder, 1998] montrent que le financier est souvent incompetent dans les domaines technologiques, et ne sait pas, en toute honnêteté, jauger le potentiel d'une innovation. Et ce n'est pas réellement une question d'incompétence pure, comme si le financier était ignorant, le problème est plus complexe : dans une industrie naissante apportant des applications nouvelles à un marché non quantifiable, comment évaluer la valeur d'une entreprise ? Il n'existe dans ce contexte aucune métrique pour le financement des entreprises, c'est au financier de la créer, sur ses propres intuitions, ce qui peut prendre du temps, ne jamais arriver, ou être irrationnel ; ce qui n'empêche pas que cela puisse se faire, et surtout, marcher, comme dans l'étude de cas de [von Burg et Kenney, 2000].

Rajoutons à cela une observation simple : l'intérêt du VC n'est pas, de façon générale, la naissance d'une industrie. Il est dans son propre profit.

Au final, nous comprenons qu'en voulant servir ses propres intérêts, le capital de risque n'est pas là pour sortir des chemins battus et tracer de nouvelles routes. Il ne le fait que sous le coup d'une intuition d'affaire, pas parce qu'il en a la mission.

On explique ainsi les tensions observées entre financier et entrepreneur technologique : ce dernier se considérant souvent porteur d'une technologie de valeur et d'un rôle social dans sa promotion. Le VC trouve ces notions contre-efficaces.

2.2.2 Sélection des projets par le VC

Nous pouvons nous convaincre de l'attitude plutôt "prudente" des financiers de capital de risque en observant les critères de sélection usuels pour un projet financé par du capital de risque.

Le premier critère de sélection, c'est l'industrie ciblée [Zieder, 1998]. En pariant sur une industrie en accélération, le VC est sûr que l'entreprise qu'il soutient va grandir. Il limite alors ses risques à la capacité de gestion de cette entreprise. Une des implications de cette politique, si l'on s'en réfère à la traditionnelle courbe en S, c'est que le moment privilégié de l'investissement est à la sortie du gouffre et non avant l'entrée.

Une autre conséquence, c'est qu'alors le deuxième critère pertinent, pour piloter une entreprise sur un domaine en accélération, c'est l'équipe dirigeante [Zieder, 1998], [von Burg et Kenney, 2000].

Cette logique de sélection n'est pourtant pas absolue. Il existe plusieurs cas où le VC investit à la naissance des industries. Il est d'ailleurs à noter que les meilleurs retours sur investissement sont faits sur les entreprises dans lesquelles le VC a investi en phase de pré-démarrage (d'une part), mais surtout, sur celles dont il vend les parts après introduction sur le marché public. Le VC est donc très tenté, pour réaliser le bon investissement qui va payer pour les moins bons, de s'attacher aux problématiques de naissance et d'accompagner longuement les entreprises, afin de leur donner toute leur chance.

Il faut aussi prendre en compte que le capital de risque est multiple [Miller et Côtée, 1987]. Les fonds d'investissement sont souvent cités, mais il existe aussi le capital de risque public, dont la mission est plus l'intérêt stratégique d'un État que la performance économique pure [Lerner, 2000], ou le capital de risque d'entreprise, qui sert des visées stratégiques à long terme de grands groupes, pour leur veille stratégique par exemple, et pour préparer des relais de croissance futurs, même à perte à l'heure actuelle.

Grâce à cette diversité de natures et de motivations, et malgré les risques élevés, le VC peut se trouver au coeur d'un processus d'émergence. Les études de cas citées (naissance de l'industrie du LAN) parlent "d'erreurs" et "d'instinct" plus que de comportement rationnel : si le financier s'était comporté comme il avait dû (due diligence, etc.), il n'aurait pas suivi. Mais certains hasards et certaines affinités entre entrepreneurs charismatiques et financiers avant-gardistes prennent le pas sur la pure logique d'investissement du VC [von Burg et Kenney, 2000].

En dehors de ces "erreurs", le VC investit aussi dans les innovations à fort potentiel. L'exemple type du moment est celui des biotechnologies, et depuis quelques temps (déjà à l'époque de [Zieder, 1998]).

Viennent ensuite les cas particuliers : innovations financées publiquement, ou par des motivations non financières. Le VC public est un moteur fréquent des émergences, entre autres parce qu'une de ses missions est le financement de recherche fondamentale, ce qui lui donne un accès privilégié aux projets les plus neufs [Lerner, 2002].

Enfin, les erreurs massives de l'industrie sont aussi des moteurs sur lesquels le capital de risque, particulièrement le capital de risque d'entreprise (corporate VC), peut s'avérer déterminant. Par un mécanisme d'imitation et de sur-investissement [Olleros, 2003], un groupe d'entreprises peut investir massivement et presque irréaliment dans des entreprises à haut risque et des marchés à valeur non prouvée (bulle spéculative de 2000). Il peut effectivement en sortir de grandes choses (Amazon, Google, Yahoo, AOL, Cisco), mais au prix d'échecs cinglants par ailleurs.

2.3 Émergence vue au niveau méso

Dans 2.1, nous avons insisté sur l'importance du contexte dans la survie des entreprises. Ici, nous allons détailler les composantes de ce contexte et de théories qui se rapportent à son évolution.

2.3.1 Acteurs du niveau méso

Nous ne reviendrons pas en détail sur le rôle primordial des entrepreneurs en émergence. Il serait par contre faux de croire que l'émergence est le seul fait des entrepreneurs : les entreprises historiquement présentes (*incumbents*) sur des marchés connexes, ou à la recherche d'opportunités de croissance, sont partie prenante d'un processus d'émergence.

Les entrepreneurs ne sont pas des créateurs sans histoire. Souvent, c'est dans leur passé et dans leurs relations qu'ils trouvent l'idée innovante [Low et Abrahamson, 1997]. [Christensen, 1997] fait d'ailleurs remarquer que les innovations radicales naissent souvent dans les laboratoires des entreprises historiques. Certaines refusent de poursuivre l'innovation, et parfois, son créateur part fonder une entreprise. D'autres fois, l'entreprise décide de poursuivre l'innovation par spin-off ou par création d'une unité d'affaire dédiée.

[Miller et Garnsey, 2000] et [Miller et Floricel, 2004b] pointent aussi le rôle de l'intrapreneurship, conduit dans les grandes entreprises, à la fois lieu de naissance et d'incubation d'innovations.

Finalement, les joueurs historiques sont aussi les éléments-clés de la sortie de l'émergence. Quand tout est suffisamment en place pour les intéresser, ils apportent crédibilité et moyens à l'industrie naissante pour engager une dynamique plus massive [von Burg et Kenney, 2000], [Miller et Garnsey, 2000], [Mezias et Kuperman, 2001]. Même s'il faut insister sur leur incapacité, le plus souvent, à créer eux-mêmes l'industrie, ils restent souvent des acteurs-clé des prémisses et de la sortie de l'émergence.

Certains auteurs vont même jusqu'à mettre en cause l'avantage des entrepreneurs dans certains contextes d'émergence, en mettant en exergue les capacités stratégiques et financières des entreprises historiques comme étant les moteurs irremplaçables de création de nouveaux espaces de valeur.

[Saloner et al., 2001] et en général l'école de Porter insistent avec raison sur les avantages des joueurs historiques. La clé est ici d'utiliser le pouvoir de marché des entreprises, et de réunir les capacités de recherche et stratégiques nécessaires à garder le contrôle sur tout le processus d'émergence. Pas seulement faire de la veille, mais être actif et en position, dans

le but de former depuis la naissance le vainqueur, ou d'être en position pour l'imiter et le battre s'il vient d'ailleurs. Par exemple, partout où la logique d'échelle prévaut, les joueurs historiques ont de réels avantages grâce à leur assise préexistante, leur taille et leurs moyens.

Il est clair à l'issue de 2.2 que le capital de risque n'est pas à considérer comme un acteur acquis, ou à l'origine du mouvement de l'émergence. Son rôle est avant tout d'ouvrir des possibilités (*enabling*).

Le capital de risque n'en est pas moins essentiel et actif dans l'arène. [Zieder, 1998], et [von Burg et Kenney, 2000], font état de ce rôle indispensable : il y a un vide dans le système de financement à risque que les banques d'affaires ne peuvent légalement combler, pour des raisons de protection de leurs clients.

D'autre part, la capacité de financement nécessaire à certaines industries en émergence est énorme (il ne sert pas de financer des initiatives isolées, il faut créer un écosystème d'entreprises complémentaires viables), et il faut donc une multitude de financiers et l'addition de leurs capacités pour ramener le risque à un niveau acceptable.

Pour toutes ces raisons, le système de capital de risque est aujourd'hui un acteur essentiel de l'émergence.

Enfin, certaines industries font intervenir plus que des intérêts économiques. Le cadre réglementaire par exemple, peut venir interférer avec une logique économique, la notion de bien public aussi, celle de service public. Il faut aussi voir les groupes d'intérêts et d'influence et leurs actions, là encore non seulement au niveau économique mais aussi politique.

On pensera, par exemple, au rôle des lobbys pétroliers, à l'influence de l'opinion publique dans les industries où l'État joue un rôle (transports, énergie, santé, éducation), aux groupes écologiques, aux organisations anti-monopole (*anti trust*), aux fondations, etc.

Les détenteurs d'enjeu arrivent au niveau du support (vision, contacts), au niveau des connaissances (recherche dans le domaine public)... mais aussi au niveau financier, où tout comme le VC, ils peuvent investir directement (mais pas pour les mêmes raisons de rende-

ment économique) et ainsi suppléer à la logique du capital de risque classique [Low et Abrahamson, 1997].

À l'inverse, ils peuvent protéger des intérêts contraires à l'émergence d'une nouvelle industrie dangereuse pour d'anciennes entreprises établies, et être des éléments d'inertie [Van de Ven, 1993], [Miller et Floricel, 2004b].

2.3.2 Coopération et innovation

Il n'est pas rare que l'innovation fasse appel à des coopérations à grande échelle. Certaines industries ont des biens communs à partager (ressources rares et chères, comme des laboratoires de pointe) [Larrue, 2000]. Parfois, il est nécessaire de partager un risque trop important entre plusieurs entreprises [Miller et Floricel, 2004b] (risque technologique) ou sources de financement [Zieder, 1998] (risque financier). Certaines innovations sont aussi trop complexes et relèvent du champ de compétence de plusieurs joueurs détenteurs d'actifs complémentaires [Van de Ven, 1993].

Il y a donc des mouvements de coopération qui doivent s'instaurer de facto dans certaines industries. C'est l'origine des forums, des consortiums et des organes de coopération industriels, fréquents par exemple en télécommunication et informatique. Dans les systèmes à grande échelle (en réseau, particulièrement), la normalisation permet de segmenter l'innovation et de la diviser entre plusieurs joueurs et groupes qui agissent au niveau modulaire.

Souvent, des joueurs centraux émergent [Mezias et Kuperman, 2001] et architecturent le tout. On assiste alors à des relais entre des inventeurs (par exemple, des entrepreneurs) qui innovent, et dont le travail est repris par de plus grands joueurs dans le cadre du réseau qu'ils pilotent.

Cette pratique est courante et logique étant donné le rôle des joueurs historiques. La veille active qu'ils opèrent et l'étendue des marchés en jeu dans les systèmes à grande échelle font que les inventeurs ont rarement les moyens de capturer la valeur, et se valorisent en cédant des licences ou en vendant leur capital.

2.3.3 Innovation en Joutes

Les joutes d'innovation constituent un sujet de recherche actuellement en cours par le programme MINE.

La théorie, définie dans [Miller et Floricel, 2004b] et définie dans l'annexe 1, est à la croisée de plusieurs visions de l'industrie : celle de Porter, de Van de Ven, ou encore de [Low et Abrahamson, 1997] par exemple. Elle se place au niveau méso, et vise à comprendre les configurations industrielles et les comportements d'innovation.

L'emphase est mise sur la création et la capture de la valeur. La théorie propose que, sous la pression des facteurs meso exogènes, il existe des configurations de joueurs et d'activités prédominantes et prospères. Ces configurations sont essentiellement des motifs de création et capture de la valeur. Plus on s'écarte de ces configurations identifiées, moins on est performant tant sur le plan économique et que celui de l'innovation.

Il s'agit donc d'un développement original, théorique et pratique, de propositions fréquentes dans la littérature, comme [Audretsch et Mata, 1995], [Van de Ven, 1993], et [Miller et Garnsey, 2000] notamment, qui proposent de même la notion : d'existence de motifs de configuration récurrents, et de prévisibilité de la performance en fonction du respect de ces configurations. MINE propose d'étendre le concept de façon sectorielle et de le vérifier par une enquête statistique.

La notion de joute est donc latente dans la littérature, elle met à jour le combat et la coopération, qui sont deux dimensions complémentaires de la stratégie d'innovation de l'entreprise. En observant et en expliquant les configurations, l'orchestration (on parle aussi de gouvernance), et les rapports de force dans les chaînes de valeur (et d'innovation), les théories méso comme MINE mettent en évidence un tissu social de l'innovation, des liens qui se créent et évoluent, et différents stades de maturité, qui expliquent le succès ou l'échec d'une joute ainsi que les responsabilités des acteurs en jeu.

2.3.4 Le modèle de Van de Ven de naissance des industries

Van de Ven résume l'émergence des industries en la mise en place de trois éléments complémentaires [Van de Ven, 1993].

Le premier de ces éléments est la construction d'arrangements institutionnels. Mettant en jeu non seulement les entreprises, mais aussi les organismes de soutien, de coopération industrielle, de financement, et les autorités publiques, ce processus collaboratif prend en charge la création d'une mécanique de légitimation sociale de l'industrie, de confiance entre entreprises, de gouvernance de la joute (autorité respective des joueurs dans le processus d'innovation), et l'édiction des standards nécessaires.

Deuxième élément, la sécurisation des ressources. Une industrie doit être capable de susciter un flux stable de capitaux, premièrement, mais elle doit aussi créer un contexte qui lui assure l'arrivée et la rétention des autres ressources nécessaires : propriété intellectuelle, main d'oeuvre qualifiée, assurances...

Troisième élément, le développement d'un jeu complet de "fonctions propriétaires", qu'on peut appeler de façon équivalente "création d'une chaîne de valeur stable", dans laquelle toutes les fonctions nécessaires sont assurées : recherche, développement, mise sur le marché, publicité, distribution et vente, support après vente, etc...

Il est fondamental de noter que ces éléments sont co-produits : par exemple, la sécurisation des ressources en capital humain se fait en général par la création d'arrangements institutionnels entre les entreprises du secteur et le milieu universitaire, par partenariats. De façon générale (mais non exclusive), on a une mécanique : les arrangements amènent des ressources qui permettent l'incorporation de fonctions propriétaires.

Le second point sur lequel insiste Van de Ven, c'est le caractère probabiliste des avancées du tissu industriel dans ce contexte. Le contexte ne s'améliore pas de façon prédéterminée, mais de façon accumulative, et les progrès ne sont pas simplement dus à des joueurs performants, mais à leur situation particulière, à un moment donné, qui leur ouvre une porte qu'ils n'auraient pas pu franchir à tout autre moment. [Low et Abrahamson, 1997] note aussi ce mécanisme.

Enfin, Van de Ven insiste sur l'incertitude liée à l'émergence, et affirme que l'incertitude est proportionnellement inverse à la mise en place du cadre.

En soi, Van de Ven résume donc l'émergence à la mise en place de son cadre, soit la création d'arrangements institutionnels, la sécurisation des ressources, l'incorporation d'un jeu de fonctions propriétaires. [Mezias et Kuperman, 2001] est un exemple d'émergence étudiée à la lumière de ce cadre.

2.4 Interdépendance en phase d'émergence

Nous avons mis en évidence dans le paragraphe précédent la variété des acteurs entrant en jeu au niveau meso, et le tissu social qu'elle formait. La dynamique de ce tissu est alors une variable-clé : quelles relations les joueurs entretiennent-ils, peuvent-ils travailler ensemble et dans quelle mesure pour renforcer ce tissu ? Il faut alors comprendre que le tissu social d'une industrie émergente est très interdépendant.

2.4.1 Exemple de dépendance

On retrouve historiquement un grand nombre d'innovations dont le fort potentiel n'a jamais été réalisé, suite à des mécanismes d'interdépendance qui ont entraîné la "joute" vers le fond.

[Olleros, 2004] montre le cas du VideoDisc, au tout début des années 80 comme exemple. Loin de la lutte classique VHS/Betamax, il existait un troisième format concurrent, le VideoDisc, qui avait à la différence des deux autres tout l'appui de l'industrie cinématographique (les moyens techniques pour copier des disques étaient inaccessibles au public, contrairement au cas de la cassette), autour d'une solution développée par tout un consortium, RCA (alors encore au sommet de sa gloire) en tête. L'industrie a elle-même créé une énorme valeur grâce à l'engagement et au soutien de toute la chaîne des créateurs et diffuseurs de contenu. En même temps, des actions en justice menées par les studios visaient à casser la valeur des solutions à cassette. Mais au final, le retard technique et l'effet d'avalanche autour des solutions VHS a mis le VideoDisc aux oubliettes. Plus intéressant encore, ils l'ont mis

aux oubliettes pour de longues années, et dans tous les usages (à la différence du Beta, qui avait survécu chez les professionnels). Le mécanisme de déchéance a touché tous les joueurs impliqués dans le consortium, et toutes les solutions de vidéo-diffusion sur disque sont restées mortes jusqu'à l'arrivée du DVD, 15 ans plus tard. La joute s'est collectivement effondrée.

Un autre exemple dans [Olleros, 2003] explique le phénomène de “bulle spéculative des télécoms” de l'année 2000. Alors que les concepts de valeur n'étaient pas prouvés, un mécanisme de sur-investissement (par imitation, et pour acquérir des positions futures ou protéger ses actuelles - phénomène expliqué par [Miller et Floricel, 2004a]) s'est mis en place autour des nouvelles entreprises du secteur, sous le financement massif d'entreprises historiques. Les niveaux disproportionnés de valorisation ont finalement abouti à une crise où la destruction de valeur économique a été massive, mettant en péril plusieurs grandes entreprises (Nortel Networks, France Telecom, et autres). Ici, c'est en s'engageant trop tôt dans des mécanismes compétitifs que l'industrie a démultiplié la population d'entreprises en valorisant sur de fausses bases les projets, ce qui a abouti à un *shakeout* massif, dont même les bons projets ont pâti.

2.4.2 Communauté sociale

La notion de communauté sociale a émergé récemment dans la littérature, surtout dans celle de l'entrepreneurship [Bygrave et Minniti, 2002], pour caractériser les effets des interactions entre les membres d'un même tissu.

L'intégration de [Van de Ven, 1993] avec les courants sur l'entrepreneurship ([Miller et Garnsey, 2000] et [Mezias et Kuperman, 2001]) permet d'insister sur le rôle des opportunités croisées dans l'émergence, ou comment les entrepreneurs de fonctions propriétaires complémentaires (production et diffusion, ou conception et services clientèle...), en agissant dans leurs fonctions respectives, créent de nouvelles opportunités et possibilités d'arrangement entre (d'autres) joueurs. Ces arrangements donnent lieu à des avancées institutionnelles ou simplement à la création de synergies sur le marché et participent au cadre de Van de Ven.

Au-delà de la mise en évidence de cette dynamique des opportunités croisées, qui constituent des moteurs de réduction d'incertitude et de création d'opportunités, une des conclusions à tirer de ce courant est que l'entrepreneurship se doit de devenir une notion plus large que celle des pionniers. En particulier, il est nécessaire pour qu'une réelle communauté dynamique émerge, d'avoir un grand nombre d'entrepreneurs-imitateurs qui viennent faire progresser ensemble une méthode d'affaires ou une plate-forme commune : cela permet de la valoriser de façon plus uniforme, et cela permet aussi aux autres fonctions propriétaires de s'y architecturer plus efficacement.

Un autre thème, relié à la notion de communauté, est celui de la collaboration. La dualité de l'innovation entre création et capture de la valeur ([Miller et Floricel, 2004b] et [Miller et Floricel, 2004a]) nous force à considérer l'émergence autrement que comme une simple compétition entre entreprises concurrentes.

[Van de Ven, 1993] et [Hung et Chu, 2005] reconnaissent également que la complexité, la complémentarité, la nature systémique de l'innovation ou encore les architectures en place forcent la diversité des parties à coopérer, entre autres, dans le but de faire gagner son propre milieu (son propre design dominant), plutôt qu'un autre. Il s'instaure donc des échanges entre joueurs, au niveau de la propriété intellectuelle ou des avancées en cours, ainsi que des visions. La clé pour tous ici est de réussir à communiquer ensemble pour favoriser le milieu, mais de garder son avantage compétitif et de préserver ses intérêts stratégiques [Hamel et al., 1989], ce qui forme deux intérêts contradictoires.

2.4.3 Synthèse intermédiaire : l'émergence, phénomène accumulatif

Il apparaît clair à tous les niveaux que l'émergence est un processus à très forte chaîne de rétroaction, c'est à dire, dont l'évolution n'est pas pilotée a priori par les conditions de base, mais est fonction des actions de chacun au moment où il les fait. "L'état suivant" de la configuration industrielle est donc fonction de l'état précédent, dans une logique de sélection *path-dependant*.

Les indices donnés jusqu'ici pour cela parlent d'eux-mêmes : le capital de risque finance les évolutions futures par la valorisation actuelle de ses effectifs [von Burg et Kenney, 2000],

l'entrepreneurship est auto-renforçant et accumulatif [Bygrave et Minniti, 2002], les grappes industrielles provoquent des effets auto-renforçants, et on a les mêmes effets au niveau institutionnel [Van de Ven, 1993] et politique [Pierson, 2000]. Pour finir, l'effet boule de neige (*bandwagon*) qui marque la fin d'un processus d'émergence par l'imitation massive et l'entrée de joueurs musclés suggère bien l'idée d'un processus accumulatif caractérisé par une forte inertie au début, des échecs et une grande incertitude, puis, passé un seuil critique, une course de plus en plus déterministe et une croissance stable.

L'accumulation d'essais et d'erreurs provoque une sélection naturelle, qui aboutit à la convergence des modèles et des critères de valorisation. Une fois qu'a émergé une notion de valeur prouvée pour un marché aux contours discernables, les financiers se trouvent en face de plus de certitude et avec une métrique normalisée de la valeur des entreprises, un design dominant émerge dans la production des entreprises, un critère commun de performance, etc.

Les implications de ce phénomène *path-dependant* sont multiples : on est en indétermination (pas seulement en incertitude : les évolutions ne sont pas linéaires, mais chaotiques, allant de la destruction complète de la valeur - le cas du VidéoDisc - au succès). La plus grande variance est tôt à la naissance (le mouvement se contraint petit à petit par dépendance et rétroaction), un mouvement de croissance bien amorcé, au-delà d'une masse critique, est irréversible (mais il en va de même pour les déclin). Finalement, dans des contextes d'émergence, seule l'action des joueurs permet de lever l'indétermination, c'est en prenant des risques que la situation évolue [Olleros, 1997] et [Olleros, 2003]. Il y a donc plus de récompense à la chance (la bonne action au bon moment) qu'au mérite technique.

2.5 Coordination et action politique en émergence

Le sujet de la coordination et de l'action politique est vaste et diffus dans la littérature. À notre connaissance, aucun modèle englobant d'actions n'a été déployé. La littérature procède plus par études de cas et suggestions sectorielles. Des facteurs communs émergent, mais pas dans un contexte clairement mesuré et transposable de façon générale. Voici une énumération non exhaustive de points-clés sur ce thème.

2.5.1 Quelques objectifs d'une politique de coordination

On retrouve de façon commune plusieurs points importants, dans la coordination en phase émergente :

- Financer et piloter la recherche fondamentale. Nous l'avons dit, le capital de risque classique est ici en défaut. Il faut, au niveau des entreprises historiques ou au niveau public ou universitaire, assurer l'existence des structures et de programmes de recherche. Il faut aussi jouer sur la complémentarité de ces institutions : un privé motivé par les perspectives immédiates de marché prouvé, un domaine public plus patient et prêt à construire sans motivation purement financière. Cette fonction est d'autant plus importante que la recherche fondamentale fournit une part importante des technologies innovatrices [Giaratana, 2004].
- Assurer et développer l'accès à des biens communs. Dans les industries nécessitant des équipements coûteux ou des ressources rares, il faut faciliter l'accès d'entrepreneurs à une base d'équipements minimale, comme des laboratoires [Hung et Chu, 2005]. Cela peut passer, par exemple, par des incubateurs. Une telle action permet aussi de partager le coût des équipements (voire des ressources humaines, comme la comptabilité ou la gestion, points faibles usuels des entrepreneurs) en mutualisant leur acquisition, permettant l'amortissement sur un grand nombre d'utilisateurs, et en réduisant ainsi le risque de leur achat [Hung et Chu, 2005], [Larrue, 2000].
- Créer un cadre optimal de 'copétition'. En émergence, le besoin de coopération est le plus grand (pour réduire l'incertitude), mais la connaissance est la seule valeur tangible de l'entreprise. L'incitation au partage des connaissances est donc nulle. Trouver l'incitatif juste entre communication, co-innovation et préservation des avantages compétitifs est un problème politique majeur, pour aider à créer des communautés dynamiques productives sur le plan économique ou technologique.
- Mettre la commercialisation comme objectif à la base. La recherche non appliquée vers la commercialisation dès ses origines aboutit à des *shakeouts* violents [Audretsch et Mata, 1995] et des naissances interminables [Hung et Chu, 2005]. Sachant qu'en plus, une règle du pouce usuelle en capital de risque indique que pour chaque dollar de recherche, quatre seront nécessaires pour la mise en marché, on voit que l'enjeu est énorme pour la survie

des entreprises. L'orientation marché est nécessaire dans tout projet ayant une visée commerciale.

- Créer le volume d'activité minimal nécessaire. Un acteur économique d'un secteur émergent ne fait rien sans ses acteurs complémentaires. Il lui faut des partenaires et des opportunités en série pour prospérer et proposer une chaîne de valeur complète. Détecter quelle fonction défaillante met en péril le secteur, et agir pour la soutenir, voilà un objectif de coordination.

D'un point de vue général, il est intéressant de constater comme ces facteurs fréquents font écho au cadre de Van de Ven (1993), dans la mise en place d'un tissu social.

2.5.2 Exemples de coordination

Les pays asiatiques sont réputés pour avoir une économie extrêmement codifiée, et une prise de décision très centralisée. Les PME industrielles japonaises, par exemple, sont vitales pour leur économie, mais agissent presque exclusivement sur commande des quelques groupes centraux. Cette concentration du pouvoir nous permet tout de même d'illustrer le comportement de systèmes industriels coordonnés de façon très précise, alors que les systèmes occidentaux sont plus individualistes, opportunistes. La portée de ces exemples est tout de même limitée dans le cas présent, surtout du fait que très peu d'industries ont été créées par des entreprises asiatiques, au niveau mondial. Elles ont plutôt créé des industries locales pour répondre à des marchés globaux existants.

Dans son étude sur la course technologique des super-ordinateurs au niveau mondial, [Khanna, 1995] arrive à distinguer une sous-course composée exclusivement d'entreprises japonaises. Il rapporte que le MITI a voulu créer une industrie japonaise dédiée (alors que les États-Unis en possédaient déjà une performante), a affecté trois entreprises à la tâche, et a conclu avec IBM des accords de démonstration technologique pour en fait importer de la technologie que les entreprises japonaises pouvaient étudier. Ensuite, il a financé des programmes conjoints de recherche entre toutes les entreprises concernées, et menacé simultanément l'ouverture et l'invasion du marché par les ordinateurs américains. Avec un objectif compétitif clair (rattraper des modèles sur le marché), un cahier des charges commun (défini par le MITI dans les projets qu'ils finançait), et grâce à une structure très verticale et effi-

cace dans ce genre de situations, [Khanna, 1995] observe que le groupe japonais a su créer une industrie plus performante et plus innovante que celle des États-Unis, malgré le retard.

Dans un autre domaine, [Hung et Chu, 2005], dans son étude sur l'industrie des semi-conducteurs à Taïwan, évoque le rôle du gouvernement dans le financement de biens communs et le regroupement géographique et stratégique des entrepreneurs du secteur comme facteur-clé de l'émergence d'une industrie locale.

[Ahman, 2005], dans son étude sur l'évolution des projets de véhicule électrique au Japon depuis les années 70 montre comment le MITI a su coopérer avec l'industrie sur la question du véhicule tout électrique, puis de l'hybride. Avec des projets originaux et des délais très contraints, le MITI a poussé les entreprises à se lancer dans des projets de tout électrique. Comme leurs homologues du reste du monde, les industriels ont buté sur les questions de batterie et de performance. Après plusieurs ré-évaluations, le MITI a revu ses objectifs en fonction des dires des industriels, et a mis sur pied un programme transitoire de recherche sur la voiture hybride au début des années 1990. Il en est sorti, entre autres, la Prius, première preuve de concept arrivée sur le marché dans le domaine. Preuve que le système japonais n'est pas entièrement piloté par la verticalité et une hiérarchie stricte, mais bien par l'interaction et les réorientations des acteurs en fonction de leurs capacités.

Nous l'avons dit, les exemples asiatiques sont particuliers, car souvent, ils sont le résultat d'organismes de contrôle à fort pouvoir et très centralisé qui procèdent plus par imitation et invasion de marchés extérieurs existants, que par création d'industries nouvelles. On trouve aussi de la coordination spontanée dans les industries naissantes.

[Mezias et Kuperman, 2001] dans l'industrie du film en montre un exemple réussi. Même dans une industrie, à l'époque très peu technologique et à faible rythme d'évolution (naissance du cinéma), la coopération entre les législateurs (droits de propriété et de diffusion) et les industriels (studios, propriétaires de théâtre, centrales d'achat, systèmes de projection...), sans oublier les agents des artistes, écrivains regroupés en guildes, etc., a permis progressivement la mise en place d'un système complet. Historiquement, des entrepreneurs isolés cherchent des opportunités. Un projectionniste cherche un théâtre pour montrer son film. En phase intermédiaire, des centrales d'achat proposent des banques de films à une

industrie des salles de projection, qui crée des programmes consultables à l'avance. Le public devient alors habitué et s'instaure une rétroaction des goûts du public, qui vient influencer les créateurs de films (naissance du phénomène de vedettes). Au final, un design dominant, de studios dominant la chaîne de valeur, finançant des projets de tournage, assurant leur promotion, et distribuant (dans leur pays respectif) les films dans des chaînes qu'ils contrôlent, ou par des accords dans des chaînes de cinéma internationales.

Un exemple moins brillant est donné dans [Larrue, 2000] dans le cas de la création d'un véhicule sans émission en Californie. Dans une problématique très similaire à celle de [Ahman, 2005] au Japon, le gouvernement californien a voulu mettre sur le marché un véhicule tout électrique. Le manque de flexibilité a ici été tel que les objectifs ont été totalement abandonnés.

Autre point-clé de [Larrue, 2000], la coopération mise en place par le gouvernement californien a mis en jeu exclusivement des acteurs historiques du marché de l'automobile, qui n'avaient que peu d'intérêt dans un véhicule de ce type, et qui ne partageaient qu'une même vision de l'automobile. Un tel groupement d'intérêt, même piloté par une volonté politique, ne peut pas être aussi innovant qu'une industrie d'entrepreneurs aidés dans leur tâche.

2.6 Les courses technologiques

Si nous avons insisté sur le caractère aléatoire de la récompense des vainqueurs (être là au bon moment), il ne faut pas oublier que tout au long de l'émergence arrivent des joueurs qui proposent des modèles d'affaire et des technologies de plus en plus adaptées à leur marché : c'est un processus d'ajustement de la valeur. Ces propositions successives, qui sont aussi basées sur un processus d'imitation du modèle le plus performant, font penser à une course, où chacun prend pour cible la position et les compétences d'un joueur meilleur, pour à son tour le dépasser. Il y a aussi la possibilité que quelqu'un arrive dans la course avec un modèle complètement neuf, et dépasse tout le monde. Voilà pourquoi il est intéressant de se pencher sur le concept de course.

2.6.1 Courses technologiques MINE

Il s'agit ici de faire le point sur les parties importantes de [Miller et Floricel, 2004a] et [Miller et Floricel, 2004b].

Les courses technologiques au sens MINE sont une configuration industrielle où les parties s'engagent dans un processus de recherche d'une solution technologique et d'un modèle d'affaires liés et viables, le plus souvent par essais-erreurs (sélection par la survie des entreprises et leur évolution). Dans cette configuration, le plus important est de réussir à apporter la fonctionnalité nouvelle à des clients pionniers, malgré des défauts de jeunesse. La valeur est créée essentiellement par la capacité de mettre en production la propriété intellectuelle, cette dimension étant bien plus importante que la fiabilité et le prix.

Le contexte des courses technologiques MINE s'installe sous un fort dynamisme de savoir, une forte logique de structuration (liée à la présence d'intérêts financiers et d'entreprises de grande taille intéressées par des relais de croissance, et qui financent, observent et finalement s'engagent dans l'arène) et une expertise de la clientèle relativement moyenne. Ce contexte mène le plus souvent à un réseau d'innovation décentralisé, avec une multitude d'acteurs qui agissent de façon indépendante, gouvernés par des détenteurs de capital, ou des entreprises de grande taille ayant des vues à long terme et attendant leur heure, ou bien encore des autorités publiques.

La course est remportée quand la joute s'accorde sur un critère commun de création et capture de la valeur. Comme dans toute innovation, ce n'est pas tellement la solution qui est importante, que le consensus autour de la solution.

2.6.2 Courses au sens classique

Plus généralement, les courses technologiques peuvent avoir lieu surtout dans des marchés déjà installés. Les super-calculateurs sont une course technologique. Ici, il n'y a pas de ligne d'arrivée, mais une course perpétuelle à la performance - ou plus récemment, à la consommation, à la miniaturisation, au coût de maintenance et de transition, à l'extensibilité.

Il y a aussi les courses au brevet, qui sont des courses avec ligne d'arrivée (l'obtention du brevet, de l'accréditation FDA dans le pharmaceutique, etc.). Ici, la rapidité de mise sur le marché (*time-to-market*) est la valeur cruciale à scruter, le secret des positions dans la course est capital pour protéger son innovation.

Dans un cas comme dans l'autre, on met une différence fondamentale avec l'émergence des industries : l'existence d'objectifs (le marché, ou la ligne d'arrivée), qui restent des concepts flous dans l'industrie émergente.

On définit, dans la littérature de course ([Khanna, 1995] et [Gottinger, 2002]), la position des participants par la notion de frontière. Généralement, la frontière est mesurée en termes de performance. On définit aussi des lignes d'arrivée.

La variable fondamentale des courses, c'est le rendement financier lié à sa position dans la course. Combien cela rapporte-t-il d'être en tête, et combien cela coûte-t-il de ne pas l'être ?

En fonction de cela, on distingue des courses de 'rattrapage' (si être en tête apporte peu, alors chacun peut travailler à dépasser l'autre) ou des courses de 'prise d'avantage décisif' (si être en tête apporte un tel gain que celui qui prend la tête peut ne jamais être rattrapé). Il y a aussi des courses plus intermédiaires, où, au lieu de coller au participant de tête, les participants peuvent prendre un grand retard pour préparer un bond majeur (*leap frog*), et retrouver la tête par un progrès radical.

En plus de ce comportement, on remarque que les courses font souvent intervenir des sous-courses : dans le même secteur, certains joueurs courent en groupe, stables dans le temps. Le fait que ces groupes soient stables et viables dans des positions plus ou moins performantes est troublant et conduit la littérature à la notion d'accumulation de connaissances dans la course : on ne peut acquérir de compétences que sur la base de ce qu'on connaît déjà, c'est pourquoi les groupes évoluent à des vitesses et à des niveaux de performance différents.

Enfin, les sous-courses définissent les concurrents directs d'une entreprise (les participants de la même sous course). On remarque alors que le déterminant fondamental du

comportement d'un coureur, c'est l'anticipation de la performance des coureurs qui lui sont immédiatement proches.

2.7 Synthèse

Nous avons mis en perspective un grand nombre de points fréquents dans la littérature, pour présenter les acteurs et phénomènes majeurs du phénomène d'émergence. Une vision appliquée de ce phénomène sera présentée en chapitre 4, quand nous aurons mis en place, dans ce cadre, la problématique de l'énergie.

Pour offrir au lecteur une vue synthétique à laquelle il peut se référer, nous avons regroupé en Annexe 2 les points abordés ici en un tableau.

Notre revue de littérature nous amène à conclure en quatre points majeurs :

- L'entrepreneuriat et l'émergence d'industries sont souvent décrits comme des phénomènes accumulatifs. Il peut donc s'avérer utile de considérer comme variable la masse critique d'activité (et le temps nécessaire à l'atteindre), capable de mettre en place un tissu social auto-suffisant (au sens de Van de Ven). Une fois cette masse critique atteinte, les choses évolueraient d'elles-mêmes.

- On constate fréquemment qu'il existe des configurations optimales (au niveau interne des entreprises, ou de toute l'industrie) à chaque étape, et ce, en fonction du contexte. En contexte d'émergence particulièrement, on note l'importance des mécanismes non formalisés de façon générale (confiance en l'entrepreneur pour le financement, hiérarchisation peu établie des entreprises innovantes, contrats sans garantie ou compensation...) : l'absence de ressources en est la cause. L'entrepreneur en émergence est moins un gestionnaire financier qu'un agent social de changement dans une approche originale du marché, le plus souvent en redéfinissant les problèmes historiques et en apportant une classe de solutions nouvelles. Pour pallier à la faiblesse des marchés, il faut emprunter des voies secondaires: les anges, les structures de soutien à but non économique, des investisseurs visionnaires ou passionnés, ou l'apport de fonctionnalités nouvelles.

- Le pouvoir de séduction de l'entrepreneur peut être mis à mal. Dans des problématiques méso, où des entreprises géantes sont de plus en plus fortes et les barrières de plus en plus hautes, il devient plus difficile de sécuriser ses ressources pour permettre l'émergence. Si l'on s'en réfère à la masse critique entrepreneuriale capable de créer une industrie nouvelle, il ne faut pas négliger l'impact des outils institutionnels pour sécuriser l'enfance des entreprises, ou provoquer plus d'implication de la part des joueurs historiques (financiers ou industriels), à condition qu'ils ne soit pas trop protecteurs de leurs intérêts.

- C'est l'objectif des politiques de coordination. Cependant, l'étendue exacte qui doit être donnée à ces politiques est difficile à cerner. Par exemple, sur le rapport qui doit être suivi entre aide à des innovateurs indépendants, et incitation des joueurs historiques à se lancer dans un secteur, ce qui fabrique un contexte social de naissance à partir de joueurs non pas sélectionnés par le processus de création lui-même, mais artificiellement. Rien ne prouve qu'ils aient les capacités (culture, adaptabilité, technologie...) requises pour jouer un jeu nouveau, celui d'une nouvelle industrie. De même, le temps sur lequel doivent s'étendre ces politiques, leur accessibilité réelle à tous les innovateurs, le choix entre une action publique complémentaire du privé (qui explore les voies lointaines ou laissées de côté), ou conjointe (qui explore plus en profondeur les options suivies par les industriels, pour les aider directement), autant de sujets difficiles d'accès.

C'est avec ces variables et ces questions en tête que nous allons exposer une problématique des NFE.

CHAPITRE 3 : DYNAMIQUE TECHNOLOGIQUE EN ÉNERGIE

Quel est l'avantage des filières énergétiques conventionnelles ? Est-il intrinsèque ? Le contexte actuel permet-il le changement ? Comment la suprématie des filières classiques s'est-elle installée ? Comment parvenir à la concurrencer et par où commencer ? Quelle est la position concurrentielle des NFE contre les filières classiques, y a-t-il des zones où l'on pourrait développer les NFE à l'abri de la concurrence des filières classiques ?

Cette section passe en revue et commente une grande quantité de la littérature sur les problématiques énergétiques et de management de la technologie.

3.1 Énergie aujourd'hui et demain

Notre but est ici de donner une vue globale au lecteur, en présentant brièvement les chiffres et scénarios-clés du système énergétique actuel.

3.1.1 Technologies et coûts pour l'énergie

Commençons par les coûts de production de l'électricité. Ils sont extraits de [Martin-Amouroux, 2003], selon les modes de calcul normalisés de l'AIE, et cohérents avec [Feretic et Tomsic, 2005].

Ces prix représentent la prévision en 2003 du coût total d'une centrale mise en service en 2005 (capital, amortissement, externalités - sauf santé et environnement, combustible...) ramené à l'ensemble des kWh produits dans sa durée de vie. Le taux d'actualisation sert à intégrer les paramètres économiques (inflation) dans le calcul. Les coûts originaux sont en centimes d'euro, pour les besoins de comparaison, nous les indiquons au taux US\$ de fin 2005. Enfin, les prix sont calculés en fonction de trois fourchettes de prix différentes pour le combustible.

Tableau 3.1 : Comparaison des coûts en cents. d'euro par kWh par filière et par scénario

Taux d'actualisation	Prix des combustibles	Nucléaire c€ (cUS\$) / kWh	Charbon c€ (cUS\$) / kWh	Gaz c€ (cUS\$) / kWh
5%	Haut		3,5 (4,19)	4,14 (4,96)
	Moyen	3,06 (3,66)	3,29 (3,94)	3,57 (4,27)
	Bas		3,1 (3,71)	2,97 (3,56)
10%	Haut		4,39 (5,25)	4,5 (5,39)
	Moyen	4,49 (5,37)	4,18 (5,0)	3,96 (4,74)
	Bas		3,99 (4,78)	3,3 (3,95)

Tableau 3.2 : Répartition des capitaux engagés dans des filières conventionnelles (%)

Postes	Nucléaire	Charbon	Gaz
Investissement	50 % à 60 %	31 % à 46 %	16% à 25%
Combustible	29 % à 22%	46% à 37%	65 % à 73 %
Autres	18 % à 21 %	17 % à 23 %	10 % à 11 %

Ces chiffres tiennent compte de plusieurs scénarios possibles quant à la disponibilité des ressources. La structure des coûts dans la filière classique est intéressante car elle permet de voir jusqu'à quel point le nucléaire est rentable vis à vis des énergies fossiles. Dans tous les cas, ces chiffres sont à comparer avec ceux pour les autres filières énergétiques donnés ci-après : les fourchettes sont larges car les sites d'exploitation de ces technologies influent grandement sur leur efficacité. Dans certains cas, les perspectives futures de coûts ne sont pas indiquées car les technologies sont susceptibles de gagner un ordre de grandeur en rentabilité, mais cela n'est que théorique.

Tableau 3.3 : Coûts de production en centime d'euros par kWh

Filière	Coûts actuels (c€/kWh)	Coûts futurs (c€/kWh)
Grande hydraulique	2-5	2-5
Géothermie conventionnelle	2-10	1-10
Petite hydraulique	3-10	2-7
Eolien	5-13	3-10
Biomasse conventionnelle	5-15	4-10
Biomasse gazéifiée + TGCC	8-11	?
Marémotrice	8-15	8-15
Energie des vagues	8-20	?
Piles à combustibles PAFC	10-20	?
Solaire thermodynamique	12-18	4-10
Géothermie roches sèches	12-20	
Solaire photovoltaïque	25-125	5-25

Nous tenons à insister sur le caractère relatif et non absolu de ces chiffres : les externalités sont difficiles à évaluer, et les technologies comme le nucléaire sont difficilement chiffrables (quel est le vrai coût du retraitement, de la recherche ?). Par exemple, Amory Lovins déclare dans [Lambert, 2004] :

“New nuclear energy costs twice as much per delivered kilowatt-hour as wind power, five to 10 times as much as coproducing electricity and heat from natural gas in buildings and factories, three to 30 times as much as electric end-use efficiency.”

La différence entre les coûts présentés plus haut et évalués ici est énorme. Ceci dit, nous avons considéré les chiffres les plus consensuels, sans oublier que Amory Lovins est un fervent partisan de l'hydrogène. À l'inverse, James Lovelock, affirme qu'il faut aujourd'hui massivement recourir au nucléaire, sans attendre, pour ne pas laisser les dérives écologiques

actuelles s'étendre et devenir irrémédiables, en attendant de meilleures technologies plus propres.

"We have no time to experiment with visionary energy sources; civilisation is in imminent danger." [Lovelock, 2004]

Nous sommes donc très loin d'un consensus sur les questions énergétiques. Pour se faire une meilleure idée du contexte, une description rapide des technologies et de leurs parts de marché et de leurs évolutions s'impose.

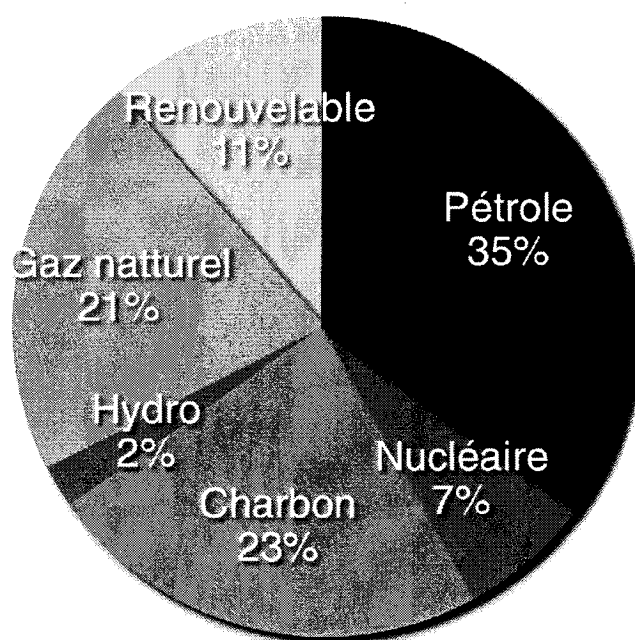


Figure 3.1 : Part de marché par filière, 2003

Les données et interprétations sont issues du *Department of Energy* des États-Unis - [USDoE, 2003], et le l'Agence Internationale pour l'Énergie – [IEA, 2003a], [IEA, 2003b], [IEA, 2004].

Pour l'énergie en général (pas seulement électrique), le monde en 2001 s'approvisionne à plus de 75% en énergie fossile (Fig 3.1). Cette consommation se fait majoritairement en pétrole, puis à part égale entre charbon et gaz naturel. Il importe de constater que la filière

nucléaire n'arrive au final qu'à offrir 7% de la demande, ce qui est assez peu, étant donnée l'idée préconçue du nucléaire comme solution à la dépendance fossile. L'hydroélectricité est fortement limitée par ses pré-requis naturels. Les sources renouvelables cumulent une somme impressionnante de 11,4%, mais il faut comprendre ce qui se cache derrière ce chiffre impressionnant.

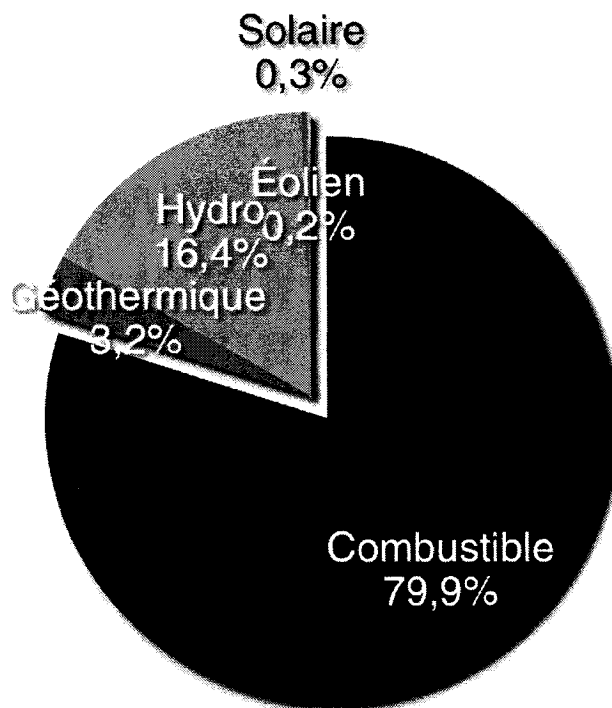


Figure 3.2 : Les filières du renouvelable, 2003

Ici, ce sont les sources « non propres » du renouvelable qui sont mises en jeu. Le vocabulaire renouvelable désigne toutes les sources d'énergie qui n'impliquent pas l'utilisation de ressources limitées, mais renouvelées, comme les forêts brûlées, par exemple. Ainsi, c'est essentiellement dans les pays pauvres que la filière renouvelable réalise l'essentiel de l'apport énergétique, par l'ensemble des techniques de solution de types incinération, combustion de bois ou, dans les pays riches, de déchets ménagers, etc. (Fig 3.2 et 3.3).

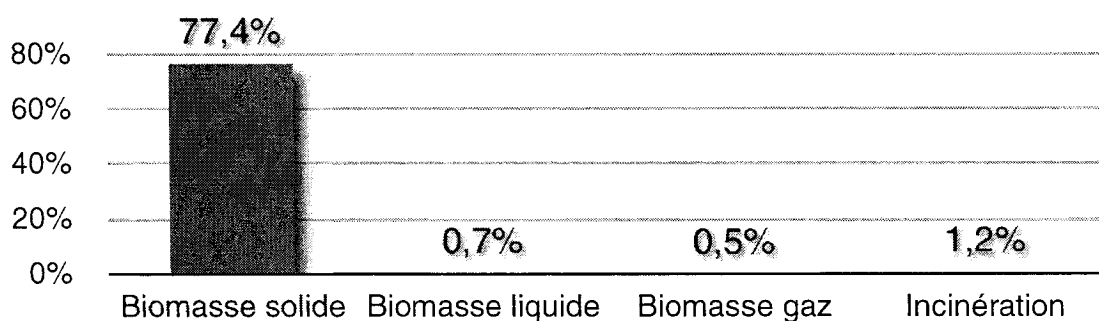


Figure 3.3 : La filière des combustibles renouvelables, 2003

Par ailleurs, les filières à biomasse sont encore tout à fait négligeables. Le solaire et l'éolien sont en démarrage et en forte croissance (Fig. 3.4), même si ces sources sont encore limitées (d'autant plus que seuls les pays riches les exploitent).

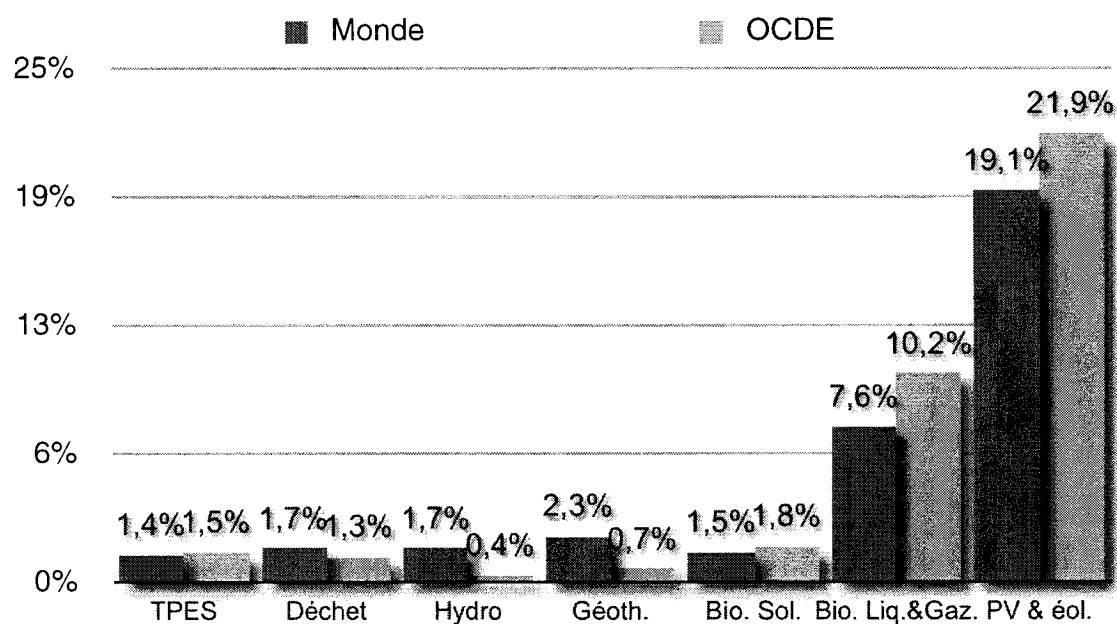


Figure 3.4 : Croissance annuelle par source de 1990 à 2003

À ce rythme, ces sources ne prendront un pourcentage notable de la demande mondiale qu'à échéance d'une dizaine d'années. Le géothermique a une large part de marché, grâce à

sa facilité de mise en œuvre et aux équipements de pays comme l'Islande ou la Nouvelle-Zélande (ou de régions à configuration similaire) qui présentent des sources à ciel ouvert ou très faciles d'accès. L'hydroélectrique est en complète stagnation, son potentiel est saturé.

Afin de bien évaluer les croissances, il faut aussi comparer avec la croissance de la demande, présentée dans la colonne TPES (Total Primary Energy Supply, demande globale en sources primaires d'énergie).

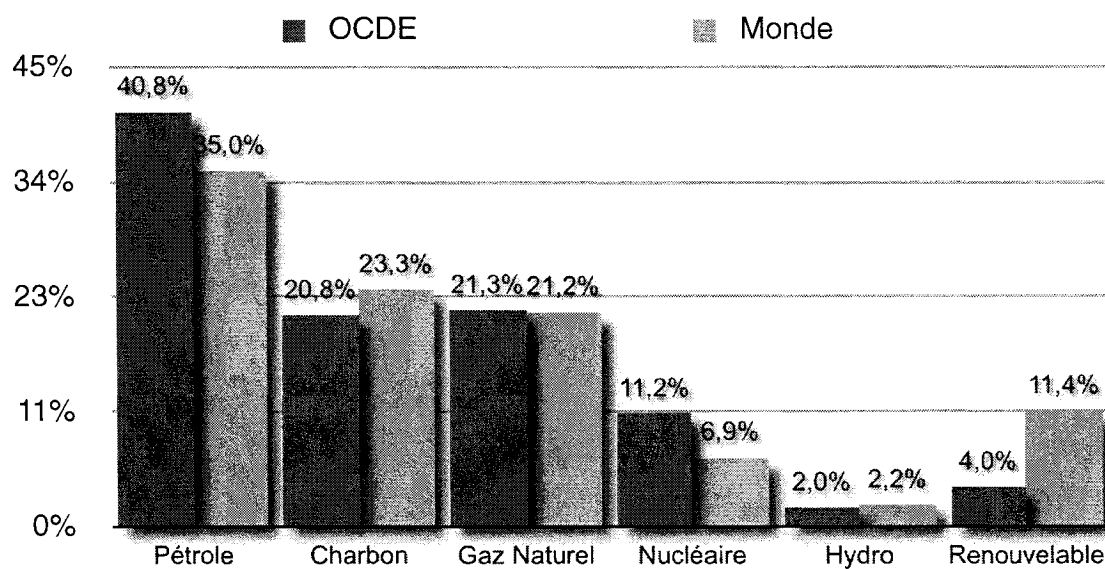


Figure 3.5 : Part de marché régionale par source, 2003

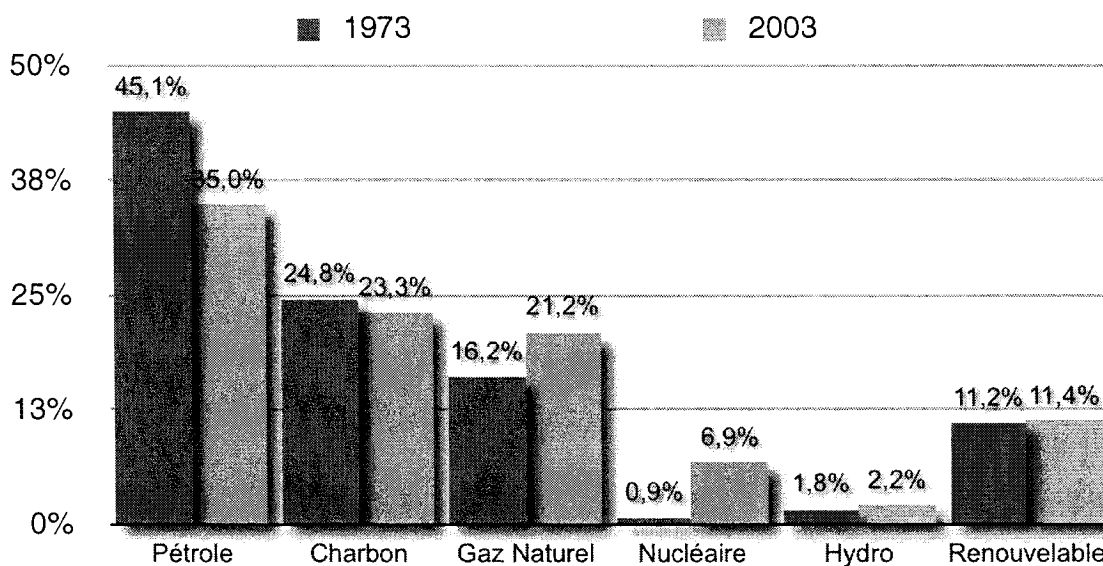


Figure 3.6 : Évolution des parts de marché mondiales, 1973 à 2003

Au niveau macro, il est intéressant de constater le maintien de toutes les filières historiques de l'énergie, depuis le charbon au nucléaire. La décroissance du pétrole est liée aux crises pétrolières et à la montée du nucléaire et du gaz principalement, mais le pétrole est resté intouchable dans toute l'industrie du transport, ce qui explique que s'il est de moins en moins utilisé pour la génération d'électricité, il reste source majoritaire. Malgré la forte croissance des sources énergétiques nouvelles, sur les 30 dernières années, leur impact global est neutre, du fait de la montée de la demande en filières classiques dans les pays émergents, qui sont plus fortes que l'augmentation de l'offre renouvelable dans les pays riches.

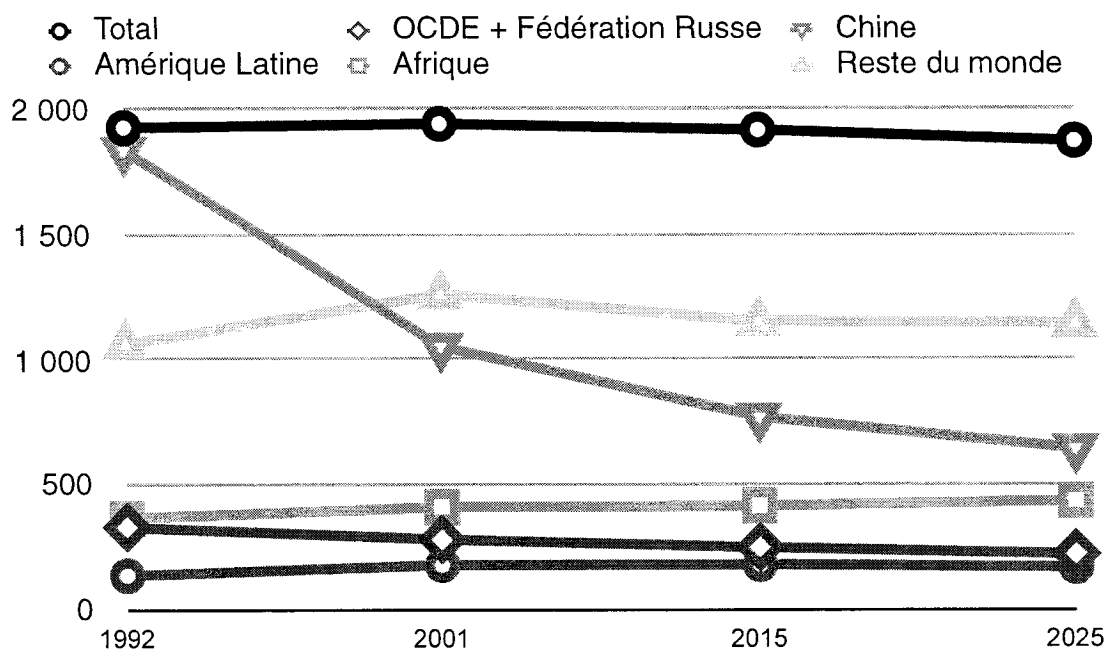


Figure 3.7 : Intensité énergétique démographique, MTEP/k\$/habitant

À long terme, on constate que l'OCDE et l'Amérique latine disposent des technologies les plus adaptées à un développement moins consommateur, tandis que l'Asie et l'Afrique auront un énorme besoin énergétique pour alimenter la croissance du niveau de vie de leurs habitants. Si 300 millions de TEP sont nécessaires à l'augmentation du niveau de vie de 1000 \$ (US\$ 1997) par habitant dans l'OCDE, plus de 2 milliards de TEP sont nécessaires en Chine aujourd'hui.

3.1.2 Scénarios pour le futur

[IEA, 2003b] et le [USDoE, 2003] ne laissent pas de doute sur l'équipement futur de la majorité des pays émergents en technologies fossiles pour la grande majorité de leurs besoins. Il est clair que l'essentiel de la hausse mondiale de la demande se fera par le charbon, disponible en immenses quantités dans tous les pays du monde, en Chine et en Afrique surtout.

Il s'agirait donc, dans les régions à haute densité de population, de recourir au même modèle que celui que nous connaissons actuellement dans nos pays : de grandes centrales puissantes reliées en réseau à des consommateurs, que ce soit en combustible (dépôts et raffineries, réseau de tuyaux, camions ou pompes pour approvisionnement de réservoirs domestiques) ou en électricité (centrales, réseaux, transformateurs, compteurs électriques).

En revanche, les problématiques sont largement différentes dans les pays développés et épisodiquement dans certaines régions du monde, notamment dans les régions faiblement peuplées, ainsi que dans les pays où les réseaux de distribution sont inexistantes. La validité et l'efficacité de la logique de production électrique par centrale (ou par importation centralisée, raffinage, distribution par pipeline de pétrole) sont remises en doute en l'absence de réseaux pré-développés. D'autre part, en Afrique notamment, les besoins immédiats se résument à très peu (pompes à eau), et des solutions comme le photovoltaïque sont extrêmement appropriées.

Un scénario typique de développement des NFE est aussi celui de l'économie de l'hydrogène. Pour une vision globale (positive et négative), voir [Cherry, 2004]. Cette avenue consiste en la production massive d'hydrogène pour subvenir à la majorité des besoins énergétiques. La production pourrait être décentralisée (électrolyse d'eau à domicile) ou centralisée et distribuée à grande échelle. La conversion du convoyeur d'énergie H₂ en énergie se ferait directement, dans les voitures ou les foyers, à l'intérieur de piles à combustible. Ce scénario offre des perspectives immenses. Il offre aussi l'avantage d'arriver à des solutions sans émissions carboniques, en totale indépendance énergétique de l'étranger, entre autres. En revanche, des défis technologiques majeurs restent à relever dans ce secteur, dont le stockage et la production propre de l'hydrogène, ainsi que des défis structurels tout aussi décisifs (infrastructures de distribution). Cela, avant même d'entrer dans les problématiques de mise sur le marché, standardisation, sécurisation, éducation du consommateur et des installateurs, ajustement des puissances électriques sur le réseau...

Il existe aussi quantité de scénarios en dehors des technologies de l'hydrogène, où s'affrontent technologies centralisées et décentralisées. Aussi faut-il nous intéresser aux barrières qui s'opposent au changement dans les problématiques énergétiques.

3.2 Logique énergétique actuelle

3.2.1 Discussion générale

Si l'on considère les chiffres dans l'absolu, les méthodes actuelles de production de l'énergie ne sont pas extrêmement efficaces. Par exemple, la puissance mécanique fournie par un moteur à essence n'est que 30% de la puissance fournie par l'explosion, le reste se perdant en chaleur et frottements mécaniques. À titre de comparaison, un moteur pour véhicule électrique est efficace à 85 voire 95 %. De même, dans la production électrique, à partir de la puissance théorique fournie par un combustible fossile, entre ce qui n'est pas converti en électricité (environ 50 % avec les cycles combinés des dernières générations de centrales), ce qui est perdu dans le transport (encore 10 %) et en transformation, on se retrouve en moyenne aux États-Unis avec une efficacité de l'ordre de 25 à 33 %. [Lambert, 2004], [Martin, 1996], [Unruh, 2000].

Par contre, en puissance disponible, les NFE sont généralement moins performantes : le rendement ne pallie guère aux faiblesses des “combustibles” (densité de l'hydrogène, vent...). Et d'autres problèmes se soulèvent, comme le poids accru et l'encombrement de ces mécanismes.

Dans la production électrique, les méthodes solaires ou la génération électrique décentralisée (un générateur par foyer, solaire ou pile...) posent aussi quantité de problèmes: installation de la base d'équipement, sécurisation et contrôle centralisé du réseau (difficulté d'en couper l'alimentation pour des interventions), entretien des dispositifs par les clients, distribution du combustible, etc. Si donc les rendements ne semblent pas dans l'absolu assez bons dans les filières conventionnelles, en revanche :

- Elles posent très peu d'inconvénients structurels pour leur utilisation. Tous les éléments sont déjà en place. L'extension des capacités de production peut se faire dans la continuité. Les risques inhérents à leur utilisation sont quasi nuls et l'entretien est assuré par des spécialistes (centrales électriques) ou des clients éduqués et responsables (automobiles).

- Elles pallient leur faible rendement par une très forte capacité énergétique volumique et massique avec peu de contraintes. L'hydrogène est un meilleur convoyeur d'énergie à masse ou quantité égale, mais pose d'énormes problèmes d'extraction et de stockage. À l'inverse, le gaz et le pétrole offrent une très grande quantité d'énergie en bien moins d'espace et à plus faible pression.

- Elles demeurent encore disponibles en quantité et à des prix de revient moins élevés par unité de puissance installée (voir coûts présentés dans le paragraphe 3.1.1).

Ces avantages des filières classiques ne sont pas tous intrinsèques, certains sont acquis. Il s'agit du résultat de plusieurs dizaines d'années d'améliorations dans les procédés d'exploitation, processus qui garde un potentiel d'amélioration encore énorme.

Les centrales électriques, à gaz ou nucléaire, peuvent fonctionner 70 à 85% du temps, ce que le solaire ou l'éolien ne peuvent clairement fournir. La puissance des centrales à énergie fossile est contrôlable, ajustable en temps réel, alors que les nouvelles filières - comme le nucléaire d'ailleurs - n'offrent pas cette souplesse. Si les piles à combustible offrent tous ces avantages (continuité du service, ajustabilité), en revanche on est encore loin de pouvoir réaliser et alimenter des piles d'une puissance équivalente à celle des centrales, sans parler de leur durée de vie. Il en est de même pour les utilisations mobiles, où c'est le rapport entre puissance, autonomie, volume occupé et masse qui joue en faveur des solutions à essence.

La problématique est donc très multiple. Pour être plus précis, [Reddy et Painuly, 2004] indiquent que pour le déploiement du PV en Inde, les industriels pensent que les barrières sont prioritairement d'ordre technologique (performance, incertitude et fiabilité, coûts liés à la formation et la transition). Pour les particuliers, l'accès à l'information et l'éducation aux technologies est le frein principal. Les décideurs politiques voient la question financière comme étant la clé. Tous reconnaissent l'ensemble de ces barrières, mais les priorités sont vues différemment.

Dans tous les systèmes énergétiques, les solutions techniques sont d'une grande complexité. La palette des compétences techniques à maîtriser en énergie est énorme. Surtout, la tolérance à la panne est pour ainsi dire nulle. L'énergie est vitale à l'activité, ne se remplace

ni vite, ni facilement, elle se distingue en ce sens des “commodités”. Ainsi, en plus de la redondance nécessaire à la fiabilité, les fournisseurs d’énergie à grande échelle se doivent de disposer de sources massives d’énergie, mais en même temps doivent être capables d’ajuster l’offre et la demande sur le réseau pour maintenir un courant standard. Il est très peu probable que des solutions NFE puissent répondre parfaitement à ces besoins particuliers à l’heure actuelle, compte tenu de la performance des filières classiques. Si elles pouvaient répondre aux besoins des acteurs à grande échelle, on y aurait déjà recours : selon [WEForum, 2003], l’optimisation de la gestion du parc pourrait amener à réduire les investissements en nouvelles capacités de production de l’ordre de 80 milliards \$US, par année, et réduire les émissions de CO₂ d’un milliard de tonnes. Ces améliorations d’exploitation représentent selon leurs estimations 75% du potentiel d’amélioration, les 25% restants étant liés au renouvellement des équipements et aux améliorations technologiques sur le parc. Si les NFE étaient la solution, elles seraient déployées.

Nous soulignons en section 3.1.1 la **non compétitivité des solutions NFE en termes de coût**. Ici, nous venons de voir que **leur déploiement pose d’autres difficultés**. Elles sont souvent, au final, **moins performantes** selon certains critères importants, comme les **rapports poids - volume / puissance**, ou plus simplement la **puissance intrinsèque disponible** en sortie. D’autre part, leur **hétérogénéité avec les solutions actuelles** (les centrales tournent à très haute puissance, alors que les NFE fonctionnent à faible puissance) ne facilite guère leur intégration dans un tissu de solutions préexistant. Certaines filières, comme celle à hydrogène, présentent les **inconvénients systémiques du déploiement** de réseaux et d’actifs complémentaires. Le solaire ou l’éolien auraient aussi besoin de plus de **momentum**, d’une plus grande **reconnaissance du public**, d’un **appui gouvernemental** solide, ainsi que l’**acquisition de compétences de plus de vendeurs** pour finalement pouvoir se répandre.

En plus de ces problématiques, la **durée de vie** des équipements énergétiques (30 à 50 ans pour des équipements de type raffinerie ou centrale électrique, 10 à 15 ans pour une automobile, et plus de 20 ans pour une installation de chauffage) ne favorisent guère l’introduction de nouvelles technologies énergétiques. On est en face d’un dilemme de puissance : il est difficile d’exploiter efficacement dans le système une source de faible puissance (typi-

quement, NFE), alors qu'il est aussi très risqué financièrement et technologiquement de déployer les NFE dans les fortes puissances (avec des investissements élevés et des amortissements étalés sur des dizaines d'années). Il en est de même pour les coûts de transition en jeu dans tout cela. Rentrons plus en détail maintenant dans ces problématiques pour expliquer les forces de résistance au changement.

3.2.2 Design dominant et effets de réseau

[Abernathy et Utterback, 1978] proposent le concept de design dominant, comme étant le design d'un produit qui, en atteignant une masse critique en part de marché pour un besoin donné, provoque l'alignement du design de toutes les autres solutions sur ce premier design, qui devient dominant.

Ce concept fondamental est omniprésent en énergie et a de profondes conséquences. L'ampoule électrique est un design dominant, le véhicule à explosion de même, la chaudière au gaz, et ainsi de suite. La manifestation de l'omniprésence du design dominant en énergie peut se faire par la constatation suivante: le besoin des clients n'est jamais un besoin en énergie, mais en source ou convoyeur d'énergie. **L'énergie n'est pas ce qu'on veut, elle est ce dont on a besoin.** Il y a des besoins en chaleur, en moyen de locomotion, en éclairage. **Le besoin en énergie se fait au travers des outils qui répondent à ces besoins premiers.** Et donc, au travers des designs dominants que prennent les outils. S'il existait encore des lampes à pétrole et d'autres électriques, nous aurions des besoins en pétrole ou en électricité. Mais la dominance de l'ampoule électrique depuis le début a remplacé, dans l'éclairage, notre besoin en énergie quelconque par un besoin spécifique en électricité.

La problématique de l'essence pour les véhicules est la même, l'alignement sur le moteur à explosion ayant modifié notre besoin en énergie en un besoin en essence. Il faut bien noter que ce n'est pas en raison spécifiquement de la supériorité du moteur à essence sur les autres. Au contraire, en 1905, les performances des véhicules électriques étaient supérieures. Le design du moteur à explosion a gagné suite à des choix stratégiques comme celui de la production de masse (Henry Ford), et à des phénomènes contextuels qui ont provoqué le lock-in (prix du combustible, etc.) [Cowan et Hulten, 1996].

L'importance des designs dominants augmente quand on prend en compte l'ensemble des actifs complémentaires nécessaires aux produits énergétiques. Quelle que soit la solution retenue, un véhicule a besoin de combustible. Même un véhicule à fission nucléaire (purement hypothétique, mais avec une autonomie de milliers de kilomètres) aurait besoin d'une filière spécialisée dans son entretien, dans le traitement des déchets, dans l'approvisionnement initial, etc. Les coûts de mise en place de ces structures sont des atouts-clés à l'actif des solutions déployées et au passif des solutions encore à l'étude. De même, l'électrification des habitations en 110V AC 60Hz est un incontournable pour toute méthode de production électrique future ou actuelle, à moins d'engager encore une fois d'énormes frais dans la transition vers un autre système, sans compter sa promotion et la formation des clients. Le standard du 110V AC est d'ailleurs lui aussi un design dominant qui a « triomphé » des autres [Hughes, 1983].

Les designs dominants ne se comprennent pas en dehors de la notion de rendements croissants, et particulièrement d'effets de réseau (*network externalities*) et de leur déclinaison en effets de complémentarité et de compatibilité notamment. Par exemple, [Arthur, 1989] a montré comment un design même sub-optimal peut s'imposer grâce à ces facteurs stratégiques, à un conditionnement historique (*path dependancy*) et au bon timing.

[Arthur, 1994] définit les quatre types de rendements croissants comme: a) les économies d'échelle, et b) d'apprentissage, c) l'éducation progressive du client (diminution d'incertitude et augmentation de la pérennité d'une technologie) et d) les effets de réseau. Il entend par "effet de réseau" les effets selon lesquels une technologie ou un réseau de partenaires prennent de la valeur avec l'adoption de la technologie. Un exemple typique est le téléphone. Dans l'automobile, on voit que plus les moteurs sont à essence, plus il y a d'intérêt, pour un fabricant de voitures, de moteurs, ou de pneus à concevoir ses produits pour une voiture à essence. Ce mécanisme « d'intérêt croissant » à imiter la solution la plus choisie constitue une forme de *lock-in* technologique. Clairement, l'alignement de l'industrie automobile sur un seul design s'est avéré bénéfique pour tous, étant donné la complexité, l'incertitude technologique et le réseau des métiers nécessaires à la fabrication d'un véhicule.

[Unruh, 2000] reconnaît dans le secteur de l'énergie, comme premier effet de réseau, les forces de structuration. Par exemple, la mise au point de normes, de standards, et de relations d'approvisionnement : le mode de production centralisé s'est instauré après la bataille AC/DC évoquée plus haut [Hughes, 1983], essentiellement en raison des contraintes plus faibles de production de courant AC. Le standard d'alimentation domestique a été fixé à 110V AC. Aujourd'hui, donc, toute source d'énergie électrique doit pouvoir s'aligner sur ce standard. Cela impose pour les NFE, par exemple, des appareillages complémentaires pour les panneaux solaires, pour onduler le courant continu à la sortie du panneau et le fixer à cette norme. De même pour le transport du courant, il faut certaines normes, d'où les transformateurs massifs à la sortie des fermes éoliennes, et leur déconnexion tant que la puissance fournie ne permet pas de redresser le courant selon la norme en vigueur, etc. De même, dans la perspective d'une génération de courant distribuée (et non centralisée), la redistribution du courant excédentaire au réseau pose des problèmes de transformation et de puissance minimale, auxquels s'ajoutent les problèmes de sécurité.

Pourquoi ces problèmes ? **Le design dominant AC a apporté avec lui tout le dimensionnement du réseau de production et de transport d'électricité.** Cela force les technologies soit à s'insérer dans cette logique, ce qui coûte en compétitivité et augmente la complexité de leur déploiement, soit à créer une infrastructure qui leur est propre, ce qui exige de nouveaux investissements.

Dans le cas des énergies fossiles, le problème est d'une autre nature, plus brutale. Le courant est transformable, même si les pertes sont inévitables. En revanche, un moteur à essence n'acceptera jamais autre chose que de l'essence. Il en est de même d'une centrale à charbon, etc. Il n'est pas question ici d'alimenter autrement les générateurs (pas seulement électriques mais aussi les chaudières à gaz, par exemple) car il n'est pas possible de transformer la source d'énergie pour la faire convenir aux besoins de la technologie. Le même principe s'applique à une pile à combustible qui a besoin d'hydrogène.

Dans un cas comme dans l'autre, **la source d'énergie est conditionnée par un contexte qui va de la matière première à l'outil de consommation en passant par le convoyeur.** Cette chaîne n'est que rarement flexible, et les équipements qui sont déjà présents

ont une inertie persistante. Souvent, changer de source équivaut à changer complètement l'équipement, ce qui est coûteux et long. C'est d'autant plus vrai si ce changement doit s'accompagner de la création d'un réseau de distribution (stations pour faire le plein d'hydrogène), ce qui implique une action au niveau global pour rendre une nouvelle source d'énergie utilisable dans les faits. **La compatibilité impose donc une forte résistance à l'adoption de nouvelles formes d'énergie.**

Un deuxième effet de réseau est celui de la complémentarité, qui intervient particulièrement dans la filière électrique. La pièce maîtresse ici est le **réseau de distribution**. L'accès au réseau est surtout important dans la mesure où il constitue l'étape sans laquelle aucune solution n'est rentable ou complète à l'heure actuelle. L'équipement de foyers en panneaux solaires ou en turbines éoliennes doit être couplé à un accès réseau, sans quoi le client ne dispose pas d'alimentation 24 heures sur 24 et risque de gâcher une grande partie de sa production (et de sa valeur) sous forme de surplus pendant qu'il n'est pas chez lui ou qu'il ne consomme pas toute la puissance disponible. La complémentarité, nous l'avons déjà souligné, passe justement par la complémentarité entre les différentes sources électriques pour s'ajuster à la bonne puissance. **N'importe quelle technologie, à elle seule, n'est pas capable de répondre efficacement à un besoin électrique.**

Par complémentarité, on entend aussi l'ensemble des activités nécessaires au bon fonctionnement d'une technologie. Ainsi, pour l'hydrogène, il y a la production, le transport, le stockage, en plus de la conversion de l'énergie dans une pile. Pour le pétrole ou la gaz, c'est la prospection, le forage, l'exploitation, la distribution, le raffinage. **Plus il y a d'actifs complémentaires à déployer, plus il est difficile d'introduire une nouvelle solution.** Les filières classiques ont l'avantage d'avoir déjà bénéficié des investissements nécessaires. Le défi se pose donc pour les nouvelles sources.

Comme l'indiquent [Unruh, 2000] ainsi que [Farrel et Saloner, 1986], les standards, la complémentarité et la compatibilité sont des phénomènes qui unissent plusieurs industries entre elles, de sorte qu'une solution nouvelle requiert un mouvement collectif de tous les partenaires liés. Le risque inhérent à l'apport sur le marché d'une seule de ces technologies (typiquement, une pile à combustible) est déjà grand. Imposer une pile à combustible dans

une voiture, un téléphone portable, etc. n'est pas commercialement évident, et c'est même risqué, d'autant plus que plusieurs technologies de piles s'affrontent entre elles. En plus de l'industriel qui mettrait cette pile sur le marché, les fabricants de combustible doivent alors eux aussi mettre sur le marché de quoi alimenter la pile : là encore, on encourt des risques marketing et technologiques sur le packaging, la création du réseau de distribution, etc. Avec l'étendue du réseau de compétences, c'est non seulement l'inertie de tout le système qui augmente et la nécessité de coordonner tous les joueurs, mais aussi la probabilité d'échec d'une solution innovante: plusieurs secteurs différents (piles, combustible, distribution...) doivent chacun réussir l'introduction d'innovations compatibles entre elles pour que la solution finale soit productive.

3.2.3 Effets institutionnels

[Pierson, 2000] affirme que les **institutions politiques sont aussi des agents déterminants qui augmentent la logique de rendements croissants** pour plusieurs raisons, notamment un comportement d'imitation (le pouvoir politique a tendance à imiter les comportements majoritaires), la difficulté de la perception des conséquences de ses choix (qui rend les erreurs longues à rectifier), la concentration du pouvoir entre ceux qui cherchent à le garder (et donc à entretenir un système en place). Ces considérations sont importantes, surtout en considérant que les systèmes politiques et technologiques sont de plus en plus imbriqués et interdépendants (systèmes nationaux d'innovation, support public à la recherche, rôle des universités...)

Dans le domaine énergétique, cela est d'autant plus vrai que le secteur commence à peine sa transition vers un marché concurrentiel, et non plus monopolistique, plus spécifiquement en ce qui concerne l'énergie électrique. La longue période de régulation laisse un héritage très puissant derrière elle, qui impose encore un peu plus les filières classiques sur leurs assises.

On doit considérer par exemple l'investissement en R-D, ainsi que l'infrastructure d'un pays. Il en est ainsi de l'engagement de la France dans le nucléaire. Cet engagement a fortement irrigué en capitaux et savoirs la filière, sans doute au détriment des autres - la filière des piles à combustible en France était très poussée en 1960 et 1970, mais la technologie a

été abandonnée à cette époque, car à trop longue échéance, face à l'urgence du choc pétrolier. Une conséquence claire de ce choix est l'appropriation des fonds de recherche dans la filière nucléaire, dont le retraitement des déchets de telles centrales, ce pourquoi la France dispose à La Hague d'une des rares usines pour le retraitement de déchets nucléaires et, par voie de conséquence, une recherche moins intense pour les technologies pétrolières ou de nouvelles filières énergétiques.

Cet exemple illustre le fait que dans un contexte monopolistique, la diversité et la vélocité technologiques sont sinon handicapées, tout du moins orientées par les choix du monopole. Cette orientation se fait au détriment de nouvelles technologies ou d'opportunités qui pourraient naître.

[Unruh, 2000] et [Cowan et Hulten, 1996] montrent comment, aux États-Unis, c'est la « sécurité nationale » qui a poussé le gouvernement dans l'industrie du nucléaire, notamment civil. Les notions de service public ont aussi poussé les États américains à rentrer dans la logique de la production centralisée pour amener le courant sur l'intégralité des zones peuplées de leur territoire [Mueller 1993]. La sécurité publique est aussi un élément important.

Autrement dit, tous ces facteurs (sécurité nationale, service public, mais aussi persistance des institutions politiques, comportement imitatif, etc.) sont autant d'éléments qui ont amené les institutions à faire le jeu des solutions des filières classiques de l'énergie, en développant les nouvelles technologies (nucléaire) qui confortaient le système, ou en investissant (parfois à perte) dans le réseau de distribution indispensable pour le conforter, et étant garant de la sécurité des installations en la finançant...

On comprend alors que cet engagement des États auprès des industriels du secteur, qui étaient pour la plupart des entreprises publiques, a eu notamment pour effet d'orienter les entreprises davantage dans l'efficacité que dans l'innovation. Ou, selon les termes de [Klein, 1977], on a alors investi plus dans la micro stabilité que dans la macro stabilité. Encouragées et confortées par le pouvoir politique et par leur mission publique dans le modèle centralisé, les entreprises ont cherché à y gagner en performance (micro stabilité au niveau de l'entreprise), plutôt que de chercher à suivre les courbes technologiques (macro stabilité du

secteur en général). Dans ces conditions, le secteur n'est pas stable au niveau macro, parce que le changement de paradigme dans le fonctionnement des énergies lorsque les réserves (de pétrole) vont s'amenuiser, se fera alors au prix d'une immense mutation des joueurs en place et de leur rôle. **Tant que le système fonctionne, en revanche, il est auto-renforçant.**

Au-delà, du point de vue concurrentiel, les périodes de monopole ont permis aux entreprises d'État de se bâtir des avantages considérables : elles maîtrisent technologies, procédures de certification, etc. et disposent en même temps de l'accès au réseau et de liens privilégiés avec lui (les compagnies de production et de distribution étant historiquement été les mêmes). Mais surtout, et pour donner une image forte de cette position concurrentielle, on pourrait décrire les entreprises historiques comme **des pionniers établis**. Position solide, brevets éventuels, liens avec les partenaires pertinents du milieu, réputation et économies d'échelle et d'apprentissage sont les avantages classiques du pionnier, et ces entreprises les ont. Mais elles n'ont pas les inconvénients classiques des pionniers technologiques, car ici le marché est certain, la trajectoire technologique maîtrisée, les barrières à l'entrée hautes et établies; de plus, le risque est faible et le réseau et les actifs complémentaires sont détenus ou maîtrisés, ce qui correspond à la position du joueur établi. En clair, sur le marché de la fourniture électrique, il est bien difficile de s'imposer contre les joueurs historiques, qui cumulent les forces technologiques et concurrentielles.

En se basant principalement sur les travaux et références de [Unruh, 2000], nous avons vu que plusieurs forces avaient permis et entretiennent toujours le système classique énergétique.

Premièrement, nous avons constaté le manque de compétitivité des solutions NFE au point de vue technique: généralement plus chères, parfois moins performantes, elles nécessitent de forts actifs complémentaires. Le déploiement ou l'acquisition de l'accès à ces actifs complémentaires est coûteux, long, et diminue encore l'attrait de ces solutions. L'incertitude sur la performance et la fiabilité est d'autant plus problématique que les investissements énergétiques sont consentis en fonction d'amortissements de plusieurs dizaines d'années. L'incitation à attendre pour être sûr de faire le bon investissement est donc énorme.

Les solutions classiques (actuellement en place) sont des designs dominants dans leurs applications respectives (de l'ampoule à la voiture) et à ce titre elles façonnent l'ensemble de leur industrie autour de standards regroupant des réseaux industriels très étendus. De sorte que modifier ces standards, c'est remettre en cause simultanément un grand nombre de technologies établies et encourir un grand risque technologique, commercial et financier. La présence des rendements croissants qui ont permis cette convergence vers des designs dominants existe toujours, mais la complexité, l'incertitude et les montants en jeu (sur des durées de plusieurs dizaines d'années) pour entamer la transition ralentissent les ardeurs innovatrices.

Les institutions d'appui et les États, par nature ou pour remplir un certain rôle, ont par ailleurs favorisé la logique des filières classiques en ayant continuellement soutenu leur émergence par divers moyens financiers ou choix politiques.

Ces forces ont créé le *lock-in* des solutions énergétiques classiques. Elles sont à mettre en balance avec les forces du lock-out.

3.3 Percée des technologies nouvelles

3.3.1 Regain d'intérêt

Pourquoi le dilemme des NFE refait-il surface aujourd'hui ? Bien sûr, les technologies n'ont jamais été aussi avancées, et les promesses énormes de l'énergie décentralisée (diminution des coûts d'infrastructure, augmentation de l'efficacité, augmentation de la redondance, écologie), sont des éléments-clés qui militent pour les NFE.

La maturité des solutions NFE se précise. Les piles à combustible sont passées dans le domaine militaire, et elles arrivent maintenant dans leur phase d'industrialisation. Le prix de revient des solutions à piles à combustible est encore élevé [Eaves et Eaves, 2004], mais les applications sont maintenant directement envisageables, comme en témoignent des réalisations pilotes (la station de police de Central Park à New-York). De même, dans le domaine solaire, la technologie est mise sur le marché, dans des niches particulières. Des maisons «solaires» sont sur le marché, et au Japon une puissance de 5kW s'installe pour 20 k\$ (US).

L'éolien, pour sa part, atteint son plafond de performance et les industriels ne s'attendent plus à un gain drastique de performance, les variables sont plus du côté de la fiabilité et de l'optimisation de parcs.

Technologiquement donc, les grandes familles de produits NFE sont sur le marché, même si la production de masse n'est pas à l'ordre du jour.

Mais au-delà des facteurs technologiques, c'est tout le contexte qui devient frémissant. Poussées par la conscience écologique, les impératifs stratégiques (épuisement et dépendance au fossile) et les facteurs macro économiques, les instances politiques prennent des engagements pour les nouvelles filières (Kyoto, ou encore discours 2003 sur l'état de l'Union du Président Bush, annonçant des programmes majeurs pour l'hydrogène, les mesures à prendre pour Kyoto, etc.). Si le décalage existe parfois entre les intentions et les faits, l'impulsion est cependant de nature à éduquer le public et à donner confiance aux joueurs. D'autre part, des formes concrètes d'action par le financement de recherches ciblées, l'octroi d'incitatifs fiscaux à la vente, la taxation des pollutions (et les quotas d'émission échangeables), etc. renforcent les mécanismes.

Enfin, quoique plus anecdotique, les récents événements (coupures électriques du grand Nord-Est américain en août/septembre 2003 et suivants, etc.) forcent les États à investir dans la fiabilité et la redondance de leur réseau. Les normes évoluent aujourd'hui vers une probabilité très faible d'apparition de coupures de courant de plus de 5 minutes sur n'importe quel point du territoire. Ces normes propulsent l'utilisation de technologies complémentaires.

3.3.2 Technologies disruptives

Malgré tout, les NFE restent encore loin de concurrencer les solutions classiques. Sur-tout, les scénarios du type d'une économie nationale ou mondiale de l'hydrogène demeurent encore très lointains. Ainsi, [Sorensen, 2004] parle de scénarios pour l'hydrogène au Danemark à l'horizon 2030 pour les transitions, et vraisemblablement l'an 2050 pour un scénario complet de déploiement.

C'est qu'il faut remettre en place les possibilités et promesses technologiques des NFE dans le contexte actuel. Nous l'avons dit, les technologies ne sont pas encore compétitives, loin s'en faut, par exemple dans le secteur des transports. Le kWh photovoltaïque coûte jusqu'à 25 fois plus cher que celui au charbon ou nucléaire. Or, ce que les politiques actuelles prétendent accomplir, c'est l'introduction de ces technologies sur les marchés traditionnels de l'énergie. Détaillons ce thème.

[Christensen, 1997] ou encore [Kostoff et al., 2004] introduisent et théorisent la notion de technologie (ou innovation) disruptive et de leur pénétration des marchés. Une innovation classique et une disruptive visent le même besoin final, mais répondent selon des critères de performance différents à ce besoin. La technologie disruptive, de par ses caractéristiques nouvelles (peu maîtrisées et différentes), peine à trouver une place, à gagner la confiance ou à séduire selon les critères canoniques de performance. C'est pourquoi les joueurs historiques du secteur refusent traditionnellement ces technologies et préfèrent rester fidèles à leurs méthodes et à leurs clients historiques qui, eux, ont une façon éprouvée et commune de juger les produits "à l'ancienne". Par contre, la technologie disruptive propose des atouts et des critères nouveaux de compétences. Elle finit donc par trouver sa place dans des marchés parallèles ou des niches, pour éventuellement progresser à un point tel qu'elles peuvent attaquer la solution historique.

Prenons le cas de la génération de courant électrique par éolienne. L'industrie des éoliennes est aujourd'hui largement financée par des instances publiques, et par le déploiement de fermes éoliennes dans des zones favorables au travers des grands producteurs électriques (Hydro-Québec en Gaspésie...) Cependant, on le voit bien, ces acquisitions se font sur des critères politiques et des financements publics. Pourquoi les entreprises n'y ont pas recours par elles-mêmes ?

Le calcul est en fait extrêmement complexe. Il faut distinguer le cas d'une augmentation de la capacité de production par éolien, ou le cas de l'éolien comme énergie de support.

Dans le premier cas, l'éolien souffre de son prix de revient élevé, mais surtout de sa faible disponibilité (30 à 40% du temps), qui rend nécessaire l'adjonction d'une autre source redondante mais plus fiable à l'éolien. Sauf, bien sûr, si l'on est capable de "stocker" l'éner-

gie d'origine éolienne pour les temps de pique, ce qui n'est techniquement réalisable à grande échelle aujourd'hui que par des barrages (ne pas prélever d'eau dans les réserves tant que les éoliennes fournissent).

Cela revient à pouvoir se placer dans la seconde situation : l'éolien comme solution d'appoint. Entre "capacité de stockage", surplus de puissance non-éolienne disponible, puissance éolienne disponible, et demande globale à fournir, nous obtenons une équation dont les solutions existent, mais pas dans tout les cas, et uniquement à grande échelle. Ironie du sort, ne pouvoir mettre efficacement en oeuvre l'éolien que par une production hydroélectrique (stockage), voilà qui a un impact écologique bien moins grand que de remplacer une unité, par exemple, à charbon.

Sur ce même thème de l'installation d'unités de production NFE, [Uemura et al., 2004] indique dans l'étude de faisabilité sur l'alimentation 100% renouvelable de l'île de Yakushima au Japon que le potentiel solaire combiné à celui de l'éolien est de cinq fois la demande. Dans le même temps, il indique que les autres filières ne pourraient fournir qu'un tiers de la demande. Il reconnaît donc la nécessité des moyens de production hydroélectriques actuellement en place "par une nuit sans vent".

De fait, par essence, les solutions éoliennes ou solaires sont intrinsèquement cantonnées à n'être que des solutions d'appoint, de support pour des entreprises d'envergure nationale, qui sont aujourd'hui les seules à les acheter, d'ailleurs sous la pression de pouvoirs publics.

La situation est remarquablement proche de celle des technologies disruptives: le problème, c'est d'essayer de vendre ces technologies précisément à des clients historiques traditionnels, pour lesquels elles ne sont pas spécifiquement compétitives dans l'immédiat (elles le deviennent à terme, car elles finissent, en cas de succès, par détrôner les anciennes métriques de performance et de valeur). Quand une entreprise doit répondre à une demande en puissance, elle n'a pas réellement intérêt à disposer de sources d'appoint comme l'éolien. Ces solutions lui coûtent cher et nuisent à sa rentabilité, en n'étant efficaces que 30% du temps. La question qui se pose est alors: pourquoi s'évertuer à vendre cette technologie à ce joueur ?

[Tsoutsos et Stamboulis, 2005] propose donc un schéma de développement basé sur une stratégie de niches et d'évolution progressive des solutions pour capter des besoins de plus en plus large, mais qui ne nécessitent pas d'adaptations technologiques majeures à partir de la niche de base. Il prend l'exemple du solaire thermodynamique pour étendre son usage, depuis le chauffage de l'eau (niche actuelle) au chauffage des pièces. Cela nécessite de l'apprentissage sur l'interface de la technologie avec de nouveaux équipements et modules, mais pas d'évolution sur le coeur technologique.

« Continued failure on the part of RETs [Renewable energy technologies] to deliver the promised benefits will result in policy compromises that will result in the abandonment of the objectives. An alternative route would be to seek novel ways to describe the energy problem, in terms of function, benefit, objectives and performance. The aim is to shift the focus of performance to new territory, where conventional technologies would not be in an advantageous position and the barriers to learning in new directions would be minimized. » [Tsoutsos et Stamboulis, 2005].

[Christensen, 1997] prend la même approche pour le véhicule électrique. Étant donné l'autonomie limitée de ce véhicule, ses performances modestes et son coût élevé, la question est de savoir pourquoi tout le monde essaie de vendre ce type de véhicule à des pères de famille comme véhicule familial alors que cette application est sans doute la plus complexe et la plus lointaine de la technologie, l'application pour laquelle la performance actuelle est la moins adaptée. Christensen continue, en affirmant que si l'on veut vendre une voiture électrique, dans l'état de l'art, ce n'est pas au père de famille qu'il faille l'adresser, mais à ses enfants: quels parents ne souhaiteraient-ils pas que la voiture de leurs enfants soit plus lente et avec moins d'autonomie ?

Le véhicule électrique représente, à terme, une menace technologique pour le véhicule à explosion. C'est pourquoi les intervenants majeurs de l'automobile se doivent de le considérer, de le développer et d'acquérir les compétences technologiques nécessaires à son industrialisation. Mais pourquoi tenter de faire pénétrer la technologie par un marché aussi diffi-

cile et contraignant que celui de l'automobile familiale, écrasé par la logique d'échelle et des besoins structurels énormes (distribution, entretien, validation, financement et rachat de véhicules d'occasion...) ?

L'application historique n'a que rarement été la porte par laquelle les disruptions ont percé le marché [Christensen, 1997], alors que des firmes comme Unic Mobility prospèrent dans la fabrication de chaises roulantes électriques par exemple, qui sont des niches de marché qui leur permettent de vivre en attendant que d'autres niches ne s'ouvrent et que, finalement, la technologie des chaînes de traction électriques soit capable d'aller conquérir le marché du véhicule familial.

Une autre formulation originale de ces points de vue, serait de dire que les NFE sont des **"Post-It systémiques"**. Tout comme le Post-It, **ce sont des inventions à fort potentiel, mais qui n'ont pas encore trouvé le problème qu'elles doivent résoudre** pour percer le marché. À l'inverse des Post-It, ce sont des innovations systémiques, qui ont des besoins en infrastructure et actifs complémentaires extrêmement importants.

Selon T. Levis dans *The Marketing Imagination*, 1983, *"people buy products (tangible, intangible or hybrids) in order to solve problems."*

Étant donné la hauteur des barrières à la pénétration des marchés pour lesquelles elles ont les plus fortes promesses (génération distribuée d'énergie), il faudrait donc d'autres applications immédiates et accessibles des NFE qui devraient devenir la cible dans un premier temps.

La première chance des NFE serait probablement d'être déployées là où les barrières n'existent pas, soit dans les pays en voie de développement. [Unruh, 2000] indique comment creuser la question : le modèle centralisé qui pose tant de problèmes de déploiement aux NFE dans nos pays est plus un héritage historique (*lock-in*) qu'une solution optimale. Dans le Tiers-Monde, où les populations sont particulièrement dispersées et non connectées en réseau, les filières classiques ne sont guère avantageuses car trop puissantes. [Byrne et al., 1998] montrent comment, en Chine, le développement des énergies renouvelables peut devenir compétitif pour les régions rurales vis-à-vis des solutions classiques.

Une façon de résumer ces problématiques est de souligner que tant que l'énergie est facilement disponible (proche d'une source d'énergie dans les pays riches, que ce soit réseau électrique ou distribution d'essence), les technologies classiques sont extrêmement performantes. Mais la calibration de nos solutions dans ces problématiques précises les rend contre performantes dans les situations contraires, par exemple en mode hors réseau. Comment installer un générateur à essence et comment l'approvisionner dans un village du Sahara pour alimenter une pompe à eau et fournir les quelques centaines de Watts de puissance électrique ? Un panneau solaire serait forcément bien mieux adapté.

Même dans les pays riches, cette problématique peut se retrouver. La grande chance des NFE, qui est immédiate, est d'offrir ici de la mobilité. L'autonomie des appareils électroniques qui nous entourent est une valeur commerciale prouvée, et la volonté de payer est forte pour cela (ordinateurs portables, téléphones cellulaires, baladeurs, PDA, etc.) Les batteries, dans ce type d'application, répondent de façon peu compétitive au potentiel des piles à combustible par exemple. Toshiba et Nokia ont annoncé en juin 2004 la mise sur le marché de combinés téléphoniques cellulaires à pile à combustible, avec une autonomie en communication de 60 heures. La pile se recharge par cartouche de méthanol qui sera disponible dans le commerce. Toshiba a prototypé des baladeurs numériques en 2005 sur le même mode.

Là encore, nous voyons une chance commerciale, et des défis, au rang desquels se trouvent la fiabilité du modèle de distribution ainsi que la réglementation: le méthanol reste à l'heure actuelle une substance dangereuse, interdite à bord des avions. Dans ces conditions, il est clair que la solution proposée ne saurait encore être performante.

Se sortir des blocages actuels va exiger, en plus de cela, une coordination exemplaire entre tous les joueurs de l'arène des joutes d'innovation, pour déterminer les bonnes solutions et leur fournir la viabilité et le soutien commercial nécessaire.

3.3.3 Influence politique

Il est clair, comme dans tout secteur industriel, que la production en masse de solutions NFE pourrait grandement faire chuter les prix et lever l'une ou l'autre des barrières fondamentales. Alors pourquoi personne ne se lance-t-il dans l'aventure ?

La réponse à cette question, nous l'avons déjà suggérée en partie, est à trouver dans la complexité et l'ampleur des réseaux de sociétés impliquées dans les innovations. La coordination simultanée de tous ces joueurs pour en arriver à des solutions technologiques complètes sur le marché est problématique. De plus, l'incertitude qui règne et la diversité de chacune des solutions apportées par chacun de ces joueurs multiplie le nombre des possibilités et augmente encore davantage les risques d'échecs.

Comme dans beaucoup d'innovations systémiques, l'industrie émergente des NFE se trouve ici en face d'une indétermination technologique et pas seulement des incertitudes. Plusieurs équilibres sont possibles et plusieurs mélanges de ces technologies à l'intérieur d'un seul système sont envisageables. Dans ces contextes, c'est l'histoire et l'action des joueurs qui sont seules à même de trancher entre les solutions disponibles et de lever l'indétermination pour apporter des solutions viables sur le marché. Personne ne fera rien tant que personne ne fera rien, parce que les comportements sont hautement imitatifs. La seule solution de sortie est de faire des choix et de les mener sur le marché, jusqu'à ce que le marché fasse le tri [Olleros, 1997] et [Olleros, 2003].

Optimiser ce processus pour limiter les risques, et fournir les incitatifs nécessaires au démarrage de commercialisations actives est donc l'objectif des politiques de sortie.

[Foxon et al., 2005] présente en Grande-Bretagne des failles dans le soutien à l'innovation pour l'entrée dans les phases de commercialisation. Il remarque que si les phases de recherches initiales sont suffisamment financées, les problèmes surviennent pour aller au-delà des preuves de concept. Les facteurs de risque qui provoquent ces blocages sont à la fois technologiques, commerciaux (existence des marchés), liés au régulateur (qui crée les marchés par ses politiques incitatives, mais reste inconstant selon les priorités du moment) et systémiques (le risque de se faire dépasser par un nouveau système plus performant tech-

nologiquement). Le premier et le dernier de ces risques sont liés à la course en avant que nous évoquions précédemment, c'est-à-dire que l'incertitude demeurera de toute façon, et seule une action décisive d'entrer sur les marchés peut la lever.

En revanche, il est possible d'améliorer les actions entreprises sur les marchés à régulation publique. [Foxon et al., 2004] recommande donc d'augmenter les récompenses au risque, notamment en facilitant le dépôt de brevets d'invention pour les petites compagnies, car la propriété intellectuelle augmente la valeur de ces entreprises considérablement. Il propose aussi d'augmenter la diffusion des connaissances concernant les rétroactions négatives, donc d'éviter de s'engager dans les voies prouvées d'échec. Il faut aussi déployer des incitatifs à la recherche, particulièrement dans les régions-clés où les technologies sont en retard (par exemple, plus d'incitatifs sur les batteries, et moins sur les moteurs électriques). Enfin, ces auteurs insistent sur le rôle des partenariats stratégiques et les participations croisées pour faire émerger des sociétés focalisées sur des solutions complètes et particulièrement payantes.

[Kemp et al., (1998)] et [Weber et Dorda, 1998] proposent la création de niches de marché protégées pour certaines technologies nouvelles, afin de créer les conditions d'émergence favorables, pour en arriver, au sein d'un environnement sans risque majeur, à un équilibre gagnant entre toutes les parties.

Enfin, comme insiste [Foxon et al., 2004], puisque les politiques publiques sont des moteurs pour stimuler la recherche, créer les projets pilotes pour les déploiements de prototypes, favoriser la coordination et augmenter les incitatifs économiques, il faut que les engagements soient pris à long terme et avec constance, afin de donner confiance aux acteurs industriels. Il faut aussi de la persévérance dans ces mesures, car rien ne porte à penser que les fruits d'une politique agressive seront touchés rapidement.

[Jacobsson et Lauberb, 2004] montre comment, en Allemagne, une politique à long terme et un engagement politiquement prolongé sont les éléments déterminants du développement du solaire et de l'éolien. On pense notamment au succès de Vestas, intégrateur d'éoliennes, dont seul GE peut prétendre prendre la mesure.

3.4 Conclusion

Dans de telles conditions, le problème technologique et de performance devient pratiquement secondaire. Bien sûr, si on pouvait multiplier par cinq le rendement d'une cellule PV, la compétitivité de l'énergie solaire en serait transformée. À l'heure actuelle, les panneaux solaires se vendent au compte-goutte, pour produire un courant pas toujours utilisé dans les maisons. Le raccordement du panneau au réseau aiderait, mais nous l'avons vu, les défis techniques sont grands et la volonté manque cruellement : la logique des réseaux de production et distribution associés, ainsi que l'intérêt des entreprises historiques, sont diamétralement opposés au fleurissement de panneaux solaires sur les toits des maisons, qui augmenteraient la difficulté de gestion de la production et de la distribution, sans amélioration du rendement économique.

C'est là un cas connu de blocage, en matière d'innovation. L'esprit focalisé sur le rendement des cellules, on attend d'un panneau qu'il puisse concurrencer le kWh Hydro-Québec. Cela fait plusieurs dizaines d'années que l'attente dure, et rien n'indique qu'elle soit amenée à prendre fin. Une solution de sortie est alors claire : aller là où il n'y a pas de kWh Hydro-Québec (c'est-à-dire dans des marchés sans système énergétique pré-existant, ou en s'attaquant à des zones de valeur où aucune réponse satisfaisante n'est encore apportée). Là où il n'y a pas de concurrence et de réseau plus facile d'accès, plus souple, moins cher et plus puissant. Le PV ne sera jamais plus souple et meilleur marché que l'électricité produite à grande échelle par une entreprise d'envergure, et pire que ça, il va à l'encontre des intérêts de cette entreprise (hétérogénéité de puissance dans le réseau, complexité croissante, décentralisation du contrôle de la production, nécessité de redondance...).

Les fortes promesses et les résultats actuels des technologies NFE, et en même temps, leur contre-productivité dans le système énergétique classique font d'elles des innovations radicales. Une innovation radicale ne s'est jamais développée sur le terrain des applications historiques. Il lui faut une opportunité pionnière pour faire sa place, et éventuellement, à terme, venir bousculer ou rejoindre le marché historique. C'est ce qui ne se produit pas en énergie, où l'on attend obstinément que le vent supplante la fission nucléaire.

Au-delà de cette dimension de technologie “disruptive”, c’est la force de la logique du système qu’il faut retenir. De très grandes entreprises (souvent anciennes entreprises nationales en situation de monopole) contrôlent l’intégralité des problématiques techniques, financières, administratives et légales, ainsi que le réseau de partenaires pertinents. Elles sont aussi l’interface exclusive, à l’heure actuelle, avec tous les marchés classiques de l’énergie, qui sont ceux à forte promesse de revenus. Devant les barrières que constituent ces éléments avec en plus, les problématiques de compatibilité et complémentarité (pour créer et rendre économiquement performantes des solutions globales, et non pas des modules inutiles car isolés) et donc de coordination sont critiques. De plus, l’énergie est un marché qui ne pardonne pas l’erreur : la fiabilité, la disponibilité et la durée de vie ne sont pas seulement des atouts, mais des critères majeurs. On ne consomme pas de l’énergie comme d’un élément quelconque de chaîne d’approvisionnement (matière première remplaçable, avec économies d’échelle) ou, pour les particuliers, comme d’un “gadget” électronique.

Les innovateurs sont donc toujours à la croisée des chemins : trouver des marchés d’application radicale neufs (niches de faible taille), à l’abri des barrières, mais il faut pour cela une technologie performante, dans une solution globale, et qui échappe à la concurrence des entreprises historiques. Ou alors, suivre des marchés plus gros et pré-existants en s’architecturant dans les systèmes actuels, au travers des joueurs en place qui contrôlent l’accès aux réseaux et aux marchés.

Enfin, l’impact des actions politiques a plusieurs visages. D’un côté, on sent qu’elles peuvent favoriser l’émergence des NFE par des aides (au niveau de la recherche, de la mise sur le marché, de l’éducation du publique, etc.). D’un autre, les problématiques de service public et de sécurité, d’indépendance stratégique, d’héritage historique, d’intérêts économiques et sociaux ainsi que l’imitation de comportements majoritaires font que les actions politiques perpétuent le système historique en place, sans pousser les NFE dans des marchés d’applications nouvelles.

CHAPITRE 4 : ÉTUDES DE CAS

Les entreprises ici étudiées font partie d'un échantillonnage d'entreprises québécoises engagées dans des NFE. Nous les identifierons uniquement par une lettre, soit A, B, et C.

4.1 Jeune pousse universitaire dans les reformeurs à hydrogène

4.1.1 Présentation et activité

A est une petite entreprise technologique (trois employés en R-D) âgée de quatre ans proposant des innovations sur les reformeurs pour piles à hydrogène. Sa technologie peut s'adapter à une majorité des systèmes de pile à combustible, et en se basant sur une membrane à plasma dans le réacteur de production de l'hydrogène, et permet de réduire considérablement l'encombrement et le coût des systèmes de filtrage et purification.

L'entreprise a été financée à hauteur de 2 millions \$ depuis sa création (dont 1 150 000 \$ en fonds privés) son activité étant actuellement la production de prototypes industrialisables.

En parallèle, la direction est en recherche active de partenariats industriels pour introduire la technologie et assurer un financement et des ventes à l'entreprise. La recherche de financement par VC est prioritaire, le temps d'assurer le développement des prototypes et pour survivre jusque là. Des partenariats technologiques avec d'actuels concurrents sont aussi recherchés ou à l'étude.

Les besoins en financement sont de l'ordre de quatre millions d'ici deux ans pour le développement. Les ventes espérées s'élèvent à 108 millions annuels en 2009.

4.1.2 Problématiques de l'entreprise

- Une entreprise d'innovation ou de commercialisation est évaluée de la même façon par les financiers, alors que la valeur des premières est longue à être atteinte et que celle des secondes plafonne très vite.

- **A** crée de la valeur par des brevets, même s'ils construisent des prototypes de démonstration. Son innovation se situe dans la simplification des processus de purification et filtrage du combustible pour piles. En intervenant avec une membrane spéciale dans le réacteur, et au niveau du purificateur, **A** dispose d'une technologie qui réduit drastiquement volume et coût de la chaîne en amont de la pile. La production de prototype est un passage obligé car **A** poursuit des options scientifiques très originales. La crédibilité scientifique est donc un réel problème, et parfois, il leur faut se battre même contre certains grands noms du milieu pour prouver ses vues. Cependant, **A** a toujours fini par faire ses preuves sur le plan technologique. Mais devoir re-convaincre à chaque fois est une perte de ressources précieuses.

- **A** cherche actuellement tout ce qui peu lui apporter du financement. Le support public a été utilisé dès le départ (40% du capital initial). Les anges financiers seraient très utiles à l'entreprise (aussi pour leurs contacts), mais elle a du mal à en trouver. Finalement, c'est le capital de risque qui pose le plus de problèmes. Ce qui ferait le plus de bien à **A**, c'est d'avoir un partenaire industriel stratégique, et ce type de partenaire cherche plus des technologies que l'équipe qui les développe ; au contraire, le capital de risque classique est un peu plus disponible, mais lui cherche une structure d'entreprise où la technologie est complètement secondaire, et où CEO, CFO, marketing, management et CA sont les premières priorités. Pour une entreprise comme **A**, composée de 4 chercheurs, le coût d'une telle équipe de management est complètement irréaliste, et **A** ne parvient pas à se structurer pour intéresser le VC.

C'est d'autre part la conviction du CEO de devoir centrer l'entreprise sur la technologie, pour intéresser un industriel et créer un partenariat : **A** ne pourra jamais exploser seule, mais seulement si elle est choisie pour participer à un projet à grande échelle d'un groupe capable de le lancer. En cela, le CEO s'oppose de front aux souhaits du VC. L'entreprise fait donc

face au dilemme suivant : se “payer un organigramme” pour obtenir du financement immédiat (ce qui est contre-productif pour s’attirer les grâces d’un partenaire industriel), ou bien rester dans la configuration actuelle et risquer de ne pas trouver de financement pour continuer.

- Le domaine d’activité de **A** n’est pas directement touché par les réglementations, par contre, comme toute la chaîne de valeur, **A** profite grandement des problématiques de politique énergétique nationale, des encouragements publics aux NFE ainsi que du regain d’intérêt à chaque hausse du pétrole. **A** souffre de la concentration des pouvoirs économiques et de décision dans les grandes entreprises dans son secteur et plaide pour des politiques qui forceraient les grands joueurs et les historiques à financer les plus petites structures sur des solutions innovantes et indépendantes.

- **A** n’a pas vocation à devenir un géant, mais d’être un partenaire technologique d’une solution globale. Ses compétences scientifiques sont suffisantes pour le coeur de technologie, par contre, elle a du mal à se doter du personnel nécessaire à un processus d’industrialisation, tout simplement car elle n’en a ni les moyens, ni la certitude du débouché. À un peu plus long terme, **A** n’a aucune compétence structurelle et de gestion pour devenir une entreprise très vivace, pour les mêmes raisons de débouché, ce sera un défi pour plus tard, dont **A** est consciente, mais dont elle ne peut s’occuper pour l’instant.

- **A** a un réel avantage technologique, qui fait que ses concurrents l’ont déjà approchée pour échange de licences. Mais ses concurrents sérieux sont toujours adossés à de grands groupes et structures financières, ce qui rend difficile l’association d’**A** avec eux. Leur agenda diffère.

- Les opportunités sont claires en Amérique (mais pour rentrer aux ÉU, il faut nécessairement un partenaire), mais surtout en Asie. Si **A** a les moyens technologiques d’y aller, financièrement, rien ne suit.

4.1.3 Interprétation

A met en avant plusieurs points que nous retrouverons plus tard et qui font écho aux thèses avancées jusqu’ici. Premièrement, **A** cherche par tous moyens à s’adjoindre un parte-

nariat stratégique, car en tant qu'entrepreneurs, ses membres ne pourront pas aller chercher seuls le volume d'affaire et les opportunités nécessaires à se rentabiliser. Deuxièmement, le capital de risque n'est pas l'allié qu'il pourrait être : ses exigences sont là pour le servir lui-même, et assurer sa rentabilité, dans une logique contre-productive pour l'entrepreneur. Troisièmement, la concentration du pouvoir de décision et financier dans les mains des joueurs historiques met en péril le développement de solutions indépendantes, qui n'ont pas d'interface avec le marché en dehors de ces entreprises - les politiques de soutien devraient prendre en compte cela, et plus seulement valoriser la chaîne de valeur du secteur par des aides.

Il est intéressant de noter que les échanges de brevets et les participations de **A** avec ses concurrents ne se sont jamais concrétisés : le domaine est très protecteur de ses idées, et le brevetage est assez systématique. Il est aussi intéressant de noter que **A** poursuit des marchés très classiques, automobile en tête.

Finalement, on retrouve aussi les problématiques usuelles des entrepreneurs : acquisition des compétences, sécurisation des ressources, traversée du gouffre... autant de problématiques qui ne sont pas spécifiquement énergétiques.

4.2 PME privée dans le conseil et optimisation de l'éolien

4.2.1 Présentation

B est une entreprise spécialisée dans l'étude et l'optimisation de sites d'exploitation éoliens. Disposant de fortes compétences en mécanique, matériaux, météorologie, et économie, cette PME offre des études de site en vue de l'optimisation de l'implantation de parcs éoliens. Son activité est ouverte à l'international. Travailler avec des intégrateurs d'éolienne et leurs clients les pousse à développer des compétences plus intégratrices, notamment des expertises sur les mécanismes de financement et d'aide.

4.2.2 Problématiques pour l'éolien et pour l'entreprise "B"

- La technologie de l'éolienne est relativement mature, même si des progrès devraient être atteints à terme avec les génératrices (attaque directe, machines à aimant permanent...). Par contre, il y a encore d'énormes progrès à faire dans la gestion et l'optimisation de parcs, leur prospection et leur étude. L'éolien a l'avantage d'être disponible partout et même plus que le solaire. Elle est une des NFE les plus proches d'une rentabilité complète.

- L'éolien est une industrie intensive en capital. Avec zéro coût de fonctionnement - hors entretien, qui est comparativement faible - , tout le coût est concentré sur l'équipement de base. Mais la fiscalité est défavorable pour ce genre de production car la taxe sur le capital est plus élevée par kWh produit que pour d'autres sources comme le gaz naturel. Les montages financiers sont donc des obstacles moins visibles que les politiques énergétiques par exemple, mais tout aussi présents. On note en fait que ces politiques ont été taillées sur mesure pour le conventionnel, et que l'éolien aurait besoin d'une révolution à ce niveau pour percer.

- **B** se spécialise, en raison de sa structure et de ses compétences, en éolien à grande échelle, connecté aux réseaux majeurs de distribution. L'intervention de **B** se fait à trois étapes : quand le marché est loin d'être mûr (Amérique du Nord il y a 5 ans, Afrique aujourd'hui), ce sont les États qui prennent des initiatives et étudient la géographie des vents, préparent un cadre réglementaire et assurent une formation. **B** peut intervenir notamment à ce niveau. Le deuxième temps d'implication, c'est au début des premières implantations concrètes. **B** agit alors en impartition d'un groupe voulant implanter un parc, et agit tout au long du projet, de la prospection des terrains jusqu'à l'étude d'impact économique et de rentabilité, en passant par les montages financiers si besoin est. Finalement, **B** intervient, mais c'est encore nouveau pour l'entreprise, dans la phase de réalisation, comme dans les phases d'essais et de calibrage ainsi que dans la gestion des actifs.

- L'avantage compétitif de **B** réside dans l'inclusion de la palette globale de services aux entreprises qui implantent des parcs. Depuis l'étude météorologique (grande spécificité de **B**) et la prospection, en passant par le choix des turbines jusqu'au déploiement, **B** n'a pour ainsi dire aucun concurrent qui intègre autant de savoirs que lui. D'autre part, les intégra-

teurs sont rarement des spécialistes : ce sont plus fréquemment des entreprises qui cherchent à se diversifier et qui connaissent peu ou mal l'éolien. Le premier facteur de rentabilité d'un parc étant la richesse du site d'implantation, un spécialiste du gisement les rassure, et cela joue en faveur de **B**

- **B** s'adresse en priorité, c'est un choix stratégique, à des intégrateurs de parc éoliens. Il leur arrive de travailler avec des banques, pour de la due diligence, ou pour des études gouvernementales, mais c'est moins du quart de leur activité.

- Le grand défi de **B** est de continuer à être un intégrateur du savoir en éolien, et d'accompagner ses clients actuels qui sont en phase d'étude ou de déploiement jusque dans leur phase d'exploitation. Il y a là de nouvelles techniques à apprendre. **B** dédie donc des ressources importantes (de l'ordre de 20% du temps disponible) au perfectionnement de son savoir actuel. Le développement de la RD est la priorité à l'interne.

- Le secteur, en général, n'a pas connu d'évolution technologique radicale. Les génératrices, ou les matériaux, considérés indépendamment, ont évolué de façon radicale, mais pour l'éolienne, ça n'a été qu'une lente évolution.

- La stratégie est reconsidérée aux deux mois, et le Président vise à toujours maximiser les comités de direction pour s'assurer que les ressources et compétences nécessaires sont judicieusement allouées. La difficulté pour une PME est de tout savoir faire avec rigueur.

- À l'externe, la problématique principale est la visibilité et la crédibilité. **B** est de toutes les conférences, y prend la parole et y intervient par kiosque. C'est pour cette même raison que **B** accepte de prendre part à des missions gouvernementales. Visibilité et crédibilité sont essentielles pour être considéré dans les grandes affaires. Une fois qu'un gisement éolien a été sélectionné par un intégrateur, il est déjà trop tard. Il faut donc être suffisamment connu pour être sélectionné dans le projet plus tôt, ou investir dans la prospection soi-même, à perte, et inviter un intégrateur une fois le site découvert. Plus d'un quart du temps-personne est rattaché aux activités de développement des affaires, car **B** considère que son offre technologique est mûre.

- Les opportunités d'affaires sont majoritairement sur les parcs à grande échelle. En marge de ces grands projets, il en existe de bien plus petits à vocation communautaire, et où le rendement financier est moins critique. Ces projets sont rares, mais récurrents dans l'industrie.

- **B** considère que le financement reste le frein majeur au développement secteur, non pas spécifiquement pour le développement de la technologie, mais pour implanter des parcs. Les turbines se chiffrent en millions, et elles ne sont pas encore très éprouvées : le risque à horizon de 30 ans est énorme. Il y a relativement peu de risque sur le plan technique, mais les financiers ne comprennent pas la technologie.

- L'innovation est dirigée par les turbiniers essentiellement, puis elle passe au niveau d'entreprises comme **B**. L'accès au marché se fait par des promoteurs, soit des commerçants qui exigent un matériel sûr, consensuel et peu cher pour vendre leurs kWh.

- Plusieurs constructeurs géants sont positionnés sur le secteur. GE, Mitsubishi... Vestas est bien plus petit, mais est pourtant chef de file, ou peu s'en faut. Ces grands groupes concentrent le pouvoir sur l'innovation, parce que ce sont eux qui fabriquent les éoliennes, et qui possèdent l'accès au marché. Ainsi donc, les nouvelles technologies passent toujours par leur approbation.

4.2.3 Interprétation

Plusieurs points évoqués par les dirigeants de l'entreprise **B** font écho avec les observations réalisées par **A**. La concentration du pouvoir d'innovation dans les entreprises qui intègrent le matériel est observable. Là comme ailleurs, des joueurs (promoteurs de parcs) sont les chefs d'orchestre qui pilotent la chaîne en amont : par exemple, les turbiniers, à qui l'on demande sécurité et fiabilité. **B** ressent la même logique énergétique qui, à grande échelle, favorise les énergies conventionnelles. En éolien, **B** insiste sur l'existence de niches dans les applications communautaires, notamment à destination des autochtones ou des communautés isolées, où l'argent n'est plus la motivation principale. Cela caractérise un domaine où des pionniers, avec des solutions sur mesure, peuvent prospérer. **B** n'est pas précisément à la recherche de partenaires stratégiques, mais s'oriente dans la continuité de

ses clients : son axe de développement est de continuer à servir ses clients actuels tout au long de leur histoire.

Crédibilité et visibilité sont encore des problématiques importantes, même si **B** n'est plus une entreprise jeune.

La performance est toujours recherchée, quoique performance et fonctionnalité soient des problématiques secondaires dans l'implantation des technologies : ce qui est recherché avant tout, c'est la fiabilité et l'assurance d'un retour sur investissement. C'est *sine qua non* d'un financement, et c'est le noeud de l'affaire. En bref, malgré plusieurs révolutions technologiques (attaque directe, matériaux composites), l'industrie reste extrêmement conservatrice et stable. Elle cherche la stabilité et la sécurité, pas la rupture, personne n'est prêt à financer un risque radical.

4.3 Entreprise à structure de capital publique spécialisée en machines tournantes électriques

4.3.1 Présentation

C est une entreprise de 60 personnes, spécialisée dans les moteurs et générateurs électriques. Très avancée dans la conception et même l'industrialisation d'un moteur hybride électrique-thermique pour le marché automobile, elle a aussi développé de fortes compétences dans le domaine de l'électronique de contrôle et de puissance, et maîtrise l'ensemble des problématiques de la chaîne de traction d'un véhicule électrique, de la gestion de batterie aux roues, en passant par l'embarquement des solutions sur un châssis.

C a survécu, depuis plus d'une quinzaine d'années, surtout grâce à l'implication de son actionnaire majoritaire public. Elle conçoit et développe des solutions originales pour les marchés automobiles et énergétiques, par exemple des génératrices pour éolienne ou pour générateurs stationnaires. **C** a changé depuis ses débuts dans un important centre de RD. Elle a rationalisé toutes ses activités, et met en oeuvre aujourd'hui une rigueur d'entreprise claire avec des impératifs de résultats imposés par son CA. Sa stratégie générale et technologique suivie depuis plusieurs années est la poursuite du marché du véhicule hybride. Cette

priorité structure une bonne partie de l'entreprise, bien qu'elle poursuive des activités subsidiaires dans les marchés de l'énergie.

4.3.2 Problématiques de l'entreprise

- La concurrence sur les machines tournantes est rude, mais l'intégration du savoir chez **C**, qui maîtrise les variables de la totalité des éléments de la chaîne de traction lui est un grand avantage, qui fait d'elle une entreprise unique et fait passer au second plan le seul moteur électrique. Grâce à une solution intégrée clé en main dont les principaux atouts sont compacité, légèreté et efficacité, **C** crée de la valeur pour les intégrateurs d'automobiles auxquels elle s'adresse. La différence compétitive se fait largement sur ces critères, même si les clients demandent avant tout une haute performance (couple moteur, efficacité, etc...).

- La marché d'application dans les transports passe obligatoirement par un grand groupe automobile au final (GM, Ford, Renault, Peugeot, VW en Europe...), pour assurer fabrication, distribution, vente et maintenance des véhicules. La conception générale des véhicules (comportement dynamique, tenue de route, certification) requiert aussi leurs compétences. **C** a donc essayé de faire affaire directement avec eux, mais en vain : grâce à leur position, ces groupes sont très passifs et attendent que la marché atteigne une capacité qui leur soit significative (la perspective de plus en plus proche de 100 000 unités par an).

En revanche, **C** a pu s'adresser à de plus petites entités pour atteindre les constructeurs majeurs : certains acteurs du milieu automobile ont déjà pour métier la modification des véhicules de grand constructeurs pour des besoins spécifiques (transport de charge, de groupe...). L'électrification des plates-formes de véhicules de grande série intéresse certains de ces intégrateurs, qui ont à leur tour des entrées chez les constructeurs majeurs. Le trio-clé pour réussir, c'est donc : un expert en traction (moteur, électronique...), un expert en batteries, et un intégrateur, qui grâce à son métier classique a accès aux plate-formes. Un tel trio de compétences a alors de meilleures chances d'atteindre le marché.

- Le marché pour les automobiles hybrides est déjà là, avec une valeur est déjà prouvée, par la Prius 2 de Toyota. Si le problème de batterie était résolu, **C** pourrait envisager une explosion du marché. En attendant, il faut toujours trouver des OEM automobiles qui ac-

ceptent le risque. Les batteries Li-ion ont atteint, au niveau expérimental, la puissance et la cyclicité nécessaires aux applications du transport, mais le problème réside dans le financement des chaînes de production de ces batteries.

- Au-delà des problèmes de batterie, les marchés de **C** sont beaucoup soumis à la concurrence des solutions conventionnelles. Pour les dirigeants de **C**, seule la volonté politique de faire payer à la société le coût réel du pétrole (avec externalités, pollution), pour financer des programmes de véhicules propres (industrialisation, équipement de sociétés publiques, programmes de démonstration...) serait un pas décisif pour le développement des marchés.

- Sur ces marchés de l'automobile, **C** est engagée activement dans des partenariats stratégiques, chose qu'elle a toujours ardemment souhaitée, et une partie de son capital est désormais aux mains d'un intégrateur automobile avec des perspectives solides. À l'époque de notre entrevue, le CEO admettait à titre confidentiel faire de ces partenariats une de ses priorités. **C** travaille aussi en partenariat commercial avec ses principaux fournisseurs, et avec des contrats à long terme chez certains clients.

- Dans le domaine des NFE, **C** se heurte au conservatisme des intégrateurs d'éoliennes, qui refusent d'utiliser une technologie meilleure, mais non éprouvée. En l'absence de financement pour une unité pilote, **C** est donc bloquée à un stade théorique, ou de preuve de concept. Une autre application de sa technologie réside dans les génératrices stationnaires à fort taux d'utilisation. Dans ce cas c'est la meilleure efficacité des moteurs de **C** qui peut leur donner un avantage (à fort taux d'utilisation, le meilleur rendement compense le surcoût à l'achat). À ce niveau, et contrairement au secteur automobile qui est bien plus en phase de pré-industrialisation, **C** reste largement au stade de la preuve de concept et du prototypage, et est plus une entreprise de service et de conseil qu'un industriel complet, ce n'est pas rentable. En éolien, le conservatisme d'une industrie encore fragile freine les ardeurs pour tester les solutions innovantes. Dans le domaine des générateurs stationnaires, les solutions **C** sont assez originales (moteur à aimant permanent, convertisseur et électronique intégrés) mais il faut éduquer des fabricants habitués à piocher de façon éparse les éléments de leurs produits. La solution intégrée **C**, avec convertisseur électronique intégré,

permet notamment une chose rare, la vente d'un même produit en Europe ou en Amérique, malgré des tensions et des fréquences nominales différentes.

- Les contraintes de ressources humaines (redondance des compétences) et financières sont omniprésentes. Pour quelques milliers de dollars non disponibles, l'entreprise doit parfois se reposer sur un seul homme pour assurer une compétence-clé vitale, ou alors retarder un investissement dont elle serait pourtant assurée de la rentabilité en moins d'un an. L'équation est complexe, parce que l'avantage concurrentiel de **C**, réside dans son savoir intégrateur sur toute la chaîne. Mais ce savoir a été acquis "à perte", grâce à son financement public patient : **C** avait alors le temps d'acquérir des compétences en-dehors de son métier. Dans une logique compétitive, il devient difficile de maintenir autant de compétences.

- Partout, de l'électronique de contrôle au logiciel, et de la forme des encoches aux méthodes de bobinage, **C** se protège intensivement par ses brevets. Même s'ils savent que leurs technologies sont imitables, c'est une assurance et aussi une valorisation. **C** innove donc aussi constamment pour palier à d'éventuels imitateurs.

- L'approche commerciale de **C** est toujours un *technology push*, mais résulte toujours au final en une solution personnalisée et adaptée aux besoins du client. C'est ainsi depuis longtemps, les intuitions du VP technologie ont souvent été bonnes, et c'est même lui qui a poussé à la création d'un moteur hybride alors que tout le monde poussait les solutions tout-électrique. Il souligne notamment que l'abandon complet du thermique poserait des problèmes aux constructeurs, qui font des marges importantes sur le service d'entretien des moteurs conventionnels.

- Toujours plus ou moins en prototypage pour chaque nouveau client, **C** propose de partager les frais de développement, et de les rembourser par des rabais sur les commandes fermes finales. Les problèmes de financement appellent donc des solutions nouvelles, ou le client finance à crédit les recherches qu'il commande à **C**.

- La chance de **C**, est d'avoir croisé des ingénieurs européens, financés par un riche industriel visionnaire qui voulait voir le véhicule électrique se concrétiser. Sans cette volonté forte venue de l'extérieur, la concrétisation des produits de **C** serait fort hypothétique.

- **C** est dans l'incertitude en ce qui concerne son évolution en tant qu'industriel. **C** sera toujours au moins un bureau de conception de machines tournantes, et gardera toujours son savoir faire intégrateur, car c'est là son coeur de métier. Cependant, toute concrétisation des opportunités d'affaire dans l'automobile ou en énergie entraînera une nécessaire industrialisation des processus de production très "à la main" aujourd'hui. Et là, la stratégie n'est pas arrêtée : licences, adjonction d'une usine... En tout état de cause, le VP Technologie souhaiterait disposer d'une unité de production de courte série pour assurer la mise en industrialisation et "débugger" le processus avant de le confier à l'extérieur.

- **C** cherche dans ses deux domaines d'application à former des comités d'experts pour la guider et la conseiller. Plus on s'approche d'une industrialisation, plus les montants, les risques, et les joueurs sont gros, et plus l'entreprise a besoin de conseils pour accélérer et fiabiliser ses processus.

4.3.3 Interprétation

Là encore, notons la présence de joueurs plus gros qui contrôlent la mise sur le marché des technologies et gouvernent donc l'innovation, mais observons aussi leur comportement qui cherche à minimiser tout risque, et à le faire assumer par les firmes innovantes.

L'innovation est partagée entre plusieurs entreprises qui doivent toutes servir un même but. En transports, un motoriste, un expert en batterie et un intégrateur doivent servir la vision d'un constructeur majeur. En énergie, **C** doit convaincre de sa vision les intégrateurs d'éoliennes ou les assembleurs de générateurs stationnaires. De façon générale, les chaînons de valeur échangent peu de données, la chaîne est très intégrée et les entreprises sont protectrices avec leurs avancées.

Nous pouvons aussi souligner qu'au-delà de la performance, l'avantage-clé de l'entreprise se situe dans les relations stratégiques avec ses clients, et dans la capacité d'intégration de

connaissances. La stratégie de **C** est systématiquement de proposer des solutions clé en mains personnalisées et adaptées aux besoins spécifiques du client.

Notons finalement que c'est la chance de la rencontre avec des acteurs européens intéressés et financés par un visionnaire, qui fut l'élément déclencheur de la dynamique actuelle.

4.4 Conclusion et formalisation des thèses

En réunissant nos conclusions des chapitres 2 et 3, et les interprétations des études de cas, il devient possible de dégager une logique dans le comportement des entreprises innovantes en NFE. Démontrer précisément et exactement que c'est bien cette logique qui est actuellement déployée est, par contre, un objectif trop ambitieux pour ce travail. Nous allons donc dans un premier temps présenter des éléments de cette logique, et en déduire des hypothèses de travail qui seront des comportements d'innovation assez directement observables. Conformément aux deux buts fixés au chapitre 1, nos observations peuvent être regroupées en deux catégories assez complémentaires : celles se rapportant aux courses technologiques MINE, et à la comparaison des NFE à cette joute; et celles se rapportant à l'innovation conservatrice.

En procédant par sondage (chapitres 5), nous observerons ces comportements sur d'autres entreprises que celles des études de cas. C'est à partir de ce point de vue plus général, et en ayant observé des entreprises *a priori*, sans connaître plus particulièrement leur contexte d'affaires (comme nous le connaissions pour les études de cas) que nous pourrions quantifier la validité de nos hypothèses de travail, et *proposer* plus précisément un modèle de comportement qui les explique.

Les différents éléments de cette logique et les acteurs pertinents sont schématisés graphiquement dans l'annexe 3.

4.4.1 NFE et courses technologiques

Malgré la définition du terme en 2.6.1, rappelons en quelques mots ce que nous entendons par "course technologique" dans la terminologie MINE. Il s'agit d'un contexte indus-

triel qui s'installe quand le dynamisme du savoir et la pression de structuration sont élevés, alors que l'expertise de la clientèle est moyenne. Cette configuration est décentralisée et fait intervenir une multitude d'acteurs dont le rôle est de proposer des couples technologie/modèle d'affaires qui répondent à des besoins de pionniers. La capacité des entreprises à fournir de façon viable la technologie, en mettant en production leur propriété intellectuelle, est la problématique centrale de création de la valeur; bien plus que le prix ou la fiabilité du produit fourni. Une course technologique cherche à apporter une fonctionnalité nouvelle à des gens qui en ont besoin.

L'intuition de base nous amène à considérer que les NFE s'insèrent dans cette description : vélocité du savoir, pressions de structuration, processus d'essais erreurs... autant d'éléments qui font écho à une vision "en première approche" du problème énergétique.

En revanche, la réalité évoquée en paragraphe 3 et dans les études de cas (cf. 4.1 à 4.3) et la comparaison avec les valeurs de base de l'enquête MINE nous amènent à nous poser la question de la pertinence de cette vue.

Ainsi, l'enquête préliminaire MINE mettait en avant deux résultats symboliques sur les courses technologiques : c'est, parmi toutes les joutes, celle où l'importance de la mise en production du savoir est la plus grande (corrélation à 1.26) [Miller et Floricel, 2004b] et où la qualité de la conception, ou la production personnalisée est sans effet.

"The dominant way of creating value is productizing by using scientific knowledge to develop creative ideas and transform them into approved solutions, products or intellectual property. Developing precise engineering solutions, serving customer's needs or aligning with pertinent standards are not important vectors of action". [Miller et Floricel, 2004a].

Précisément, on aura noté combien les entreprises NFE sont attentives à la problématique de fiabilité, qui est cruciale en énergie. On a aussi vu dans les études de cas, que les entreprises, bien que jugées en premier lieu sur la performance, font en fait la différence (compétitivement) sur d'autres critères (différentiation technologique ou compétences intégratrices). C'est dire que la performance est un ticket d'entrée, mais que le jeu se joue ailleurs, sur la capacité à servir à bas prix (problème de compétitivité) un produit très adapté

au client, voire conçu pour lui. C'est l'enseignement des entreprises **B** et **C**, mais aussi une conséquence des effets évoqués en dans la littérature : les marchés de l'énergie sont vitaux à toute activité, l'erreur n'y est pas permise, la panne non plus. La qualité doit être sans faille. Si on ne peut pas compter sur une source, alors, il faut de la redondance avec une source fiable, ce qui limite l'utilité de la première.

Cela nous amène à formaliser une première proposition pour comparer les courses technologiques MINE au case des NFE : **Dans les nouvelles filières énergétiques comme dans les courses MINE, la capacité à mettre en production le savoir est le vecteur de création de valeur primordial (car il constitue le ticket d'entrée), mais les vecteurs de qualité et de prix sont bien plus importants relativement que dans les courses.** Les différences sur les autres vecteurs (alignements sur designs dominants, effets d'architecture, approbation par des organismes de contrôle) sont moins sensibles et moins caractéristiques du contexte des NFE et des courses.

En conséquence de la dominance du vecteur de mise en production de la PI, [Miller et Floricel, 2004a] indique : *“Productizing will stimulate a fragmented distributed network of specialists (...) We will observe a network made of many differentiated firms, specialized by stages of the innovation process and innovation services and governed by institutions that structure interactions (...) Low productizing emphasis will lead to integration.”*

En milieu innovateur, on sait que les entreprises poursuivent le plus souvent des voies technologiques originales et différenciées (cf. facteurs de succès des entreprises [chapitre 2], et pour l'énergie : études de cas dans les parties traitant de la nature de l'avantage compétitif). L'originalité technologique est un facteur de succès qui permet notamment d'obtenir une certaine visibilité si l'on peut en même temps affirmer sa crédibilité. Elle permet aussi, dans le meilleur cas, de viser des marchés où les concurrents ne peuvent s'insérer.

On a par ailleurs montré par la littérature (3.2.2 et 3.2.3) que l'énergie était un domaine très sensible aux effets de réseau (compatibilité, complémentarité), que les produits sont des solutions complexes réunissant une multitude d'acteurs autour de standards énergétiques et de designs dominants. La raison en est qu'aucun consommateur n'utilise d'énergie à proprement parler : il utilise un outil conditionné pour accepter une certaine forme d'énergie.

Les besoins énergétiques sont donc entre les mains des fabricants d'outils, qui, eux, s'ajustent sur des design dominants et des standards. Comme l'accès au marché est bloqué par ces constructeurs d'outils, les fournisseurs de solutions énergétiques doivent s'interfacer avec eux plus qu'avec les demandes d'un public qui achète l'énergie en fonction de l'outil qu'il a et non le contraire. C'est ce que **A**, **B**, et **C** constatent. Cela donne aux "outilleurs" les commandes et la gouvernance sur les innovations, car ils sont le point incontournable d'accès au marché.

On arrive dès lors à une seconde proposition : **Comme dans les courses technologiques MINE, la différenciation reste une volonté majeure des acteurs en NFE, et les intégrateurs technologiques sont les gouverneurs de l'innovation. Cependant, à la différence des courses, le réseau d'innovation tend à vouloir s'intégrer dans de très fortes relations stratégiques (jusqu'au rachat), non pas à prospérer au travers d'entreprises spécialisées et indépendantes.**

Finalement, tout concorde pour souligner le dynamisme de la recherche dans le secteur, et les progrès réguliers des différentes filières (**B** et **C** dans le secteur éolien côtoient plusieurs générations de turbines pour éoliennes - classique, attaque directe, aimant permanent). Cependant, il faut considérer deux points : a) l'émergence d'industries autour des NFE est en stagnation depuis plusieurs dizaines d'années et demeure très fragile (voir la part de marché de ces énergies en 3.1.2) ; b) le cycle de vie des équipements énergétiques est très long (surtout à forte puissance), et se chiffre en dizaines d'années (3.2.1). Cela veut dire que les opportunités de renouvellement se font rares, et qu'il est toujours rentable d'attendre : sur la durée d'amortissement des investissements, la performance des équipements se décuple (**B** l'indique). Cette problématique est cruciale pour des entrepreneurs qui doivent alors se tourner vers des solutions de financement à long terme, qui sont plutôt rares et limitées. **A**, par exemple, a des débouchés dans les marchés de l'automobile principalement, mais aussi partout où les piles à combustibles peuvent s'implanter. C'est donc pour **A**, **B**, ou **C**, le même attentisme au niveau global (véhicule électrique, éolien, pile à combustible) malgré l'apparition de solutions nouvelles sur le marché.

On a ici une dynamique différente, par exemple, du secteur des nouvelles technologies de l'information où les rendements sont très élevés (les mécanismes d'hyper-compétition et les fortes économies d'échelles du secteur numérique y travaillent) et où tout se joue en une question de mois. On a en énergie une dynamique réelle du savoir qui entretient une stagnation de l'industrie via les fortes contraintes de fiabilité et de rentabilité/amortissement à long terme. Alors que les entreprises des technologies de l'information monopolisent l'attention boursière et du VC avec des rendements à court terme, le contraste est saisissant avec ce que propose l'industrie NFE : amortissement à long terme et investissements immenses.

Ce sera notre troisième proposition : **L'attentisme en NFE n'est pas lié à la posture technologique des entreprises, qui entretiennent une réelle vélocité du contexte, et s'en accommodent. La raison est à chercher dans les variables contextuelles, par exemple : incertitude, disproportion entre la durée de vie des équipements et la vélocité technologique, long temps d'attente du retour sur investissement.**

4.4.2 Innovation dans un contexte conservateur

Une particularité du secteur énergétique, tel qu'évoqué dans la littérature et nos études de cas, réside dans la position originale des entreprises historiques du secteur. Nous proposons plus tôt le terme de "pionnier établi" pour traduire ce phénomène de concentration du pouvoir technologique et de marché, ainsi que la maîtrise des actifs complémentaires et des chaînes de valeur. Ces entreprises restent, **A**, **B**, et **C** nous le montrent, largement en position d'influencer l'innovation, car elles se positionnent toujours de façon à rester les portes d'accès aux clients finaux des solutions énergétiques. Elles s'assurent alors d'avoir une grande influence sur toutes les innovations, en les canalisant avant qu'elles ne touchent le marché.

C'est en cela que nous souhaitons qualifier le contexte d'innovation des NFE de conservateur. Le but des entreprises qui dominent le secteur énergétique n'est pas en soi de faire percer les nouvelles technologies, mais juste d'être prêt quand cette percée arrivera, de façon à faire perdurer la structure industrielle et sa place dans la chaîne.

Ce mode de fonctionnement, cependant, va à l'encontre des processus usuels de développement des innovations radicales (3.3). Là réside la contradiction qui bloque l'émergence des NFE : être radical en contexte conservateur. Il est possible d'en voir certains effets.

Premièrement, **si nous assistons à un scénario d'innovation conservatrice, alors, nous devons aussi assister à un déficit d'actions entrepreneuriales et pionnières en dehors de niches éventuellement viables mais contraignantes.** C'est à dire qu'on doit pouvoir observer qu'en règle générale, les entreprises vont chercher à trouver des marchés (ou niches) existants et y tester des solutions prouvées, plutôt que de partir créer un marché pionnier et d'y développer des applications radicales. Soit les filières conventionnelles attaquent l'entrepreneur là où elles le peuvent, ce qui le force à rester dans sa niche, soit l'entrepreneur a une stratégie d'évitement et s'est positionné dans un contexte où les énergies conventionnelles ne peuvent pas le concurrencer, mais dans les deux cas, il doit poursuivre une stratégie de niche, et on s'attend à ce qu'elle ne soit pas pionnière. C'est ce que fait **C** qui n'arrive pas à financer une unité pilote de démonstration de sa technologie pour l'éolien, en proposant des générateurs stationnaires.

Deuxièmement, **dans un contexte conservateur d'innovation, le protectionnisme technologique des innovateurs doit être très fort et toute forme de collaboration horizontale entre compétiteurs doit être quasi-nulle.**

A, par exemple, indique spécifiquement que les opportunités de coopération qu'elle a eues ne se sont pas concrétisées, parce que ses partenaires potentiels étaient intégrés à de grands groupes, ce qui a induit des différences d'objectifs et de motivation.

Que le contexte conservateur soit imposé volontairement par des entreprises historiques, (ce qui serait difficile à mettre en évidence) ou qu'il ne soit qu'un état de fait dont elles profitent, le résultat est le même. Les innovateurs y ont plus intérêt à travailler dans le cadre de la solution verticale qu'ils essaient de servir que, par exemple, de développer une architecture commune entre compétiteurs pour favoriser l'intégration du module dont ils sont spécialistes dans une architecture. La notion de communauté d'innovateurs est quasi-absente, et si les entreprises participent aux forums, consortiums et différents congrès de leur secteur, elles n'y prennent pas de part active dans les instances de décision (**B**).

La situation y est différente, par exemple dans le secteur aéronautique, ou celui des réseaux, où chaque module est standardisé et défini pour s'architecturer dans le tout. Dans ces domaines, les innovateurs conçoivent des modules qui remplissent une fonction définie, connaissant les "entrées à prendre en compte" et les "sorties à fournir". En énergie, on travaillera plus sur de systèmes à grande échelle architecturés au cas par cas par l'intégrateur final, ce qui coûte au pouvoir d'innovation des entrepreneurs (le cas des entreprises **A** et **C**).

La situation, là encore, profite à des intégrateurs-chefs d'orchestre qui, ce faisant, limitent les interactions entre entreprises du même secteur et, du coup, gardent le contrôle des opportunités d'affaires. Le chapitre 2 montrait plutôt que, dans l'émergence, c'est aux innovateurs de se créer leurs propres opportunités, de façon croisée, entre les différentes fonctions propriétaires.

CHAPITRE 5 : COLLECTE DE DONNÉES

Nous l'avons dit, notre but n'est pas la constitution d'un modèle statistique. En revanche, nous avons jugé bon d'utiliser le questionnaire MINE et de l'adresser à une dizaine d'entreprises, sans sélection particulière ni connaissance approfondie de leur contexte propre, dans l'espoir d'éclairer notre vision.

En dehors d'aspects quantitatifs statistiques, ce même questionnaire fort élaboré peut aussi servir à trouver plusieurs manifestations différentes des comportements que nous avons déduits du modèle théorique, des visions stratégiques d'entreprises interrogées, et de nos différentes rencontres avec des financiers.

C'est donc à la recherche de comportements communs qui traduisent dans les faits notre vision que nous nous interpréterons nos résultats, en restant attentifs à d'éventuelles limites et aspects mettant des bémols à nos théories.

5.1 Le questionnaire MINE

Le programme MINE s'est donné pour but de montrer que les entreprises innoveraient en créant et capturant de la valeur, selon des configurations prédéterminées par les facteurs macro et exogènes de leurs industries, et principalement fonctions de : la compétence du client, la dynamique du savoir, et la pression des forces de structuration. À cette fin, MINE identifie plusieurs configurations typiques d'organisation industrielle, ayant chacune ses vecteurs dominants de création et capture de la valeur, et prédit que la performance d'un groupe d'entreprises innovantes est liée à leur capacité à se rapprocher le plus possible de la configuration prévue compte tenu des facteurs extérieurs.

Le questionnaire MINE a été établi pour quantifier la validité des modèles proposés, et les thèses avancées par le groupe de recherche, cf. Annexe 1.

Il analyse donc une multitude de facteurs, de comportements, de méthodes d'organisation, de partage de la connaissance, de façons de coopérer, de stratégies pour protéger son avantage compétitif, etc.

Le questionnaire original MINE est un questionnaire psychométrique, le plus souvent basé sur une échelle de Likert, et divisé en 7 parties.

Premièrement, l'analyse du contexte d'innovation : la nature et l'exigence des clients, les facteurs influençant l'innovation, les flux de capitaux et leur provenance, la dynamique de compétition et sa source.

Deuxièmement, le questionnaire aborde la création de la valeur : quels facteurs créent la valeur pour le client. Qualité, prix, échelle, compatibilité, fiabilité, et autres vecteurs.

Troisièmement, la stratégie d'innovation : les sources d'avantage compétitif, les actions stratégiques entreprises, les actions de collaboration dans l'industrie, la fréquence des changements de contexte et de stratégie en conséquence, les répartitions absolue et relative des investissements pour chaque type d'innovation.

Quatrièmement, le questionnaire fait le point sur l'aspect organisationnel de l'entreprise : qui innove, quel partage des responsabilités et des compétences, intégration de la recherche avec le marketing, etc.

Cinquièmement, le questionnaire se concentre sur le réseau d'innovation : où l'entreprise se positionne-t-elle dans sa chaîne de valeur, quels éléments sont laissés à l'externe ou gardés à l'interne, les partenaires et leur importance dans le processus d'innovation, l'implantation des centres de recherche.

Sixièmement, les pratiques de gestion de l'innovation : méthodes d'exploration, gestion du portefeuille, méthodes de mise sur le marché, intégration de partenaires dans la conception des innovations.

Septièmement : performance et croissance, absolues et comparées au secteur.

La totalité de ces aspects n'est guère pertinente ici. De plus, de par la variété des construits testés, le questionnaire fait souvent appel à des questions à faible différenciation. En réduisant largement l'étendue du questionnaire à nos thèses, il devient alors possible de ne considérer qu'un plus petit nombre de questions.

Notre règle générale pour retenir les questions a été de repérer celles qui avaient trait : au comportement pionnier et la poursuite de recherches radicales ou non, à la coopération entre (ou la protection contre) entreprises du même secteur, à la conformation aux désirs et/ou cahiers des charges d'une entreprise cliente ou chef d'orchestre de la chaîne d'innovation, à la poursuite d'opportunités de niche ou plus vastes, en solitaire ou en coopération, à l'influence des contextes politiques et réglementaires et leur rôle de créateur d'opportunités.

À l'inverse, nous avons ignoré toutes les questions caractérisant les données sectorielles. Connaissant déjà le domaine d'activité des répondants, il nous était facile de connaître la vélocité technologique, le degré d'avancement technique des solutions, la taille des marchés, l'importance de la notion de marques, etc. Nous avons aussi évité de considérer les problématiques d'organisation de l'entreprise.

Les questions évoquant les changements historiques de l'entreprise ont aussi été évitées : nous avons toujours affaire à des entreprises jeunes et à un marché en développement. Il en a été tenu compte dans la sélection.

De même, nous nous sommes centrés sur des entreprises de taille petite à moyenne, où les questions de localisation des équipements, décentralisation de la recherche, création et partage de ressource entre unités d'affaires indépendantes ne se posent pas. Ces petites entreprises n'ont pas les moyens de gouverner une joute ou d'investir elles-mêmes dans du capital de risque industriel.

Ces grandes lignes de décision ont permis de se ramener à un jeu de variables bien plus limité, de l'ordre de 70 questions représentant environ 100 actions de réponses demandées aux répondants, au lieu de plus de 400 (les entreprises ayant répondu au questionnaire ont tout de même, dans le respect des règles de MINE, répondu à la totalité du questionnaire officiel).

En plus de cela, nous avons indiqué lorsqu'approprié (entre parenthèses, et en orange à la fin des intitulés) l'hypothèse pour laquelle une question (ou un groupe de question) retenue sera utilisée. Cela peut servir à des fins d'observations directes, ou pour accompagner un raisonnement autour de l'hypothèse en question. Dans tous les cas, une mention explicite du résultat de la question est faite dans la section appropriée, là où l'hypothèse en question est traitée.

Ces questions sélectionnées seront reproduites plus tard dans ce mémoire, en 5.3. Pour les repérer, nous les numérotions dans l'ordre d'apparition. En premier lieu, le chiffre romain indique de quelle partie du questionnaire la question est issue (I : Contexte d'innovation du secteur, II : création de la valeur, etc.). Le chiffre suivant indique le numéro de la question (ou du groupement de questions) en cours, et finalement, la lettre le numéro de la sous-question.

Nous avons conservé les intitulés en anglais, leur langue originale, étant donné la nature psychométrique du questionnaire. En effet, la traduction introduit un biais que nous ne pouvons guère évaluer, tant par manque de données, que parce que cette problématique dépasse le cadre de notre travail.

5.2 Description des répondants

5.2.1 Entreprises témoin dans les filières classiques

À simple titre de comparaison dans notre tableau des réponses, nous avons jugé pertinent d'inclure les réponses de deux entreprises très engagées dans les filières classiques. Celles-ci sont aujourd'hui reconnues et très établies, et fournissent des clients de diverses tailles, avec leurs solutions basées sur l'exploitation de sources d'énergie conventionnelles.

5.2.1.1 L'entreprise 108

108 est une très grande entreprise spécialisée dans les génératrices stationnaires ou embarquées, isolées ou en réseau, de faible à forte puissance. Ses marchés sont tous conventionnels, et elle est engagée dans un domaine où les ruptures technologiques sont rares. La

stabilité des technologies entraîne un faible investissement en R-D par rapport au chiffre d'affaires.

Le caractère de grande entreprise de 108 et son fort volume d'activité lui permettent de disposer à l'interne de l'intégralité du jeu de compétences nécessaires le long de sa chaîne de valeur.

5.2.1.2 L'entreprise 105

105 est engagée dans le marché de l'hydroélectrique de moyenne puissance : de 2 à 100 MW. Elle se spécialise dans la livraison de systèmes clé en main pour l'exploitation de sources de puissance hydroélectriques. Ses clients sont majoritairement des groupes énergétiques. Ce marché est très stable et dispose de fortes barrières à l'entrée (masse financière minimale pour entrer en jeu, somme des technologies à maîtriser). C'est donc sur un marché établi et technologiquement assez stable (en recherche perpétuelle d'optimisation, plus que de révolution) qu'évolue **105**.

Sa problématique actuelle est plus de perfectionner sa performance tant par l'échelle que par la différenciation technologique.

5.2.2 Répondants NFE

Conformément aux objectifs, nous choisissons un groupe réduit d'autres entreprises sélectionnées pour la diversité de leurs contextes d'affaires et de leur spécialité. Nous cherchons ainsi, sur un petit échantillon pris au hasard, à mettre en valeur les comportements attendus évoqués au chapitre précédent.

5.2.2.1 Entreprise 101

101 est l'entreprise **C** des études de cas (3.2.3), qui a répondu à la lumière de son implication dans les domaines énergétiques (machines tournantes pour éoliennes ou générateurs stationnaires). Dans ce secteur conservateur, son produit est en rupture technologique, et elle n'a pas encore d'unité de démonstration à grande puissance pour affirmer sa crédibilité aux intégrateurs, très frileux quand il s'agit de fiabilité. **101** a une structure de capital public,

ce qui lui a permis de survivre jusqu'à ce jour, mais se trouve aujourd'hui presque au pied du mur, sommée par le conseil d'administration d'apporter des résultats.

5.2.2.2 Entreprise 102

102 est une entreprise évoluant sur le marché assez rare des torches à plasma, utilisées pour des combustibles non conventionnels (souvent des déchets).

C'est un fort marché où la concurrence n'est pas nombreuse, mais où les revenus sont en général faibles : les équipementiers n'ont que peu de pouvoir de marché. **102** a développé beaucoup de capacités à l'interne pour assurer la création, le développement, la certification, et la mise sur le marché de ses produits. Elle se comporte avant tout comme un innovateur solitaire, qui invente et propose des solutions nouvelles, dans une industrie où coopération et standardisation sont faibles.

5.2.2.3 Entreprise 103

103 est une entreprise proposant services et biens pour l'exploitation des biomasses. Son originalité est d'avoir une double compétence entre l'exploitation énergétique des biomasses, et la connaissance chimique approfondie des processus impliqués.

Cette double compétence en fait avant tout une entreprise très impliquée en recherche, et très innovatrice, même si son orientation "services" fait d'elle une firme très orientée client.

5.2.2.4 Entreprise 104

104 est une entreprise jeune, dont la technologie est encore à l'état de prototype, elle aussi impliquée dans la biomasse, de type gazeuse. Elle se situe en fine pointe de cette technologie nouvelle, avec des solutions très spécialisées, taillées pour des cahiers des charges précis de clients. Sa problématique actuelle est surtout la recherche de crédibilité. Elle essaie avant tout de se pérenniser, via des partenariats (stratégiques) forts.

5.2.2.5 Entreprise 106

106 est un innovateur dans le domaine photovoltaïque. Fondée sur un type de cellule très innovateur, **106** a pour but l'industrialisation de masse de son produit, chose pour laquelle le

financement est tout autant critique que la recherche. Le marché est très instable et opportuniste, ce qui implique des clients volatiles et peu de liens stratégiques. 106 a une innovation et un but, son industrialisation, elle est donc en ce moment très centrée sur ses objectifs internes pour fournir la preuve de faisabilité de son invention. Elle vit donc pour l'instant sur du financement de capital de risque, sans avoir conclu de ventes.

5.3 Tableau des réponses

Nous reproduisons dans le Tableau 5.1 les questions pertinentes et présentons les résultats de notre enquête pour les 5 firmes de type NFE en zone grise, et les 3 autres de type traditionnel sur fond incolore.

Par ailleurs, le chiffre qui apparaît en caractère gras et entre parenthèses à la fin des énoncés d'enquête, dans la colonne de gauche, désigne le numéro des hypothèses que nous avons élaborées (voir sections 5.4 à 5.8 de ce mémoire).

Tableau 5.1 : Réponses brutes au questionnaire MINE

			Classique		Véhic élec		NFE					
			hydra Général		velo élec		voitélec élec		biom outils gaz biom		PV	
			108	105	107	101	104	103	102	106	μ NFE	σ NFE
I. THE CONTEXT OF INNOVATION IN YOUR SECTOR												
1) Please indicate which element best describes your context:												
a) Nature of customers and of their needs												
Customers provide significant expertise about how our products operate (1)	3,38	1,41	2	3	5	3	3	2	3	6	3,40	1,52
b) Nature and extent of scientific and technical knowledge production (5)												
New knowledge results mainly from intense interactions between firms	5,00	0,93	6	5	6	4	5	6	4	4	4,60	0,89
New knowledge results from the gradual accumulation of experience inside firms	5,88	1,25	6	6	6	7	3	7	6	6	5,80	1,64
c) Factors that influence innovation in your sector (5)												
Intellectual property protection enables firms to capture all the value from innovations	4,88	2,23	1	4	7	6	3	7	7	4	5,40	1,82
Large unit cost reductions can be obtained by increasing the scale of operations (2)	5,63	1,41	3	7	6	4	7	6	6	6	5,80	1,10
d) Resource inflows and growth in the sector (4)												
Governments allocate a lot of resources to support research and innovation	5,00	1,77	6	6	5	6	6	6	4	1	4,60	2,19
Sales in recently opened niches within our sector grow extremely fast	5,63	1,06	5	5	6	4	6	7	5	7	5,80	1,30
e) Strategic and competitive dynamics in the sector (2) (3)												
The pace of change in our sector is very fast compared to other sectors	4,50	1,93	2	3	7	7	4	4	3	6	4,80	1,64
Very often, new competitors enter the sector with innovative products	3,38	1,41	2	3	3	5	2	5	2	5	3,80	1,64
Established competitors constantly challenge our positions (4)	4,63	1,19	7	5	4	4	4	5	3	5	4,20	0,84
											4,27	0,50
II. VALUE CREATION CAPABILITIES												
Which of following capabilities are important for producing customer value in your sector?												
Capability...												
...to transform the results of academic research into useful products (1)	6,25	1,04	6	4	7	6	7	7	6	7	6,60	0,55
...to legitimate products by obtaining regulatory approvals	5,63	1,06	6	4	6	6	7	6	4	6	5,80	1,10
...to spur the creation of complementary products around open architectures (5)	4,00	1,69	5	4	7	4	2	5	3	2	3,20	1,30
...to align with dominant solutions in order to avoid disruption for clients (2)	5,13	1,36	5	4	6	6	3	7	6	4	5,20	1,64
...to engineer products with absolute reliability, safety, and security (1)	6,13	0,83	6	7	6	7	5	6	7	5	6,00	1,00
...to continually reduce costs (including through supply chain design) (4)	6,00	0,53	5	6	6	7	6	6	6	6	6,20	0,45
...to continually improve the quality of products	6,13	0,83	6	7	6	7	5	6	7	5	6,00	1,00
...to anticipate and solve customers' problems in special applications (3)	5,75	1,28	5	6	7	6	3	7	6	6	5,60	1,52
											5,58	1,04
III. YOUR FIRM'S INNOVATION STRATEGY												
1. Sources of competitive advantage for your firm												
How important are these sources of competitive advantage to your firm												
Superior technologies and know-how (1)	6,13	1,13	6	7	7	7	4	6	7	5	5,80	1,30
Better reputation with customers (1)	6,13	0,99	6	7	6	6	7	6	7	4	6,00	1,22
Favorable laws and regulations (barriers...)	3,38	1,69	2	6	5	3	5	2	2	2	2,80	1,30
Ownership of rare tangible assets	4,50	1,41	6	6	6	4	3	5	3	3	3,60	0,89
											4,55	1,59

Tableau 5.1 (suite) : Réponses brutes au questionnaire MINE

5. To what extent do you agree with these statements about your strategic actions (4)												
a) The essence of the strategic initiative you currently undertake (2)												
We build a radically different source of competitive advantage	5,50	1,31	6	5	7	3	5	7	6	5	5,20	1,48
We reinforce our current sources of competitive advantage	5,50	1,07	5	5	6	5	4	7	7	5	5,60	1,34
c) Your firm's strategic perspective for the long-term (3) (2)												
We proactively develop several parallel strategic paths and long term options	5,50	1,41	6	4	6	3	6	7	7	5	5,60	1,67
We create an adaptive organization, capable to withstand any unexpected change	5,88	0,99	5	7	7	5	5	7	6	5	5,60	0,89
											5,60	0,00
6. Investment in innovation and capabilities (includes both R&D and other activities)												
a) R&D investment over sales	34,57	30,78	1	1	25	90	50	40	35	NA	53,75	24,96
b) Investment in innovation over and above R&D expenditure	2,25	0,71	1	3	2	3	2	2	3	2	2,40	0,55
g) Types of innovation (2)												
% for radical innovations	33,88	32,49	0	5	60	90	11	15	30	60	41,20	33,39
% for new platform development	12,75	10,58	10	0	10	0	22	30	10	20	16,40	11,61
% for small incremental improvements	20,38	13,19	40	25	10	0	33	25	10	20	17,60	12,90
% for cost reduction	32,88	23,12	50	70	20	10	33	30	50	0	24,60	19,77
V. YOUR FIRM'S INNOVATION NETWORK												
2. Internalization (1)/externalization(0) of innovation activities (2) (5)												
Generating and defining product concepts			1	1	1	0-1	1	1	0	0	0,50	0,58
Designing and engineering system architectures			1	1	0	1	1	1	1	NA	1,00	0,00
Testing and validating prototypes or products			1	1	1	0	1	1	0-1	0	0,50	0,58
Regulatory approval procedures			1	1	1	0	0	1	0	NA	0,25	0,50
3. Network partners that play key enabling roles for innovation (4)												
Helps our firm learn about new technologies	5,25	2,05	7	6	6	2	6	7	2	6	4,60	2,41
Helps our firm learn about new markets	4,50	2,27	1	5	7	1	5	6	6	5	4,60	2,07
Provides our firm with business advice	4,00	2,10		5	6	4	2		1	6	3,25	2,22
Identifies partner firms and organizations	4,88	1,25	6	5	5	6	5	5	5	2	4,60	1,52
Facilitates innovation involving multiple organizations	4,88	0,64	6	5	5	5	5	5	4	4	4,60	0,55
Promotes enabling standards (5)	4,00	2,56	7	6	5	6	1	5	1	1	2,80	2,49
											4,08	0,83
VI. PRACTICES THAT YOUR FIRM USES TO MANAGE INNOVATION												
1. Do you agree with the following statements regarding your firm's exploration practices? (4)												
Practices for exploring opportunities to innovate and searching for new ideas												
We co-opt leading external experts (scientists, "gurus") to help us probe the future	3,63	2,13	1	1	4	3	4	7	3	6	4,60	1,82
We interact with many university spin-offs to identify radically new ideas	4,25	2,25	6	1	6	4	1	7	5	4	4,20	2,17
											4,40	0,28
2. Do you agree with the following statements regarding the management of your portfolio?												
Practices for the management of the firm's innovation portfolio												
Many unofficial projects are supported to challenge current strategy	4,00	1,31	5	2	5	4	3	6	3	4	4,00	1,22
3. Do you agree with the following statements about your innovation projects?												
Please consider a few important projects that your firm completed recently												
Our concepts are based on extensive prior classification and prioritizing of user needs (1)	4,88	1,36	6	4	7	3	6	5	4	4	4,40	1,14
Very early, we integrate representatives of our key customers in the development team	3,63	1,85	2	2	6	4	6	5	2	2	3,80	1,79
We try to benefit extensively from suppliers' experience in our innovation projects	3,13	1,73	2	2	5	3	4	6	2	1	3,20	1,92
We simulate extensively the behavior of our product before building a full prototype (7)	5,50	0,76	4	6	6	6	6	5	5	6	5,60	0,55
											4,25	1,02
VII. FIRM PERFORMANCE												
1. Performance compared to competitors												
How well is your firm doing, relative to competitors, in each of the following areas												
The growth rate of our firm (or of the relevant SBU used for this survey)	5,38	0,92	5	5	5	6	6	5	7	4	5,60	1,14
Creation of customer value through innovation	6,00	0,53	6	5	6	6	6	6	7	6	6,20	0,45
Frequency of major new products releases	4,57	0,98	3	4	5	6	NA	5	5	4	5,00	0,82
											5,60	0,60
2. Sales growth:												
Over the last 3 years what would be your annual sales growth?	4,63	1,69	5	6	6	2	5	6	5	2	4,00	1,87
3. Profitability												
Over the last 3 years, what was your average net profit on sales?	1,88	0,64	2	3	2	1	2	2	1	2	1,60	0,55
Over the last 3 years, what was your average return on investment (ROI)?	1,71	0,76	2	3	1	1	NA	2	1	2	1,50	0,58

Tableau 5.1 (suite) : Réponses brutes au questionnaire MINE

5. Looking more closely at profits from new products in your firm or BU's:

Please indicate how radical innovations, more innovative projects, and incremental innovations contribute to profits by dividing the total profits into the following four categories:

a) From radical innovations/breakthroughs	22,86	38,61	0	0	50	10	NA	0	0	100	27,50	48,56
b) From new platform/generation products	22,86	38,50	5	5	0	50	NA	100	0	0	37,50	47,87
c) From addition of new products within existing platforms/families	16,43	25,45	15	5	0	25	NA	0	70	0	23,75	33,01
d) From incremental innovations, improvement, adaptation and cost reduction	37,86	36,73	80	90	50	15	NA	0	30	0	11,25	14,36

VIII. COMPANY INFORMATION

6. What is your market share in the main business in which you compete?

7. How many serious competitors do you face?

25	35	50	?	?	20	90	?
2	2	5	10	15	10	5	Many

5.3.1 Précisions sur les terminologies

Comme signalé précédemment, le questionnaire MINE fait appel en très grande majorité à une échelle de Liekert. Chaque fois qu'on fera référence à une réponse chiffrée sans préciser de signification, il s'agira par défaut d'une réponse sur cette échelle de 1 à 7. Rappelons que sur une telle échelle, 4 est la valeur neutre.

Autre précision de nature globale à l'interprétation du questionnaire, il faut faire une distinction lexicale sur le mot "radicalité". Le plus souvent, quand on évoque une radicalité en gestion des technologies, on parle d'une nouveauté à la fois architecturale (qui a un impact sur la façon de concevoir l'intégralité d'une solution) et modulaire (dans la façon de concevoir les modules, pris indépendamment). Si, par contre, on demande à un entrepreneur si ses technologies sont "radicales", cet industriel n'aura pas tendance à faire appel à cette distinction d'architecture et de module, mais évaluera "l'originalité" de ses solutions. Il sera tenté d'appeler une solution originale, une solution radicale ou une technologie radicale. Il est aussi parfois possible, que les deux notions concordent : une entreprise peut proposer une innovation radicale, par exemple, dans les alternateurs pour éolienne. Mais ce qui est radical à ce niveau ne l'est pas forcément pour l'éolienne prise dans son ensemble : c'est-à-dire son architecture, les marchés auxquels elle s'adresse et les façons de mesurer la performance qu'elle atteint.

Quand donc nous en viendrons à évaluer ce que nous appelons ici la "poursuite de voies de développement radicales" (ce qui signifie pour nous la création de nouveaux marchés

basés sur de nouvelles métriques de la valeur), il ne faudra donc pas se rapporter *stricto sensu* aux dires des répondants sur les questions faisant appel à la racine du mot “radical”.

5.3.2 Considérations sur l'échantillon

Les données de performance économique récoltées (sections VII et III6 - section R-D/ventes - du questionnaire) sont très claires quant à la nature de l'échantillon. Aucune des entreprises citées n'est extrêmement jeune (en tout démarrage ou pré-démarrage), mais elles ne sont pas non plus toutes établies. **104** et **106**, par exemple, n'ont jamais eu de ventes stables, et sont toujours restées au stade du prototype (III6 : **106** ne peut calculer son rapport RD/ventes). À l'opposé, **101** et **103** ont déjà eu des contrats : **101**, sur des petites séries de machines, ou **103** grâce à son activité de services qui est bien mieux installée que leur développement de produits. Aucune de ces entreprises n'est donc réellement sortie de sa période d'enfance (le risque d'échec est toujours présent, et aucune n'a atteint un point d'équilibre avec retour sur investissement significatif : cf. VII.3.2 avec une moyenne de 1,5, où 1 signifie “retour sur investissement négatif” et 2 “entre 0% et 5%”), mais cela n'empêche pas les répondants de considérer qu'ils ont une croissance supérieure à la moyenne de leurs concurrents (VIII1 avec une moyenne de 5,6), même si les ventes ne suivent pas toujours (VII2, avec des réponses variant de 2 à 6).

Somme toute, notre échantillon représente donc assez bien notre cible visée : des entreprises dans une variété de contextes technologiques différents, à des degrés de maturité différents, mais qui partagent la problématique d'entrepreneurs amenant dans le secteur énergétique des innovations NFE, et qui ont prouvé une certaine aptitude dans leur domaine de compétition, avec déjà plus de trois ans d'existence.

5.4 Observations sur la création de la valeur

Hypothèse : Dans les nouvelles filières énergétiques comme dans les courses MINE, la capacité à mettre en production le savoir est le vecteur de création de valeur primordial (car il constitue le ticket d'entrée), mais les vecteurs de qualité et de prix sont bien plus importants relativement que dans les courses.

5.4.1 Discussion générale sur la création de la valeur

On voit (section I1) que généralement, le client est assez peu expert dans le fonctionnement des produits (moyenne de 3,4, et encore seul le photovoltaïque se démarque avec une réponse à 6). Cela ne remet pas en cause sa capacité à juger de la performance, mais suggère que les fournisseurs de solutions NFE sont assez libres de poursuivre les voies technologiques qu'ils entendent, a priori.

Cependant, en y regardant de plus près, on constate que le client dirige en fait énormément les choix de l'entreprise par d'autres biais que son expertise technologique. Tout d'abord, parce que même si le client n'est pas expert, on se rend compte que la réputation perçue, dont la réputation technologique, est la source la plus essentielle de l'avantage compétitif (III1a et b qui avec 5,8 et 6 de moyenne sont les 2 réponses au-dessus de la moyenne - 4,5 - de leur groupe de question, et avec une large avance). En conséquence, les entreprises se doivent d'avoir une adaptabilité et une réactivité exemplaire aux perceptions de leurs clients, et pas seulement du point de vue technologique, ce que confirme III5c (les entreprises reconnaissent à 5,6 de moyenne poursuivre plusieurs voies stratégiques de façon adaptative). D'ailleurs, et même si ce n'est que d'une courte avance, le dernier vecteur de création de la valeur au-dessus de la moyenne porte sur la capacité d'anticipation des besoins spécifiques des clients (IIh moyenne 5,6, alors que la moyenne du groupe de question est à 5,58).

Enfin, et c'est là encore un consensus, dans les différents domaines abordés ici, on se rend compte que les besoins spécifiques des clients sont les pilotes des projets d'innovation (VI3a - avec 4,4 qui se rapporte aux besoins techniques des clients - et d - avec 5,6 qui se rapporte à l'importance de l'anticipation des qualités techniques du produit, dans un souci de précision et de fiabilité. Ces deux questions sont les plus importantes de leur groupe).

Au final, on retrouve l'ensemble de ces points en évidence dans le groupe central de questions sur la création de valeur, le groupe II. La création de la valeur se fait, certes, d'abord et avant tout par la capacité à mettre en production des technologies à forte valeur scientifique (II1, moyenne 6,6). Mais au-delà, et bien plus que dans les courses technologiques MINE (cf. Annexe 1), les coûts (IIf moyenne 6,2) et la qualité (IIe et g, moyenne 6) sont des vecteurs extrêmement importants, presque à égalité.

5.4.2 Conclusions et limites

Cette forte présence des questions de coût et de qualité tend à prouver que l'innovation des NFE n'offre qu'une faible valeur ajoutée au-delà de la pure logique économique : ce comportement est plus typique d'une dynamique de stabilité que de création d'une nouvelle source de valeur. Les entreprises innovantes des NFE sont valorisées dans le système de valeur classique de l'énergie, et ne semblent pas redéfinir les critères de compétition (comme on attendrait d'innovations radicales, cf. chapitre 2).

L'importance des clients dans les processus d'orientation de l'innovation mériterait d'être mieux qualifiée, mais on note un consensus à la fois sur leur manque d'expertise technique, et sur leur omniprésence dans le choix des priorités technologiques stratégiques (avantages compétitifs et conception de nouveaux produits).

On arrive donc à deux conclusions assez corollaires. Premièrement, la **distinction assez nette entre l'arène des NFE et la configuration de joute en "course technologique", caractérisée par le poids relatif de la qualité, du prix (surtout), et de la satisfaction client, relativement bien plus importantes** que dans les données de la joute en question (ce qui était notre hypothèse de base). Corollairement, **cette importance relative de facteurs très "conservateurs" est un premier pas dans la caractérisation d'un comportement d'innovation classique, ou conservateur**, adopté dans la valorisation et la diffusion des technologies NFE.

À cet égard, nous attendions un poids plus important de la question IIId (moyenne 5,2 alors que la moyenne du groupe est à 5,58), qui porte sur la nécessité d'éviter la discontinuité pour les clients. Mais la liberté d'interprétation de son intitulé (*Capability to align with dominant solutions in order to avoid disruption for clients*) explique sans doute son faible poids. Soit que le répondant insiste sur la notion de discontinuité, auquel cas, il aurait sans doute répondu plus favorablement; soit qu'il insiste sur la notion d'alignement, et là, il répond de façon plutôt neutre comme c'est le cas ici : les projets énergétiques sont le plus souvent réalisés au cas par cas dans des solutions sur mesure. Au niveau de chaque module, il est rare de voir des architectures ou designs dominants sur lesquels de petits innovateurs peuvent s'aligner. Notre intuition est qu'au final, si l'on considérait une chaîne de valeur complète,

elle serait sensible à l'alignement avec des solutions dominantes. Mais cette contrainte ne se répercute qu'au niveau des intégrateurs technologiques, qui possèdent l'interface avec le client final. Les fournisseurs de modules sont plus libres de leur mouvement, ce qui apparaît ici.

En règle générale, la portée de ces affirmations est très statique. Rien ne prouve que les critères de création de valeur soient stabilisés. Cette configuration pourrait très largement évoluer au fur et à mesure de l'évolution des modèles d'affaires ou de la technologie. On n'a qu'à imaginer l'impact qu'auraient une percée technologique majeure, une volonté politique forte imposée, ou alors un mouvement agressif massif lancé par un gros joueur, qui feraient sans doute basculer la variable principale du niveau développement technologique, au niveau déploiement technologique. Cela semble d'ailleurs inévitable à terme, et il est difficile ici de voir quand, et comment.

Finalement, rappelons que nous considérons seulement quelques entreprises innovatrices et indépendantes du secteur. Les filiales de grands groupes énergétiques, comme BP Solar, par exemple, ont sans doute des problématiques et priorités différentes (leur assise sur un grand groupe leur assurant la pérennité, entre autres).

5.5 Observations sur l'intégration verticale

Hypothèse : Comme dans les courses technologiques MINE, la différenciation reste une volonté majeure des acteurs en NFE, et les intégrateurs technologiques sont les gouverneurs de l'innovation. Cependant, à la différence des courses, le réseau d'innovation tend à vouloir s'intégrer dans de très fortes relations stratégiques (jusqu'au rachat), non pas à prospérer au travers d'entreprises spécialisées et indépendantes.

5.5.1 Éléments de réponse pertinents

Le groupe de questions III3 (moyenne 3,97) montre que les initiatives de collaboration les plus poursuivies se font selon une volonté d'intégration avec ses clients et fournisseurs. La recherche de partenariats stratégiques (III3d, moyenne 5,8 et écart-type < 0,5) est de loin

la notion la plus partagée par les entreprises, et cette volonté de ne pas rester indépendant est très originale pour des entreprises innovantes, très loin des cas classiques observables, par exemple, dans les télécommunications. Arrivent en seconds, en termes de collaboration, les efforts d'intégration de la chaîne de valeur (III3e, moyenne 4,4).

Cette intégration peut aller jusqu'à l'externalisation des choix technologiques. Dans le groupe de question V2, on remarque que deux entreprises laissent cette fonction à l'extérieur, deux autres la conservent à l'interne, et une dernière affirme évoluer entre les différentes possibilités. En revanche, il apparaît clairement que les entreprises restent en charge de la réalisation des produits qui leurs sont confiés (V2b, tout est réalisé à l'interne). On peut en déduire que les entreprises restent, à l'origine ou par leurs choix en phase de réalisation technique, des forces de propositions technologiques nouvelles.

La différenciation des entreprises est aussi une volonté affichée. Le score obtenu par la réponse III5a, qui porte sur la poursuite de nouvelles sources originales d'avantages compétitifs, est très proche du score obtenu par III5b sur le renforcement des avantages actuels (respectivement 5,2 et 5,6). Cette constante recherche de différenciation pour le futur indique bien que le moteur de compétition est dans la recherche d'une position originale, et pas dans l'optimisation de son système actuel.

Dans le même esprit, les questions en III6g montrent que l'investissement en plates-formes et innovations radicalement nouvelles est poursuivi de façon régulière à un fort niveau, même dans les cas où l'entreprise reste concentrée sur l'optimisation des produits de génération actuelle. Les écarts-types sont trop importants pour qu'une moyenne ait une valeur significative, mais on peut noter que deux entreprises sur cinq dépensent largement plus (90% et 80%) en nouvelles plates-formes et innovations fortes plutôt qu'en innovations d'optimisation. Cette valeur oscille pour les trois autres entre 33% et 45%, ce qui confirme l'importance de la recherche de nouveautés caractéristiques et uniques, même dans des contextes divers.

Finalement, observons qu'en 1e (*Strategic and competitive dynamic in the sector*), les entreprises du secteur considèrent que les entreprises historiques sont plus déterminantes (et éventuel-

lement dangereuses) dans la dynamique de compétition que, par exemple, l'arrivée de nouveaux compétiteurs (moyenne de 4,2 contre 3,8).

5.5.2 Interprétation

Regroupons en quelques mots les éléments précédents : les entreprises cherchent à s'intégrer aussi bien stratégiquement (partenariats et prises de participation) que dans les chaînes de valeur et d'approvisionnement. Elles abandonnent parfois même la spécification des produits à des entreprises extérieures, même si elles restent aptes à proposer des voies technologiques de leur choix par la suite. Elles cherchent en permanence à trouver une différenciation technologique nette en poursuivant des voies très innovatrices, tout autant sinon plus qu'elles cherchent à améliorer leur technologie actuellement disponible. Finalement, elles considèrent que la dynamique de compétition est d'avantage pilotée par les entreprises historiques que par les nouveaux entrants.

Nous avons aussi vu lors de la discussion sur la création de la valeur que la réputation auprès du client et l'adaptabilité aux conditions du marché sont des facteurs indiqués comme déterminants dans l'avantage compétitif.

Nous proposons une dynamique centrée sur les joueurs historiques pour expliquer ces comportements. Ces joueurs ont un rôle central, qui leur est conféré autant par leurs moyens financiers que leur position comme porte d'accès au marché, et leur rôle d'intégrateurs finaux de solutions énergétiques. En ce sens, ces entreprises ont le pouvoir de légitimer une option technologique, et ce, pas seulement sur ses critères de mérite technologique, mais par le simple fait de pouvoir choisir une solution particulière plutôt qu'une autre. Ce choix apporte à son tour crédibilité, débouchés (et promesses de débouchés futurs à fort volume), et donc des ressources à une entreprise en particulier, bien plus qu'à ses compétiteurs, qui ne profitent alors que d'un gain indirect de momentum.

L'intérêt des entreprises est alors de se configurer pour se faire choisir par un intégrateur de solutions complètes. On explique ainsi pourquoi les entreprises misent sur la différenciation et l'adaptabilité au client, soit dans le but de valoriser un critère particulier qui la rend

attractive au point de devenir un partenaire-clé et nécessaire d'une solution. Ainsi l'entreprise s'assure-t-elle des ressources pour poursuivre ses voies technologiques.

C'est le sens de notre hypothèse : **en NFE, la poursuite de la différenciation est bien présente, mais contrairement à une configuration de course MINE, le contexte d'innovation est en fait piloté par des entreprises historiques, et pas par des innovateurs vraiment indépendants.**

En effet, on constate que l'indépendance est une dimension que les entreprises sont prêtes à rejeter en échange de l'intégration stratégique. Il semble raisonnable de penser aux vues du cadre théorique que c'est l'importance du coût des solutions technologiques, la résistance au changement, ainsi que l'ampleur des technologies différentes à coordonner qui provoquent la nécessité de centralisation et de pilotage de l'innovation dans des intégrateurs puissants. Aucune donnée du questionnaire ne permet de l'affirmer précisément, mais c'est pour ces raisons que les intégrateurs auraient le pouvoir de légitimer ou non une option technologique par le fait de la choisir, et non pas simplement sur les bases de son mérite. Dans une telle logique, il est capital pour les innovateurs de s'insérer dans les visées stratégique des intégrateurs, et de se s'assurer ainsi des ressources, et une raison d'être pérenne, d'où la différenciation.

Si ce mécanisme constitue une explication logique aux comportements observés - et d'ailleurs, dans la continuité des études de cas réalisées en chapitre 4 - plusieurs points sont en suspens. Par exemple, la faible intégration reconnue des clients dans les équipes de développement (VI3b - moyenne de 3,8 - et c - moyenne de 3,2 - sont les deux questions les moins significatives de leur groupe) : est-ce par manque d'intérêt (client passif qui attend de voir si la solution atteint un niveau intéressant) ou bien au contraire parce que l'intégration verticale n'est pas si poussée dans les faits ? Rien ne permet de répondre ici.

Des doutes subsistent encore sur les questions d'échelle. En particulier, Ic2 indique que des économies substantielles pourraient être réalisées si l'échelle de production augmentait (moyenne 5,8), mais III2b indique que les entreprises n'ont pas utilisé l'échelle comme source d'avantages compétitifs (les vecteurs significatifs sont la protection de la PI - 6,2 - et la poursuite de stratégie de niches - 5,6 -, la question de l'échelle a une moyenne de 3 dans

ce groupe où la moyenne est 4). Connaissant l'importance du prix de revient pour ces entreprises (cf. création de la valeur), cela est curieux. Là encore, il faudrait plus de données pour déterminer les options : est-ce la jeunesse des technologies qui a compté (une entreprise au stade du prototype ne se préoccupe pas de l'échelle), ou est-ce que les entreprises considèrent que l'échelle est le problème de leurs intégrateurs ? Ou encore, l'importance des économies d'échelle est-elle surestimée par les entreprises innovantes ? Des données spécifiques sur l'effet de masse et sur l'attrait des promesses de fort volume dans les décisions technologiques pourraient nous éclairer sur la dynamique évoquée ici.

5.6 Observations sur l'attentisme de la joute

Hypothèse : L'attentisme en NFE n'est pas lié à la posture technologique des entreprises, qui entretiennent une réelle vélocité du contexte, et s'en accommodent. La raison est à chercher dans les variables contextuelles, par exemple : incertitude, disproportion entre la durée de vie des équipements et la vélocité technologique, long temps d'attente du retour sur investissement.

5.6.1 Réactivité, adaptabilité et dynamisme des entreprises

La rapidité technologique est une partie intégrante du contexte des NFE. La question Ie (moyenne de 4,8, la plus significative de son groupe) insiste sur le fait que la vélocité technologique est le moteur principal de la dynamique stratégique et concurrentielle du secteur.

III4 indique que les stratégies et marchés visés sont très régulièrement examinés, avec une forte concordance des réponses sur une analyse à 2 mois ou plus fréquente (valeur de réponse 2), alors que l'émergence, les durées de vie des entreprises, les cycles technologiques et les durées de développement se comptent en année. C'est dire que le contexte est fort changeant.

Finalement, III5c (toutes les réponses à moyenne de 5,6) indique que les entreprises aiment à poursuivre des voies alternatives à long terme et développer des capacités d'adaptation et de réaction (pas seulement en ce qui concerne la technologie).

Le tout indique donc que les entreprises sont très attentives aux évolutions rapides d'un contexte, technologique ou compétitif. Elles cherchent à anticiper le futur proche ou lointain, gardent leurs options stratégiques les plus ouvertes possibles (III5c avec moyenne de 5,6) et analysent leurs fondements stratégiques et les marchés visés très fréquemment.

5.6.2 Interprétation

Les observations ci-haut sont cohérentes avec un contexte à évolution rapide, mais contradictoirement, on constate d'un point de vue macro un grand attentisme, une timidité dans l'implantation de technologies NFE dans le paysage énergétique.

Notre conclusion est donc que l'attentisme sur le secteur n'est pas lié à la posture technologique des entreprises, qui est toujours réactive, ni à la faiblesse de leur technologie, mais au contexte qui n'offre pas sa chance aux technologies nouvelles. En particulier, il s'agit d'un contexte qui refuse la prise de risques !

La logique que nous proposons pour expliquer ceci est celle d'une incertitude rendue particulièrement intense par la durée et le montant des investissements, et qui tempère chaque nouvelle opportunité offerte par les évolutions de la technologie.

Dans un contexte de haute vélocité technologique, mettant en jeu des investissements en fort volume sur des durées de vie prolongées (dizaines d'années), chaque investissement gagne à être toujours retardé : le retour sur investissement devient de plus en plus sûr ou considérable au fur et à mesure du développement et de la maturité de la technologie. **La vélocité participe donc en fait à l'incertitude, ce qui en fait un facteur d'attentisme.** Dans le même temps, si aucune action compétitive ou de déploiement n'est entreprise, la valeur n'est jamais capturée pour personne (ni pour les entreprises NFE, ni pour leurs clients qui en chercheraient des bénéfices spécifiques), ce qui milite en faveur d'actions bien proportionnées et prises à différentes époques.

Une réelle dynamique pourrait donc être instaurée plus rapidement non pas par plus de vélocité technologique (dans le sens d'un foisonnement tous azimuts d'idées nouvelles), mais par une convergence technologique et un contexte plus ouvert ou prêt (ou incité) à

prendre des risques. À terme, par contre, la vélocité technologique peut produire des bonds de performance et se révéler un atout majeur.

À l'heure actuelle, la vélocité technologique se heurte à l'absence de momentum, crée donc de l'incertitude, et augmente à la fois le risque et la rentabilité de l'attente.

5.7 Observations sur les actions pionnières et sur les stratégies de niche

Hypothèse : si nous assistons à un scénario d'innovation conservatrice, alors, nous devons aussi assister à un déficit d'actions entrepreneuriales et pionnières en dehors de niches éventuellement viables mais contraignantes.

5.7.1 Discussion sur les résultats

Les comportements observés relativement au positionnement dans des niches de marché sont assez similaires pour toutes les entreprises. Toutes reconnaissent que l'industrie actuellement sait créer des niches, et que la valeur y croît fortement (Id2, moyenne 5,8).

III2c (moyenne 5,6, deuxième question la plus significative du groupe de moyenne 4,03) semble indiquer d'ailleurs que c'est une voie stratégique majeure que de suivre des niches viables et d'y établir un marché. Individuellement, ce vecteur est toujours premier ou second le plus significatif, derrière l'axe stratégique de défense de propriété intellectuelle. La spécification de la notion de niche *viable* est importante : il ne s'agit pas de créer les niches et de travailler à leur éclosion, mais bien de les découvrir alors qu'elles sont déjà viables, et d'en tirer des bénéfices. D'ailleurs, les entreprises aiment à multiplier les sources prospectives de connaissance pour identifier les nouveautés porteuses (VI1 : les entreprises sollicitent également les différentes sources d'exploration. V3 : le réseau d'informations et d'aides des entreprises est très vaste et elles cherchent à y obtenir des informations sur les nouvelles possibilités, plus que des conseils d'affaire).

Cependant, et c'est là que la dynamique se complique, Ie3 indique que les entreprises craignent plus les joueurs historiques de l'énergie que de nouveaux entrants (4,8 contre 4,2),

ce qui indique que même dans des niches, les positions des entreprises innovantes sont attaquées par des entreprises conventionnelles, ou par leurs subsides.

Au final, et cela est bien illustré par III5 (toutes les questions oscillent à des niveaux très proches, entre 5,2 et 5,6), les entreprises sont très partagées entre la recherche de différences technologiques radicales et les impératifs des opportunités présentes: on recherche à part égale les avenues futures (promesses de marché de masse, différenciation technologique claire, etc.), mais on assure sa survie avec des préoccupations contradictoires (découverte et poursuite de niches, majorité des ressources ciblant les problématiques présentes).

Finalement, rappelons nos considérations précédentes sur le groupe de questions II. L'équilibre entre les différents vecteurs de création de la valeur n'est pas typique de la poursuite de stratégies pionnières (avec l'emphasis sur le prix et la qualité, qui sont des caractéristiques de marchés établis).

5.7.2 Conclusions et limites

Ici, nous ne pouvons pas apporter de réponse définitive. Notre échantillon d'entreprises est à caractère entrepreneurial, sa spécificité est donc d'avoir en permanence à assurer sa survie et sa crédibilité. Il est dans toute entreprise de ce type une asymétrie entre la volonté de servir des marchés porteurs mais distants, et la poursuite efficace d'opportunités immédiates plus petites mais nécessaires.

Il est donc difficile pour nous d'évaluer si les comportements d'innovation nettement distingués (poursuite de stratégie de niche, poursuite prioritaire de marchés actuels à valeur prouvée) **sont le résultat d'une enfance à haut risque de l'entreprise, typique de tout entrepreneur, ou bien le résultat plus global d'une pression** directe des joueurs historiques qui gouvernent globalement le processus pour créer ces conditions.

Stratégie volontaire ou non de la part des joueurs historiques, les entreprises innovantes ressentent leurs actions potentielles comme une menace, ce qui donne du crédit à la notion de gouvernance de la joute par les joueurs majeurs : leurs actions sont perçues comme capables d'influer (détruire ou apporter la crédibilité) de façon définitive sur la valeur créée par une entreprise innovante.

Quelle que soit l'ampleur de la pression contextuelle sur ces entreprises innovantes, il apparaît clairement que les initiatives pionnières, de création de marché ou d'ouverture de voies radicalement différentes des avenues poursuivies par les joueurs classiques de l'énergie, sont quasi inexistantes : chacune reste sous la menace de joueurs historiques.

5.8 Observations sur le protectionnisme et la vigueur de la communauté

Hypothèse : dans un contexte conservateur d'innovation, le protectionnisme technologique des innovateurs doit être très fort et toute forme de collaboration horizontale entre compétiteurs doit être quasi-nulle.

5.8.1 Résultats

Les données sur cette question sont nombreuses. I1b montre que les entreprises considèrent primordiale l'accumulation interne de connaissance, et secondaire la création de connaissances par échanges de savoir entre différentes entreprises (moyenne de 5,8 contre 4,6).

Ic (moyenne de 5,4) et III2 (question e, la plus significative de son groupe avec une moyenne de 6,2 contre 4,03 pour le groupe) insistent sur l'intérêt stratégique majeur que constitue la protection active (préventive, défensive, et avec recours juridique) de la propriété intellectuelle.

V2 indique que les entreprises ont une forte tendance à intégrer le maximum de fonctions à l'interne, depuis la définition des concepts jusqu'à l'industrialisation.

Dans III.3, les vecteurs les plus significatifs sont regroupés dans les concepts de collaboration verticale (moyenne de 5,8 pour la question d sur les partenariats et de 4,4 pour la question e sur l'intégration de la chaîne de valeur), laissant en bas de classement les collaborations avec compétiteurs (III3a sur le développement de feuilles de route technologiques de moyenne 3,6, b sur les licences coopératives pour faire émerger les marchés de moyenne 3 et f sur la collaboration à la définition de normes, de moyenne 3,8, toutes en dessous de la moyenne du groupe de questions : 3,97).

Enfin, les questions relatives aux actions prises par les entrepreneurs pour participer **activement** à l'élaboration ou l'évolution d'architectures ou plates-formes communes sont très faibles : II3 (moyenne 3,2), III2f (2,8), III3a (3,6), III3f (3,8), V3f (2,8), démontrent toutes cette tendance des entreprises à ne pas s'architecturer ou unir leurs savoirs autour de modules communs. Soit qu'elles laissent ce comportement à d'autres entreprises, et ne prennent pas cette partie de leur destinée en main, soit qu'elles considèrent que cette notion n'est pas significative.

5.8.2 Interprétation

Les entreprises travaillent avec un grand niveau d'intégration avec leurs clients (ou, tout du moins, elles y aspirent avant tout). Par contre, elles se défendent agressivement contre l'imitation et la concurrence.

La coopération pour l'édiction de standards communs, la poursuite de voies technologies communes ou compatibles, le partage ou l'établissement de feuilles de routes et de leur calendrier : tout cela n'est pas spontanément réalisé par les entreprises à leur niveau. Probablement, elles laissent à de plus gros joueurs (qui en ont plus le temps et les moyens) ces rôles de gouvernance. En conséquence, on peut noter qu'il devient difficile de porter à son fruit une vision entrepreneuriale si l'agencement final des solutions n'est pas pris en main par les entreprises innovatrices elles-mêmes.

Mais de façon plus rapprochée de notre hypothèse, on peut encore théoriser un motif cohérent. On a insisté sur l'importance de la différenciation technologique comme élément moteur des stratégies technologiques et compétitives, et on en voit ici les fruits : la technologie reste la seule valeur tangible des entreprises qui veulent l'utiliser comme levier pour s'insérer dans des chaînes de valeur à grande promesse essentiellement (cf. sections précédentes). Le contexte pousse tellement au déploiement des NFE dans des problématiques à grande échelle (réseau énergétique national, syndrome de la voiture "tout électrique"...), que les technologies qui ne peuvent s'attaquer à ce type de marché ne trouvent pas de financement à la hauteur (chapitre 3). Dans un contexte aussi impitoyable, avec des technologies qui ont déjà du mal à fournir le minimum de performance nécessaire, il n'y a pas d'intérêt à partager son savoir avec des innovateurs dont les perspectives sont les mêmes marchés de

masse. Au final, la stratégie du secret permet de poursuivre le rêve de devenir “la” technologie choisie par un intégrateur, ce qui a l’avantage d’assurer la survie; alors qu’une stratégie d’ouverture sur ses compétiteurs absorbe du temps, de l’argent et une partie du savoir à partager, certes dans le but de créer des nouvelles visions et opportunités, mais pour lesquelles le contexte des énergies n’est pas perçu comme réceptif.

Concrètement, nos résultats nous amènent à conclure que c’est bien tout le cadre de “compétition” et les productions de la communauté sociale qui sont absents. Chacun poursuivant des objectifs verticaux, il est difficile d’imaginer la dynamique croisée et accumulative des opportunités ouvertes par chaque entrepreneur pour le suivant...

CONCLUSION : UN CAS TOUJOURS PARTICULIER

Stratégies et comportements observés

Nos observations quantitatives apportent quelques conclusions claires et définitives : les petites entreprises innovantes travaillent de façon extrêmement protectrice et individuelle à la création de technologies propres et originales qui sont la base de leur avantage compétitif. Elles n'essaient pas de coordonner elles-mêmes les innovations, et laissent le pilotage d'architecture à d'autres organismes. En revanche, elles utilisent le résultat de ce processus de pilotage en participant activement aux conférences, consortiums, etc.

En dehors de la technologie, ces entreprises doivent fournir fiabilité et qualité dans des produits dont le coût est contraignant. Cette formule classique est rare pour des technologies extrêmement novatrices, où l'on est plus habitué à voir des clients valoriser énormément des fonctions novatrices pour leur fonctionnalité nouvelles, en leur pardonnant des défauts de jeunesse.

Enfin, on remarque clairement que les clients des entreprises, malgré leur compétence technologique moyenne, pilotent en grande partie les processus d'innovation et obtiennent le plus souvent des solutions sur mesure taillées pour leurs besoins classiques. D'ailleurs, les entreprises ne cachent pas leur volonté de devenir des acteurs d'une chaîne de valeur intégrée dans un partenariat stratégique dont elles ne sont pas les chefs d'orchestre.

Ces quelques faits sont communs à la diversité des acteurs observés dans notre travail, depuis ceux étudiés en entrevue aux répondants de l'enquête MINE. L'échantillon est bien trop petit pour déduire une vérité statistique ou clairement quantitative sur le comportement de n'importe quelle entreprise engagée en NFE.

Logique à l'oeuvre

Cependant, ces résultats font remarquablement écho à la logique proposée dans nos deux revues de littérature, qui entourent et expliquent chacune de ces conclusions.

À chaque niveau, il est difficile de faire la part des choses entre les effets reliés simplement à la nature entrepreneuriale des entreprises étudiées, et les effets reliés au contexte spécifique des industries de l'énergie. Notre position est donc bien d'affirmer que le contexte de l'énergie exacerbe les difficultés des pionniers en plusieurs points :

- l'importance du coût et l'intensité en capital (mise de départ et risque sur l'amortissement),
- la durée de vie (qui rallonge les cycles technologiques, raréfie les opportunités, et augmente l'inertie des changements),
- la disponibilité et la fiabilité, qui sont des paramètres absolus en énergie,
- l'héritage historique qui a créé des entreprises immensément puissantes et leur a donné un statu (et un pouvoir de marché) de “pionnier établi” dans une logique industrielle en plein *lock-in*,
- l'implication politique dans les marchés de l'énergie, qui pousse au renforcement de la logique centralisée (pour répondre aux questions stratégiques ou de service public) et à la poursuite de marché spectaculaires mais difficiles (syndrome de la voiture électrique)
- la nature radicale des innovations NFE, qui rentre en pleine contradiction avec ce système centralisé.

Il résulte de ces pressions contextuelles, dans le cas de l'émergence d'une industrie, une modification originale des motifs de création de la valeur : le déplacement du “centre de gravité” vers les questions de coût et de qualité, même si la technologie et la fonctionnalité restent dominantes. Il en résulte aussi une grande volonté d'intégration : les innovateurs sont trop isolés dans une problématique trop complexe et à trop grande échelle pour créer une dynamique à leur niveau. Le jeu se passe à un niveau (de financement, de complexité,

d'échelle et de durée) tel qu'il leur faut s'intégrer dans une chaîne de valeur verticale et non coopérer pour créer des avenues radicales de développement plus petites.

C'est finalement la combinaison de ces éléments qui produit la lenteur de l'émergence de l'industrie : la présence de joueurs historiques puissants qui peuvent contrôler l'innovation, et attendre d'être prêts à lancer le changement de paradigme énergétique. Ils s'accommodent de la vélocité technologique et de la force de discontinuité des innovateurs grâce à un fort potentiel d'amélioration de leur propre technologie classique, un fort pouvoir financier, et la maîtrise du niveau architectural et complémentaire. Le fait d'être des interlocuteurs "naturels" pour les gouvernements ou autorités de décision sur les questions de l'énergie (position "usurpée", en ce sens qu'ils n'ont aucune compétence prouvée en dehors du paradigme qu'ils entretiennent) les place encore plus en position de donner le tempo.

L'innovation dans les NFE ressemblerait donc plus à d'immenses projets de recherche verticaux, confiés en impartition par de grands groupes à une multitude d'innovateurs dispersés. C'est bien entendu faux dans les faits, et l'absence de coordination globale en est l'illustration parfaite, mais tout se passe comme si c'était vrai, s'il fallait résumer en quelques mots.

Ouvertures

Il existe plusieurs façons de pousser ce sujet très porteur et en perpétuelle évolution. Premièrement, on pourrait essayer de confirmer à une échelle statistique significative les comportements observés. Notre travail avait comme but, entre autres, l'éclairage d'un secteur technologique particulier aux vues des variables usuelles du groupe MINE, et pour ce faire, la partie théorique consistant à extraire du cadre de MINE les variables pertinentes à l'émergence et au cas des énergies a été prépondérante. Nos observations de terrain (entrevues et questionnaire) ont été à portée limitée, et si la cohérence des réponses est satisfaisante, il est probable que la disparité de maturité entre des filières comme la biomasse ou l'éolien pourrait apparaître plus clairement avec un échantillon plus grand.

Dans ce même ordre d'idée, il pourrait être intéressant de chercher non plus les points communs entre les filières, mais explicitement les facteurs contextuels ou les stratégies différentes, et de les expliquer en fonction de critères comme la maturité du marché et de la technologie, la performance, la vivacité de la recherche et des alliances, etc. Ce serait un travail complémentaire très enrichissant au présent mémoire.

Deuxièmement, on pourrait restreindre encore l'étendue des problématiques de ce travail pour le préciser au niveau d'une filière, et une seulement. Il pourrait être en revanche très pertinent de chercher à observer une joute par filière, et de voir si la notion est effectivement applicable à ce niveau. Les limites d'applicabilité du concept pourraient éclairer le groupe MINE sur l'existence de nouvelles joutes, ou encore sur l'évolution ou les variantes de joutes connues.

La notion de joutes d'innovation est encore à l'étude, et son cadre théorique évolue. Pour les besoins de ce travail, nous nous sommes arrêtés à la formalisation en cours à l'année 2004, mais il est probable que de nouveaux développements à venir apportent un nouvel éclairage sur le concept de "cours technologiques", et que notre comparaison NFE/courses soit à revoir à ce moment-là.

Troisièmement, croire que la dynamique des NFE est figée dans l'attentisme est sans doute une erreur. L'approche générale du problème change en fait à grande vitesse depuis 1990, avec la redéfinition des objectifs sur les projets majeurs (véhicule électrique hybride), la multiplication des sources de valeur en portabilité (électronique portable), le contexte toujours plus riche des pays émergents. Notre étude fait un point rétrospectif sur des dizaines d'années d'émergence non achevée, mais comme dans d'autres secteurs, des mouvements compétitifs massifs pourraient s'engager très vite, et apporter un afflux de capitaux suffisant pour modifier profondément la dynamique et la gouvernance de l'innovation. Certains secteurs énergétiques sont peut-être déjà dans une telle dynamique (micro turbines, piles à combustible faible puissance...). Auquel cas, caractériser la différence de contexte avec notre étude pourrait nous éclairer sur ses limites, et notamment, expliquer comment les innovateurs peuvent se sortir d'un contexte conservateur.

Quatrièmement, et finalement, prendre le contre-pied de ce travail pourrait s'avérer fort riche. En focalisant notre attention sur de petits innovateurs indépendants, nous avons découvert des problématiques spécifiques liées à la crédibilité ou aux partenariats stratégiques, et développé une réflexion autour de la volonté d'inclusion des entrepreneurs dans les projets majeurs de grands groupes. Il serait intéressant de voir comment se comportent spécifiquement et comparativement les entreprises qui ont obtenu une telle intégration (sous forme de partenariat acquis, ou depuis leur naissance). Ce changement de perspective pourrait alors compléter et préciser ce travail.

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

- ABERNATHY, W. J. et UTTERBACK, J. M. (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80(7):40.
- AGARWAL, R. (1996). Technological activity and survival of firms. *Economics Letters*, 52(1):101–108.
- AHMAN, M. (2005). Government policy and the development of electric vehicles in japan. *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof.
- ARTHUR, W. B (1989). Competing technologies, increasing returns and lock-in by historic events. *Economics Journal*, (99):116–131.
- ARTHUR, W. B (1994). *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy (Economics, Cognition, and Society)*. University of Michigan Press.
- AUDRETSCH, D. B (1995). Innovation, growth and survival. *International Journal of Industrial Organization*, 13(4):441–457.
- AUDRETSCH, D. B et MATA, J. (1995). The post-entry performance of firms: Introduction. *International Journal of Industrial Organization*, 13(4):413–419.
- AUKEN, H. E. V. et NEELEY, L. (2000). Pre-launch preparation and the acquisition of startup capital by small firms. *Journal of Developmental Entrepreneurship*, 5(2):169–182.
- BHIDÉ, A (2000). *The Origin and Evolution of New Business*. Oxford University Press.
- BLAIS, R. A (1997). *Technological Entrepreneurship and Engineering in Canada*. Canadian Academy of Engineering.
- BYGRAVE, W. et MINNITI, M. (2002). The social dynamics of entrepreneurship. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 24(3):25–36.

- BYRNE, J., SHEN, B. et WALLACE, W. (1998). The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural china. *Energy Policy*, 26(1):45–54.
- CHERRY, R. S. (2004). A hydrogen utopia? *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(2):125–129.
- CHRISTENSEN, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press.
- COWAN, R. et HULTEN, S. (1996). Escaping lock-in: The case of the electric vehicle. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(1):61–79.
- VAN DE VEN, A. H. (1993). The emergence of an industrial infrastructure for technological innovation. *Journal of Comparative Economics*, 17(2):338–365.
- EAVES, S. et EAVES, J. (2004). A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 130(1-2):208–212.
- ERIKSON, T. (2002). Entrepreneurial capital : The emerging venture's most important asset and competitive advantage. *Technology Analysis And Strategic Management*, 13(4):445–464.
- FARREL, J. et SALONER, G. (1986). Installed base and compatibility: innovation, product preannouncement and predation. *American Economic Review*, 76(4):940–955.
- FERETIC, D. et TOMSIC, Z. (2005). Probabilistic analysis of electrical energy costs comparing: production costs for gas, coal and nuclear power plants. *Energy Policy*, 33(1):5–13.
- FORMAINI, R. L. (2001). The engine of capitalist process : Entrepreneurs in economic theory. *Economic and Financial Review*, (4):2–11.
- WORLD ENERGY FORUM, 2003. *18th World Energy Congress Conclusions and Recommendations*. World Energy Forum.
- FOXON, T. J., GROSS, R., CHASE, A., HOWES, J., ARNALL, A. et ANDERSON, D. (2005). Uk innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. *Energy Policy*, 33(16):2123–2137.

- GIARRATANA, M. S. (2004). The birth of a new industry: entry by start-ups and the drivers of firm growth: The case of encryption software. *Research Policy*, 33(5):787–806.
- GOTTINGER, H. W. (2002). Modeling stochastic innovation races. *Technological Forecasting and Social Change*, 69(6):607–624.
- HAMEL, G., DOZ, Y. L., et PRAHALAD, C. K. (1989). Collaborate with your competitors - and win. *Harvard Business Review*.
- HARGADON, A. B. (2001). When innovations meet institutions : Edison and the design of the electric light. *Administrative Science Quarterly*, 46(3):476–501.
- HIGASHIDE, H. et BIRLEY, S. (2002). The consequences of conflict between the venture capitalist and the entrepreneurial team in the united kingdom from the perspective of the venture capitalist. *Journal of Business Venturing*, 17(1):59–81.
- HUGHES, T. (1983). *Networks of Power*. Johns Hopkins University Press.
- HUNG, S.-C. et CHU, Y.-Y. (2005). Stimulating new industries from emerging technologies: challenges for the public sector. *Technovation*, In Press, Corrected Proof.
- IEA (2003a). *Key World Energy Statistics 2003*. International Energy Agency Press.
- IEA (2003b). *World Energy Outlook 2003*. International Energy Agency Press.
- IEA (2004). *Renewables in Global Energy Supply*. International Energy Agency Press.
- JACOBSSON, S. et LAUBER, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation—explaining the german diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*, 34(3):256–276.
- KEMP, R., SCHOT, J., et HOOGMA, R. (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation. *Technology Analysis and Strategic Management*, 10(2):175–195.
- KHANNA, T. (1995). Racing behavior technological evolution in the high-end computer industry. *Research Policy*, 24(6):933–958.

- KLEIN, B.-H. (1977). *Dynamic Economics*. MIT Press.
- KOSTOFF, R. N., BOYLAN, R., et SIMONS, G. R. (2004). Disruptive technology roadmaps. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2):141–159.
- LAMBERT, C (2004). The hydrogen powered future. *Harvard Magazine*, 106(3):30.
- LARRUE, P. (2000). *La coordination des activités de recherche et d'innovation dans les phases d'émergence : le cas des batteries pour véhicules électriques et hybrides*. Thèse doctorale, Université Montesquieu Bordeaux IV, France.
- LERNER, J. (2002). When bureaucrats meet entrepreneurs : The design of effective public venture capital programmes. *The Economic Journal*, 112(477):F73–F84.
- LOVELOCK, J. (2004). Nuclear power is the only green. *The Independent*.
- LOW, M. B et ABRAHAMSON, E. (1997). Movements, bandwagons, and clones: Industry evolution and the entrepreneurial process. *Journal of Business Venturing*, 12(6):435–457.
- MARKMAN, G. D., BALKIN, D. B, et SCHJOEDT, L. (2001). Governing the innovation process in entrepreneurial firms. *The Journal of High Technology Management Research*, 12(2):273–293.
- MARTIN, J.-M. (1996). Energy technologies: Systemic aspects, technological trajectories, and institutional frameworks. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(1):81–95.
- MARTIN-AMOUROUX, J.-M. (2003). Les prix et les coûts des sources d'énergie. Débats de la société française de physique.
- MEZIAS, S. J. et KUPERMAN, J. C (2001). The community dynamics of entrepreneurship: The birth of the american film industry, 1895-1929. *Journal of Business Venturing*, 16(3):209–233.
- MILLER, D. et GARNSEY, E. (2000). Entrepreneurs and technology diffusion: How diffusion research can benefit from a greater understanding of entrepreneurship. *Technology in Society*, 22(4):445–465.

- MILLER, R. et COTE, M. (octobre 1987). *Growing the Next Silicon Valley*. Lexington Books.
- MILLER, R. et FLORICEL, S. (2004a). Games of innovation and their dynamics. Soumis à IEEE Transaction on Engineering Management.
- MILLER, R. et FLORICEL, S. (2004b). Value creation and games of innovation : Managing r and d for business growth. *Research Technology Management*, 47(6):25–37.
- MOORE, G. A (1999). *Crossing the Chasm*. HarperBusiness.
- MUELLER, S. L. et Thomas, A S. (2001). Culture and entrepreneurial potential: A nine country study of locus of control and innovativeness. *Journal of Business Venturing*, 16(1):51–75.
- Oakey, R. P. (2003). Technical entrepreneurship in high technology small firms: some observations on the implications for management. *Technovation*, 23(8):679–688.
- OLLEROS, X. (1997). Uncertainty and indeterminacy in emerging markets. *Proc. of the 9th International Conference on the Management of Technology*, pages 399–410.
- OLLEROS, X. (2003). Innovation deadlocks, traps and bootstraps. Report to the MINE project.
- OLLEROS, X. (2004). Lectures dirigées en management de la technologie. Cours de l'école des Sciences de la Gestion Université du Québec à Montréal.
- PIERSON (2000). Increasing returns, path dependence, and the study of politics. *American Political Science Review*, 94(2):251–267.
- PORTER, M. E. (1998). *Competitive Advantage : Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- REDDY, S. et PAINULY, J. P. (2004). Diffusion of renewable energy technologies barriers and stakeholders perspectives. *Renewable Energy*, 29(9):1431–1447.
- REICH, O. (2005). L'offre et la demande pétrolières. Collection panorama, Institut Français du Pétrole.

- SALONER, G., A. S., et J., P. (2001). *Strategic Management*. John Wiley and Sons.
- SCHUMPETER, J. A (1936). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press.
- SHANE, S. (2001). Technological opportunities and new firm creation. *Management Science*, 47(2):205–220.
- SORENSEN, B, HAUGE PETERSEN, A, JUHL, C, RAVN, H., SONDERGREN, C, SIMONSEN, P., JORGENSEN, K., HENRIK NIELSEN, L., V. LARSEN, H., et ERIK MORTHORST, P. (2004). Hydrogen as an energy carrier: scenarios for future use of hydrogen in the danish energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(1):23–32.
- TSOUTSOS, T. D. and STAMBOULIS, Y. A. (2005). The sustainable diffusion of renewable energy technologies as an example of an innovation-focused policy. *Technovation*, 25(7):753–761.
- TUSHMAN, M. L., et L. ROSENKOPF. Organizational determinants of technological change: Towards a sociology of technological evolution. *Research in Organizational Behavior* 14: 311–47, 1992
- UEMURA, Y., KAI, T., NATORI, R., TAKAHASHI, T., HATATE, Y., et YOSHIDA, M. (2004). Potential of renewable energy sources and its applications in yakushima island. *Renewable Energy*, 29(4):581–591.
- UNRUH, G. C (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12):817–830.
- USDoE (2003). *International Energy Outlook*. US Department of Energy.
- VON BURG, U. et KENNEY, M. (2000). Venture capital and the birth of the local area networking industry. *Research Policy*, 29(9):1135–1155.
- WEBER, M. et DORDA, A (1998). Strategic niche management: a tool for the market introduction of new transport concepts and technologies. Technical report, IPTS.
- ZIEDER, B (1998). How venture capital works, *Harvard Business Review*.

ANNEXES

ANNEXE 1 : GAMES OF INNOVATION AND THEIR DYNAMICS, R. MILLER ET S. FLORICEL, 2004.

Games of innovation and their dynamics

Roger Miller

Jarislowsky Professor of Innovation and Project Management

Department of Mathematics and Industrial Engineering

Ecole Polytechnique, Montréal , QC. , Canada

Roger.Miller@polymtl.ca

Serghei Floricel

Professor, Department of Management and Technology

Université du Québec, Montréal , Qc., Canada

floricel.serghei@uqam.ca

Abstract:

Innovation is not limited to creative breakthroughs but consists of many different activities that create and capture value.. Yet, standard theories of innovation seek to subsume this diversity under one generic model largely inspired from Schumpeterian theories. To understand adequately the heterogeneity, complexity and multi-level nature of real innovation processes, we decided to go back into the field. Based on qualitative interviews and survey data involving more than 150 CTOs , we propose the concept of games of innovation to better account for the observable variance in innovation. Eleven games of innovation were identified: 8 empirically and 3 by inference. Games of innovation are sector-level patterns of value creation and capture. Such patterns are shaped by contextual variables such as: (1) nature of customers, (2) pace of scientific and engineering knowledge production,(3) economic and socio-political logics . Each game of innovation also involves a distinct configuration of innovator networks with their information and resource flows as well as distinct dynamics of innovation. Each game of innovation call for different a different type of firm-level innovation strategies in terms of competition and collaboration,structure and investment in capabilities. Excellent firms are those that better than competitors understand the dynamics of value creation and capture and put in place effective configurations: they achieve higher innovative and business performance.

1. Introduction

Innovation is not an activity confined to high-technology fields. Indeed, whatever their domain, most firms are innovative to some degree. In R&D circles executives believe that that close to 1.5-2.0% of sales is needed just to maintain existing assets. Investments above this level are to develop new products, improve the productivity of assets, and follow customers' changing requirements.

The purpose of this paper is to outline the concept of "games of innovation" as well as a theory concerning their viability. The first part describes the limits of both present descriptions and explanatory theories in order to contrast these with the notion of games. The second part outlines how game, through value creation and capture activities, affect networks, strategies and capabilities and thus explain more of the variance in innovation-related performance than other approaches. A conclusion stresses the need for longitudinal case studies to understand the dynamics of game evolution.

2. Limits of present descriptions and theories of innovation

Why propose the idea of "Games of innovation" when the field is already brimming with concepts and constructs? Our response is twofold: (1) established theories of innovation do not reflect the heterogeneity of innovation processes and (2) recent descriptive theories reflect only a part of the picture and a more integrative theory is needed.

2.1 Established theories of the innovation process

Technical entrepreneurship. Having rejected the idea that firms adapt to exogenously available blueprint technologies, Schumpeter (1936) initially stressed the central role of the entrepreneur. In his theory of economic growth through "creative destruction," entrepreneurial entrants stake their future on emerging technologies and eventu-

ally displace incumbents by making their capabilities obsolete. The firms they create eventually grow and become vulnerable to discontinuities. (Abernathy and Utterback 1978). Recent contributions develop the idea of incumbents' inertia in the face of radical discontinuities by showing how incumbents become narrowly focused on existing markets and technologies and their technical and marketing competencies become rigid and sluggish. (Cooper 1978, Tushman and Anderson 1986, Christensen 1997).

R&D and the endogenous management of innovation. By contrast, other authors stress that large incumbents have the resources, capabilities and knowledge to face disruptive change (Saloner et al. 2001). They are in a unique position to accumulate knowledge concerning their particular markets and technologies (Penrose 1959), to develop structured processes of innovation and to learn how to manage the risks involved. In this view innovation becomes a manageable task rather than an entrepreneurial gamble (Olleros 1992). The process starts in R&D laboratories that create technical opportunities. Firms use these ideas to build a portfolio of innovation projects in response to market demands. Eventually some new products are developed and transferred to business units for commercialization (Cooper 2001). Markets select winning products on the basis of relative merits, as perceived by buyers.

2.2 Recent partial theories

Lately, the study of innovation has shown considerable dynamism (Fagerberg 2003). The innovation process has been described as uncertain, indeterminate and systemic (Teece 1992, Dosi 1997). Perplexed by the complexity of innovation processes, tried at least to highlight a few of the observed traits. Here are the key partial insights that influenced our model:

The unbundling of R&D and co-innovation. With the increasing division of labor, the endogenous model fades in favor of a distributed approach. No firm controls all resources, knowledge or capabilities for innovation and the sharing tasks and risks be-

tween organizations become increasingly necessary (Richardson 1972, Foray 2000). As a result, large and entrepreneurial firms are in symbiosis. Sometimes entrepreneurs launch new firms using technologies developed in the R&D laboratories of large firms or, conversely, provide large firms with innovative technologies. Hence, value creation often takes place in 'relay races' in which opportunities are first pursued by entrepreneurial firms but later established firms take over, with marketing muscle and the resources to undertake complementary investments. Innovation activities are increasingly outsourced to external parties, undertaken in partnerships with specialized firms and localized around the world in areas with knowledge or cost advantages. Corporate innovation management becomes focused on building competencies for the management of networks and the integration of internal capabilities with external knowledge (Cheesebrough 2003a, 2003b). Alliances, partnerships and outsourcing become complementary strategies to internal R&D and notions such as value creation network and innovation ecosystem are central to these views.

High-velocity competition. More recently, increased attention has been given to sectors that are subject to rapid change (Eisenhardt 1989, Jelinek and Schoonhoven 1990), hyper-turbulence (Bettis and Hitt 1995, Brown and Eisenhardt 1998, MacCormack, Verganti and Iansiti 2001) and hyper competition (D'Aveni 1994, Thomas 1997). These authors suggest that such conditions create new patterns of innovation both inside organizations and across network of firms. Continuous innovation is a way of life rather than cycles of radical change followed by periods of stability. The short life of products and markets, as well as the non-linear feedback processes call for fast learning, real time response capabilities as well as a constant search for the next disruptive change.

Institutions and national systems of innovation. In view of the differential successes of firms in different regions of the world, many scholars began to examine the influence of national and regional contexts on firms' abilities to innovate (Nelson 1993, Edquist 1997, Porter 1990). Their contribution is twofold. First, they extend the range of

actors that support the innovation processes by attributing a key role to institutions such as public agencies, clusters of firms, venture capital, incubators (Freeman and Soete, 1997). Second, they extend our understanding of competitiveness conditions by pointing out the rules, resources and incentives, that have to be put in place to share critical burdens and risks at each stage of the innovation process. Non-market institutions thus complement market mechanisms in sustaining innovation (Hollingsworth and Boyer, 1997).

Strategic positioning. Positioning theories seek to identify market structures (barriers to entry, economic and technical logics) and competitive strategies (cost leadership, differentiation, focus) that enable firms to obtain superior economic results over long periods of time. (Porter 1980). Their key contribution to the innovation has been to draw attention to the conditions that enable firms to benefit from innovation, hence enabling future innovation and market development (Teece 1986). Related, notions such as “strategic groups,” i.e. firms pursuing similar strategies due to persistent structural features of industries and mobility barriers (Caves and Porter 1976, McGee and Thomas 1986), and “business model”, which operationalizes what a firm offers, who its target customers are, how the offer will be produced and how revenues and profits will be earned (Parolini 1999, Kalling 2002), are particularly useful in understanding innovation roles in telecom, e-commerce, and biotechnology (Shapiro and Varian 1999, Robbins-Roth 2000).

Strategic capabilities. Based on the observation that in the current context market structures are seldom enduring, an alternative view focussed on internal factors that produce a sustainable competitive advantage. Building on Penrose’s (1959) intuition that firms’ hard-to-imitate capabilities are often the source of competitive advantages, theorists develop constructs such as “distinctive competence” (Selznick 1957) or “firm-specific routines” (Nelson and Winter, 1982). Their key contribution is to highlight that knowledge assets, organizational processes or human factors that enable learning and

innovation (Teece et al 1998, Cohen and Levinthal 1990; Barney 1991, Eisenhardt and Santos 2001). are costly to build, maintain and protect. Firms need to focus on a set of core competencies that will not only enable successful competition in one industry but create the foundations for entering new sectors through innovations that leverage the same set of capabilities (Prahalad and Hamel 1990).

Game Theory. Because of its focus on competitive zero-sum games, game theory has long been considered irrelevant for innovation (Teece et al. 1997). At best, it suggests that in order to innovate firms must also change the rules for value creation. However, recent contributions focussing on the notion of multiple equilibria, have identified the conditions that enable industries to move from a low level equilibrium that stalls innovation and diffusion of novelties, towards a higher level equilibrium that enhances the collective value (Fudenberg and Tirole, 1991, Samuelson 1998). They show that industry structures must be coupled with collective sanctions and incentives that induce interdependent players to move towards collectively beneficial equilibria (Brandenburger and Nalebuff, 1996, Chakravorthy, 2003).

In sum, standard theories, largely schumpeterian in their orientation, have limited usefulness in the face of multi-level and heterogeneous reality of innovation. To meet the need for a more actionable theory, these views have to be complemented with insights drawn from recent partial developments. In the next section, we propose a formal definition of the concept of games of innovation and develop a theoretical framework for their understanding. This will allow us, in subsequent sections to sketch explanations of the conditions leading to distinct games and show why strategies and organizational approaches vary in each game.

3. A theoretical framing of games of innovation

“Game of innovation” is a meso-level concept that emphasizes (i) the heterogeneity of innovation processes and production activities across sectors (Pavitt 1984, Miller and Blais 1993; Malerba and Orsenigo 1996, Malerba 2002; Pavitt 1984, Salais and Storper 1992, van de Poel 2003) and (ii) enables a multi-level analysis of these processes. Many authors suggest that in some sectors, most innovations are developed in large firms while in others the sources of innovation are predominantly networks of small firms. In still other sectors innovation is closely related to knowledge produced in universities and public labs, while in others, technology and idea suppliers are incumbent firms or firms in other sectors. Finally, in some sectors, there are cycles of creative destruction followed by long periods of stability while in others we see a continuous flow on new technologies and products (Abernathy and Utterback 1978; Henderson 1994).

Theories that recognize the heterogeneity of sectoral innovation processes also suggest that multilevel approaches are necessary to explain this diversity. Each sectoral pattern result in a complex manner from interactions between the type of innovation projects conducted inside firms, firms’ strategies within sectoral competitive arenas, and broader institutional frameworks (Florice and Miller 2003, Bruland and Mowery 2003). However, so far, the attempts to theorize sectoral heterogeneity and systemic interactions lack a concise conceptual apparatus to explain and predict the observed patterns of innovation.

In order to develop our theory, we used empirically-grounded theorizing (Glaser and Strauss 1967) so as to overcome the reductionist and universalistic tendencies of existing approaches. Our empirical work included a qualitative study based on 75 semi-structured interviews with R&D executives or CTOs followed by an exploratory survey of 77 companies in the USA, Europe and Japan (Miller and Florice 2004; Florice and

Miller 2003). Then over 50 case studies of firms and networks of innovation in sectors such as in biotech, telecom, software, aerospace, aluminium, pulp and paper, multimedia etc. were made to enhance our qualitative understanding.

A number of key attributes can characterize our approach. First, it is systemic rather than reductionist: instead of simple causal influences, a good number of variables and processes are taken into consideration. Second, multi-levels of analysis are used to frame the issues of innovation instead of focussing only on firms or industries. Our argument is that to understand innovation processes adequately, one needs to combine levels of analysis such as institutions, games, networks, industries and firms. Third, the heterogeneity of innovation processes is fully recognized thus sending signals that universalistic prescriptions may be off mark.

3.1 The concept of games of innovation and the core proposition of the theory

The concept of “game of innovation” stems from the observation that each sector has a stable and coherent set of value creation and capture activities. These activities in turn influence the network of co-specialized roles to produce innovation in its range of products, services, technical systems and business models. Furthermore, strategies, investments in R&D and capabilities also form patterns that are influenced largely by the sector and value creation and capture activities.

A sector is much broader than an industry. For instance, the biotechnology sector benefits from a strong influx of knowledge from academic research that helps understand the mechanisms at work in the human body and suggests ways of acting directly on a large number of therapeutic targets in order to block diseases-producing processes. To test ideas, experiments are used to test and validate the model of therapeutic effect. They are followed by activities that optimize the potential leads and demonstrate their

effectiveness and safety in conditions that are progressively closer to clinical reality. The last set of activities is large-scale marketing, which enables the recovery of the large investment required for to produce successful drugs. Many players and stakeholders need to coordinate themselves in the process: entrepreneurs, venture capitalists, regulators, scientific community, public agencies etc. Some, firms specialize in performing the different stages described above while others provide services and tools that support and enhance the productivity of the core activities.

Up to the last decades of the 20th century, innovation in telecommunication focused on optimizing the asset base of large network operators. With the advent of deregulation and the diffusion of digital, wireless and software technologies, innovation focussed on a continually redefining the architecture of these networks. In the past, operators used to define their needs and placed orders with assemblers of integrated systems such as Lucent, Nortel, Alcatel etc. Now, operators actively redefine their services, often in conjunction with clients such as banks, and find new ways of using their own or third party's networks. They are continually stimulated by new offers from systems integrators, computer manufacturers, software specialists, electronics firms, chip designers and other components suppliers, which offer a wealth of technical alternatives while striving to impose their system architecture, interface protocol or product as standard.

Proposition 1: A game of innovation is the ideal configuration of value creation and capture activities for a sector. This configuration influences the network of partners and the sets of strategies that, given the prevailing contextual conditions and requirements of the sector, would produce the highest innovative performance.

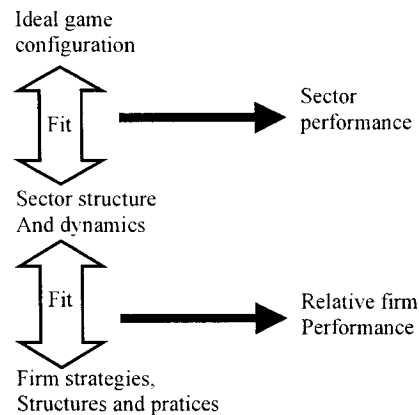


Figure 1: Games and performance

Value creation and capture activities , as indicated previously, were identified through focussed explorations with 75 CTO's . Using an exploratory factor analysis based on a set of actual activities used to create and capture value, we identified four key vectors: (1) **productizing** ideas, scientific models and technical principles into products through research and development activities followed by their legitimation through regulatory approval, (2) analyzing and **engineering** technical systems to make them more efficient, reliable and safe, (3) studying and characterizing customer needs and the way they use products in order to better **match** their requirements; (4) developing or aligning interfaces and architectural standards in order to **stabilize** markets by reducing customer uncertainty and enabling interoperability.

The ideal configuration of value creation and capture activities of firms and other participants are the drivers which gradually shape a sectoral pattern consisting of (1) a network of specialized roles linked by flows of knowledge and resources, mutual coordination, and governance; and (2) a configuration of firm strategies, organizations and practices. Figure 2 sketches the major components of our model: prevailing contextual conditions, value creation and capture configuration, sectoral characteristics, firms strategies and performance. These elements form a system that, in turn, begins to constrain participants, without being totally deterministic, but enough to ensure its own re-

production and long term persistence. A game of innovation is the ideal configuration, or an archetype, of such a system. Such a configuration would produce the highest innovative output, given the prevailing contextual conditions and the requirements of internal coherence.

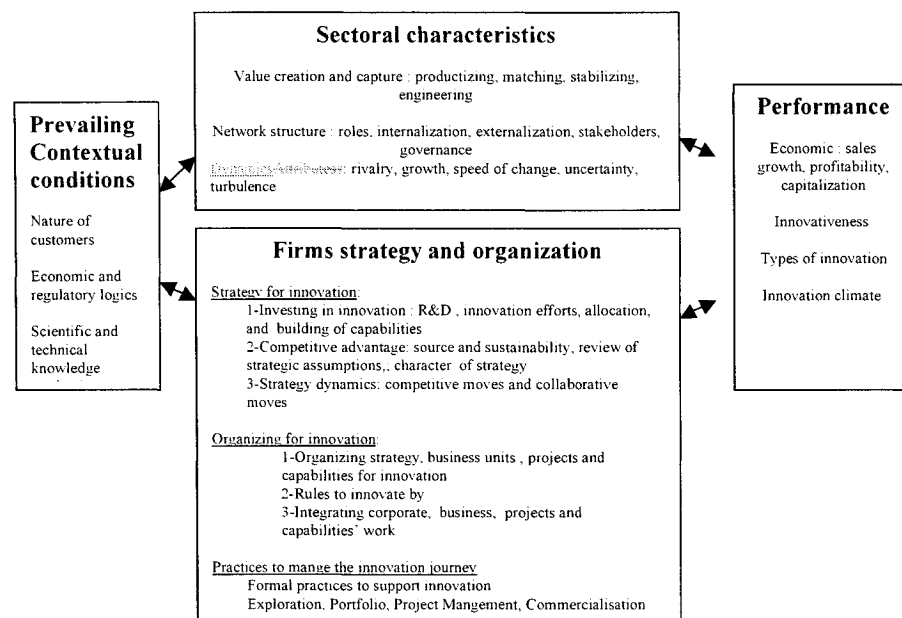


Figure 2 : Dimensions of games of innovation

3.2. Prevailing contextual conditions and their influence in configuring games

A configuration of innovative activities is shaped by the influence of a limited number of conditions that prevail in the sector. Moreover, not all combinations of these conditions can lead to viable sectors. Based on our empirical research, we propose below three contextual dimensions that have the strongest impact on the nature of innovation activities, and we discuss their influence. We also advance a theory of the conditions for the existence innovation, that will enable us to discuss which combinations of conditions lead to innovative and viable sectors. .

i) The **nature and degree of customers' expertise** refers to their ability to share problems with vendors, as well as their ability to stimulate and inform the innovation activities in the sector. The highest level of expertise is typical for sectors that sell to industrial firms or government agencies products that are critical components for the clients' products and production systems. Such customers usually have a high degree of expertise, have complex applications or unique needs, do their own R&D activities and are keenly interested to obtain innovations from their suppliers. For instance, a chip producer, such as Intel, is very interested in the design systems for semiconductors, or in semiconductor manufacturing equipment. Similarly, leading telephone operators are interested in the R&D activities of equipment suppliers. In other sectors, the level of expertise of buyers is average and products are not mission-critical. Clients have an ability to judge the quality products but do not jolt suppliers into being innovators. Finally, the lowest degree of expertise are individual buyers that constitute the mass markets. A high degree of customers' expertise creates a resource for innovation in the direct sense of providing ideas and knowledge that can lead to new products as well as in two indirect ways, on the one hand, by providing the promise of returns for these innovations because of the keen interest of the client, and, on the other hand, by creating an entry barrier through the bilateral supplier-customer feedback and learning cycles, and the mutual trust that ensues, in complex applications.

ii) The **dynamism of relevant knowledge production** refers to the influx of externally produced knowledge, from academic research but also from other sectors, as well as the intensity with which new technical principles and technologies are produced within the sector itself. In sectors with the highest knowledge production dynamism, there is a strong and constant influx of new principles that enable radical innovations. Typically such knowledge is produced outside the sector, the way the biotechnology sector relies strongly on knowledge produced in the academic domain. In the sectors with an average knowledge production dynamism, the principles may remain about the

same but the flow of knowledge enables a constant restructuring of technical architecture. Typically, in such sectors, as lot of knowledge is produced inside the sector or in related sectors; the inflow of knowledge from universities is lower. The telecommunications sector is a good example of average knowledge dynamism. Finally, in sectors with low knowledge dynamism, learning is often based on existing architectures or accumulation in production systems. Typically, this learning is produced inside firms, by combining different functional perspectives, or in collaboration with suppliers or similar firms. Automobile is an example of low knowledge production dynamism. A high knowledge dynamism offers opportunities for innovation, hence increasing the innovative output, but also disrupts the established technical architectures, value creation processes and competencies (Tushman and Anderson 1986; Henderson and Clark 1990), hence requiring additional resource inflows into the sector.

iii) **Regulatory and economic structuring logics** refer to potential technical, social, or economic forces that produce heterogeneities between game participants. The institutional framework, built by regulations and public policies in the economic, safety, intellectual property and procurement areas, produce the highest structuring forces. The reasons for government interventions are often the social pressures and risks associated with the products or activities of the sector (i.e. health hazard calls for lengthy drug approval process). The consequence of these interventions is often the exclusion of some firms from markets. Average structuring forces are produced by economic logics such as economies of scale and scope in innovation, production and distribution activities. Appropriate actions in the face of such logics lead to high market share and international expansion. Other examples are network effects, which lead to the dominance of one product architecture over competing architectures, and the importance of brands for reducing customer uncertainty. A low structuring potential is present in all sectors that are not socially sensitive and do not benefit from economies of scale or other economic logics. For instance, sectors such as standard construction, consulting or clothing produc-

tion have low structuring potential. Structuring forces enable firms to capture value from innovation because they create barriers to entry or eliminate competitors. However, sometimes they do so, in the case of regulation, by significantly increasing the cost of innovation projects, or, in the case of economic logics, by offering rewards that are utterly higher than the innovative effort or by giving these rewards to firms that have expended less effort.

Proposition 2 Different prevailing contextual conditions will lead to distinct game configuration of value creation and capture activities

Each games have a dominant logic to create and capture value that is only possible under a set of contextual conditions. We argue that there are important interactions between prevailing conditions that lead, for certain configurations of such variables, to a limited number of distinct patterns of value creation and capture activities, networks, strategies, structure and performance. Thus, in games with high knowledge dynamism, the absence of a strong structuring potential precludes firms from obtaining the resources required to pursue the opportunities opened by new knowledge. Hence, it is our hypothesis that ‘technology races,’ which productize knowledge, are possible only when there is a structuring potential stemming from (i) institutionalization and regulatory frameworks, (ii) strong IP protection, (iii) government or large corporate research procurement, (iv) public innovation support programs. These elements either offer a possibility to capture value even in the temporary absence of a market for final products or they offer the promise of a large market that will repay investments. It is our expectation that a combination of high knowledge dynamism and high structuring potential will lead to an emphasis on value creation and capture through the productizing knowledge.

By contrast, when the structuring potential is average, resulting only from factors such as scale, scope, learning, reputation and network effects, firms will pay a lot of attention to finding and maintaining the positions that enables them benefit from these factors in order to capture value. A strong knowledge dynamism may raise the opportunities for value creation but can disrupt the ability to capture value using these structuring factors: novelty may increase clients' difficulties to evaluate the value of the offer and raise the fear that existing assets will be made obsolete. Hence, we argue that there will be very few genuine technological races if there is only an average structuring potential. Moreover, in games with average knowledge dynamism and average structuring potential, the dominant logic of value creation focuses on orchestrating architectures with the goal of preserving a certain degree of stability rather than on seizing the latest knowledge opportunities. Usually, a few dominant players will promote a relatively stable set of core choices. This stability at the core will allow a lot of peripheral innovation as well as a more gradual architectural innovation.

Another dominant logic is possible with the interaction between low knowledge dynamism and average structuring potential. Here, the vectors of value creation and capture stem from high-quality engineering to ensure efficiency, quality, reliability, high performance within stable architectures and a relatively well defined body of knowledge in the sector. The average structuring potential makes it possible for firms to accumulate the knowledge, experience and systems that enable the development of engineering skills. A higher knowledge dynamism would disrupt the accumulation of experience and methods that enables this kind of value creation. A higher structuring potential with a low knowledge dynamism would enable even more the capture of value but will reduce innovation to gradual cost reduction within existing operating and production systems (the opposite of productizing).

In contexts in which knowledge dynamism is rather low and structuring logics are rather weak innovation is possible only if customer expertise is high. However, the thor-

ough understanding of needs that takes place in interactions enables both customers and suppliers to capture value, because of the economies of bilateral learning and the trust relations that develop among these parties. In games with high customer expertise, a key component of value creation will be matching customer needs.

3.3 Typology of Games of Innovation

Our empirical research and logical analysis suggest that there are 11 distinct games of innovation, or sectoral system archetypes. We distinguished games according to the emphasis, within sectors, on different value creation and capture vectors. Using these vectors in a cluster analysis procedure, we then grouped the firms that answered our survey into categories that were as distinct from each other as possible. Resulting categories contained firms in different sectors but having similar combinations of vectors. These groupings not only made intuitive sense but when used to analyse firms' innovation strategies, structures, practices and performance, it turned out that firms in each category were similar to each other and different from other firms for all these elements. For instance, in the **technology races** category, which grouped firms that produced biotech drugs and fuel cells, productizing is the dominant vector. By contrast, in **battles for architecture**, which included firms in the telecom, software, Internet and computer industries, stabilizing is central while engineering is also important.

Despite the fact that these observations were made at the level of firms, they led us to developing our central argument namely that the concept of games explains more of the variance in performance than alternative concepts such as industry, strategic groups or best practices. This explanation takes place at two levels. First, relatively better performing sectors have structures that are closer to the corresponding archetype. Second, firms that are performing better have a configuration of strategies, structures and practices that more closely fits the type of innovation game in which they compete. This ar-

gument goes squarely against the idea that all firms should apply the same set of strategic, organizational and project management practices.

Figure 3 presents the eleven games of innovation that resulted from our empirical research and our logical inferences... Knowledge dynamism opens up opportunities that generally lead to high rate of growth and change in the sector but it can also constantly disrupt the sector structure and competencies. By contrast, strong economic and regulatory forces can preserve the structure of a sector for a certain time. This can stimulate the sector growth by reducing uncertainty for customers' and suppliers. However, a structural lock-in on an inferior technical equilibrium may from time to time trigger turbulent periods of radical restructuring. Furthermore, customer expertise can influence (1) the structure of the sector by creating strong links to other sectors and (2) the dynamics of the sector by a quasi synchronization of innovation with the capacity of customers to generate and absorb innovation. Mismatch in these interactions lead to turbulence such as overcapacity cycles and underinvestment in leading sectors etc.

Which of these forms will be observed is determined by the prevailing contextual conditions in which the sector performs its value creation and capture activities. .. Sometimes a domain of value creation and capture activities cannot develop and lead to viable configurations and hence no economic sector emerges or the sector is locked in a pattern that is suboptimal. In the following classification effort, we combined both empirically grounded research and theoretical inferences to arrive at 11 distinct games. Eight games were identified using cluster analysis based on our empirical research (Miller and Floricel 2004). The other three games were logically deduced from the analysis of prevailing conditions. We will describe four games in some details. For a more complete description see Miller and Floricel (2004).

		Knowledge dynamism			
		High (strong scientific influx)	Average (important intra-sector technological advances)	Low (marginal advances and influx of artifacts from other sectors)	
Structuring logics	High (rules and regulations)	Technology races (biotech, fuel cells, nanotechnologies)	Safety journeys (chemical drugs, medical equipment, aerospace)	Asset-based problem solving (power, gas, petrochemicals, mining, regulated telecom)	
	Average (underlying technical and economic forces)	R, D, &E tools and services (very demanding products for large sophisticated customers)	Battles for architectures (mass software, computers, internet and telecom services, networking equipment, semiconductors)	Learning and marketing (automobile, snowmobile, mass consumer products) Innovating in packs (Chemicals, industrial gas, steel, materials, aluminum)	
	Low (weak mechanisms)	Unique gadgets (lead users who do innovations for themselves and the odd 'image' product of a large firm)	System design and consulting services (MIS, specialized telecom systems, enterprise solutions)	High tech craft (specialty food ingredients, specialty chemicals, electronic equipment)	News (clothing, food)


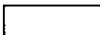
 High customer expertise
  Low customer expertise

Figure 3: Games of Innovation

i) **Technology races** are brainpower contests involving entrepreneurial initiatives to develop divergent technical options and novel business models. Their context is characterized by a high knowledge dynamism combined with high structuring provided by institutional, intellectual property and innovation-support frameworks. The dominant way of creating value is productizing by using scientific knowledge to develop creative ideas and transform them into approved solutions, products or intellectual property. Developing precise engineering solutions, serving customer's needs or aligning with pertinent standards are not important vectors of action. The average level of innovation efforts is 18% of R&D expenditures on sales with a significant focus (61% of R&D) toward the renewal of the science base. Some ventures have no sales for many years. Significant knowledge sources are: (1) universities doing basic research and (2) high technology

start-ups. Significant stakeholders that provide flows of resources are: (1) the relevant scientific communities for present or future knowledge (2) public safety regulators for legitimacy and approval (3) public agencies and venture capital for financial resources. The central strategy is to use R&D and alliances to build new businesses. The sectors in which we have observed technology races are hydrogen / fuel cells or biotechnology.

ii) Research, Development and Engineering systems and services involves the building of capital intensive architectural products sold to expert buyers who use them in their large-scale projects or production processes. Such systems are sold to large banks, drug manufacturers, telephone operators, car builders, airplane makers etc., to improve productivity by better managing R&D, product design and development or large transactions systems. Markets are narrow and rarely move into mass volumes. (Moore 1999), Players faces contexts characterized by very fast technological change, short product life cycles and few large and demanding customers who structure markets. Competitors create value by transforming accumulated engineering learning with client systems and forefront scientific research into products and services by understanding, anticipating and serving the complex needs of their clients. The level of investment in innovation is high with 39.6% of R&D over sales and 45.8% of R&D activities focused on renewal. Developers take ideas mostly from customers as only 33.3% come from inside. Significant stakeholders are the scientific community and venture capitalists. R&D and continuous product development is the central strategy of players. The sectors in which we have observed such games are systems for rational drug design, airplane development or car design etc.

iii) Battles for Architectures are common in sectors where modular products are designed separately by independent firms but architected through platforms to function as

wholes for individual customers (Schilling 1998; Baldwin and Clark 2000, Abernathy and Clark 1985, Henderson and Clark 1990). Examples are personal computers, software products or mobile personal digital assistants that integrate Internet, telephones, messaging, etc.. Their context involves average knowledge production, and an average structuring potential, and average customer expertise. The structuring potential is caused by technical and economic forces, such as network externalities, that favor the emergence of standard architectures and interface protocols and often reward inordinately those who promote them. Battles for architectures is not a game of scientific prowess. The level of efforts for innovation is around 11% of sales (only 21.5% of research is focused on renewal). Customers are important sources of knowledge. Value is created and captured mostly by aligning modular components and architectures through alliances, standards or coalitions so as to reduce uncertainty for clients. The interdependence between rivals making complementary products is so high that one competitor's sales depend largely on the actions of others. Mass markets cannot emerge without complementary products and standards. Without an orchestrator to develop standards, buyers are at a loss as components need to be inter-operable and coordinated (Iansiti and Levien, 2003). Platform leaders ensure that the core attributes of their architecture do not change much but that most innovations occur at the periphery thus enhancing the value to users of adopting the products. The sectors in which we have observed battles for architecture are computing, software and telecommunications.

iv) Innovating in packs is a game aimed at growing markets for commodities (oxygen, aluminium, packaging materials, food ingredients etc) by developing complete solutions for large customers' problems. For instance, a firm producing aluminium has grown sales over time by designing innovative packaging solutions for the food industry. Others have found new uses for industrial gases and successively entered growing markets such as semiconductors, petrochemicals, health, biotechnology, etc. while continu-

ing to serve older markets such as steel production or metallic fabrication. The context of this game is characterized by average to low knowledge dynamism and rather low structuring potential. The dominant axis of value creation and capture is primarily serving customers needs by engineering solutions to their problems. Firms cooperate with customers, complementary materials producers and equipment builders to deliver large scale and problem--free solutions to industrial customers.. Extensive R&D efforts are undertaken using largely existing knowledge to create new markets through large-scale projects. Knowledge originates mostly internally, with customers and equipment builder sources as significant

3.4 Networks of innovation: differentiation and governance

Firms in a game rarely innovate alone but interact with partners that play differentiated roles and with stakeholders that influence the flow of resources. Furthermore coordination between them is achieved through governance mechanisms. Richardson (1976) noted the importance of external players and used the analogy of dancing partners to stress the interactions between firms and the networks in which they played.

Our preliminary observations summarized in figure 4 indicate that each game has a distinct network of innovation partners and stakeholders. The major sources of ideas differ: (1) universities for **Technology Races**, (2) internal R&D for **Safety Journeys** and **High-tech Craft**, (3) customers for **Systems Design and Consulting** and (4) alliance partners for **Assets-based Optimizing**. Stakeholders that influence innovation are regulators, scientific community, venture analysts and partners. Surprising as it may seem competitors do not have a statistically significant influence on firms' innovation.

	Innovation game							
Game name	Technology Races	Safety Journey	Asset Based problem solving	Battles for Architectures	R&D&E tools and services	Systems Consulting	Innovating in Packs	High-Tech Craft
Dominant value creation and capture vector(s)	Productizing	Productizing and Engineering	None	Stabilizing	Productizing and Serving needs	Stabilizing	Serving needs	Serving needs
Dominant Stakeholder(s)	Science community and Regulators	Regulators	Partners and Environment regulators	Customers	S&T community and analysts	Customers	Customers	Customers
% of idea sources internal	36	54	38	42	33	34	40	48
Dominant external idea sources	Universities and Start-ups	None	Partners and Customers	Customers*	Start-ups	Customers	Customers *	Customers
R&D over sales (%)	18	15	0,84	11	40	15	25	13
% of renewal R&D	61	25	15	21	46	58	30	18
Dominant strategy (ies)	Strategic R&D and Entry	Strategic R&D	None	None	Innovation process and empowerment	Client interface management	R&D attune to business	None
(%) of R&D efforts toward exploration	24	16	12	11	16	34	17	15
Dominant technology transfer policy	Visibility to shape market	Convincing regulators	Easing internal transfer	Cooperate to form coalition and Internal transformation	Internal transformation and Convince customers	Venturing process and Transformation	Beta site project	Internal transformation
Examples of sectors represented	Fuel cells, Biotech	Drugs and vaccine	Electricity, Mining, Chemicals	Telecoms, Computing, Software	Computer modelling, Systems engineering	IT consulting, Power systems	Industrial gases, Aluminium	Aerospace, Flight Simulation
Annual sales growth over the last five years (%)	57	12	8	29	49	15	8	21

Only figures with statistical significance over the 0.01 level served to identify dominant factors.

**Significant at or close to the 0.05 level*

Figure 4: Games of innovation and their attributes

The current efficiency mindset about “open innovation” favors cooperation and outsourcing (Chesbrough 2003). We argue however that a variety of network configurations exist in each game. The recent universal prescriptions to outsource can in fact be counterproductive in many sectors because the underlying causal factors call for internalization of specific activities. This is why, in some sectors, innovation and R&D activities are still and will remain largely internalized in large firms (e.g. pharmaceutical, automobile) while in other sectors the processes of innovation are scattered into multiple specialized players. Increasing co-specialization will call for governance to integrate across differentiated players, roles and stakeholders.

Our argument is that the configuration of value creation and capture activities that shape games are also major determinants of the network of firms that form the arena of a game. Differentiation of roles in co-specialized activities results from the historical and on-going division of innovation labor amongst firms. Networks vary in forms and include competitors but also complementary players such as market and non-market organizations whose contributions to innovation are pertinent. The division of value creation and capture activities into a distributed network of roles stems from a combination of factors, such as (1) the difficulty to master all pertinent knowledge areas, particularly in high knowledge dynamism sectors, (2) the economies of specialization, that enable learning and efficiency (scale) and (3) historical accumulation of knowledge. By contrast, some factors call for integration of different activities in the same firm. Learning and accumulation of knowledge is important when synergies exist across different aspects such as engineering, production and marketing.

The more intense the division of labour within a sector, the deeper the need for coordination and the more frequent the use of governance arrangements. Three distinct types of governance are identifiable. First, market-governance regimes, in which the allocation of resources and efforts toward innovation is determined by expectations of future growth and profitability. Markets are not only conservative but often fail to give birth to many innovations (Pavitt 2002).. Second, strategic-leverage regimes exist when products are architectural and specialized players need to be coordinated through alliances. Without the orchestration of moves by one or a few dominant players, innovation processes are stalled (Miller, Hobday and Olleros, 1995). Without the leadership of large firms with scale, power and resources, the necessary coordination and complementary efforts do not take place (Chesbrough and Teece 1996). Third, innovation-oriented regimes are characterized by the extensive cooperation between players and stakeholders to develop venture interactions between parties such as universities, investors and re-

search institutes. The coordination of players around jointly developed “visions” of the future that focus innovation efforts is common.

Proposition 3 Value creation and capture vectors described previously form a set of drivers for the differentiation and governance of networks.

Productizing will stimulate a fragmented distributed network of specialists because of the overwhelming diversity of new knowledge domains that any participant would have to master in order to integrate innovation activities. Specialization by knowledge area will foster value creation. At the same time, the protection offered by the intellectual property and regulatory legal frameworks and the public and private venture support activities enable value capture by firms in the various segments of the innovation process well before a market exists. A biotech firm or an innovation services firm can always capture value by selling intellectual property rather than products to another firm. Hence, in sectors where productizing is the main value creation vector, we will observe a network made of many differentiated firms, specialized by stages of the innovation process and innovation services and governed by institutions that structure interactions. The key contributions of stakeholders will be to provide knowledge, and create the framework for value capture. Complementarity of disciplines and tasks will lead to intermediate forms of integration such as alliances and partnerships. On the other hand, when the emphasis on productizing is low, we will see more in-house integration of innovation processes, because the main source of innovation comes from synergies among various aspects of the innovation process (from raw material to product commercialization). Only some specialized services will be bought from the market on a contractual basis.

In sectors where the key value creation vector is **stabilizing architectures**, a different specialization due to product complexity and complementarity will emerge. Firms’ will

specialize around elements of the technical architecture (system integration, modules, components). Generally, all innovation activities with respect to these parts will be done in-house. The structuring potential, will call for coordination among these participants in the form of alliances among the suppliers of these elements around a standard technical architecture, which could compete with another technical architecture to capture most of the favorable structuring effects. Governance and coordination will often take the form of a dominant firm that orchestrates the alliance, develops standards and attempts to control the architecture. However, given the knowledge dynamism, it is literally impossible by controlling the core to prevent the emergence of new architectures or peripheral innovation by new entrants proposing other options. Governance may also take place through open architectures in which no firm controls the network but all align themselves to, and improve, the evolving architecture.

In sectors where value creation emphasizes **matching between customers and suppliers**, we will observe a tendency for innovative activities to be highly integrated in the supplying firm, especially the activities that refer to understanding user needs and problems and product definition. However, these activities will imply a very close relationship with the expert customers, sometimes leading to integration. The forces that will preclude supplier-client integration are i) a high level of knowledge dynamism, in which case the client will benefit from the learning made by suppliers with other customers, ii) the specialized but non-strategic nature of the product, in which case integration would detract the client from its main line of business. In conditions of strong bilateral dependence, business cycles in the client sector can endanger the survival of supplier firms: the main governance contribution of clients or stakeholders would be to create revenue flows that enable the supplier firms to survive the downcycles.

In sectors where value creation emphasizes the **engineering** vector, the innovation process consists in accumulating expert knowledge and experience. Innovative activities tend to be integrated in the same firm across all stages. However, in very complex systems, the economies of scale in R&D activities tend to favor specialization along major sub-systems such as avionics, engines and system integration in airplane development. But this specialization is along the lines of the value chain, creating a tier system of suppliers around the system integrator. In addition, government policies will favor the maintenance of acquired capabilities within national borders. This will lead to some network disintegration.

Proposition 4. . The structure and governance of the networks roles are aligned along the profile of vectors of value creation that characterizes the sector.

4.1. When the productizing vector dominates, the network will differentiate itself with the sequence of the innovation process, and governance will focus on coordinating venture activities. Low productizing emphasis will lead to integration.

4.2. When the stabilizing architecture vector dominates, the network will be pulled toward disintegration and alignment with the elements of technical architecture. Governance will focus on leverage by dominant players, standard and coalitions.

4.3. When matching dominates value creation and capture, the network will be pulled towards integration of innovation activities in suppliers (and buyers if the product is strategic for them) and will lead to strong bilateral relationships.

4.4. When the engineering vector dominates, the activities in the innovation process will be integrated around assemblers. Governance will focus on coordination along the lines of the value chain.

3.5 Games are characterized by coherent patterns of strategies, capabilities and organization structure

Firms active in a sector will pursue different (1) strategies (2) organization structure and processes for innovation and (3) practices to manage the innovation journey. Firms' strategic moves are not determined or foreordained by contextual conditions but are largely influenced by value creation and capture activities. . Managers infer logics or rules from the game but play unique and creative strategies. In turn, firms through their effective or ineffective moves will recursively influence the game configuration. Each game is thus characterized by distinct value creation and capture activities that call for a distinct pattern of strategic actions. The configuration of vectors of value creation and capture that are emphasized as a function of the requirements of the game will need to be harmonized with the patterns of strategic actions.

As indicated in figure 5, these strategic thrusts can be categorized along three domains. **Building the future competitive advantage** is a set of moves that uses current resources and positions to create and sustain the foundations of market and technology leadership, differentiation and survival in the envisioned future and context. The future competitive advantage can be in continuity with the current one or based on very new sources: moves are initiated frequently or rarely, at regular or irregular pace. **Competitive actions** refer to the range of current actions that firms must perform to create value for customers, while keeping competitors at bay. Competitive actions follow two dimensions, first, aggressiveness vs. collaboration and, second, reliance on internal resources vs. external structures and positions. Competition enables firms to capture enough resources not only to operate but also to invest in developing capabilities and future competitive advantage. **Building capabilities** necessary to improve competitive advantage also vary by game. Firms that pursue technology races need to explore and act rapidly.

By contrast, firms in other games will need project management, engineering coordination skills and customer collaboration competences. Capabilities to innovate require the continual improvement and the accumulation of knowledge and processes that enable exploration, development of business models. The dimensions that characterize capabilities are i) dynamic capabilities vs. operational capabilities and ii) flexibility (ability to respond) vs. efficiency.

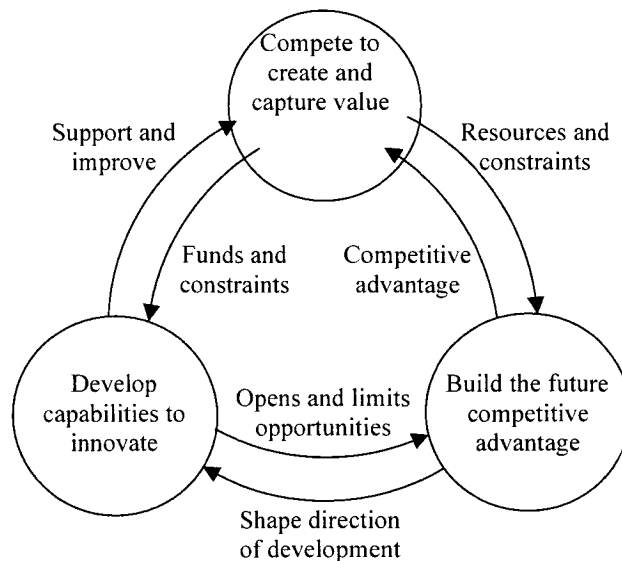


Figure 5: Strategies in the development of game configurations

The strategies pursued by firms will vary as a function their interpretation of effective value creation and capture activities, their perception of the division of labor in innovation and the influence of sector attributes. The rate and direction of investments by firms to implement strategic moves and build capabilities will differ from game to game and will contribute to shaping the effective configuration. Each game will display a distinct configurations of strategy domains and a path of investments involving both competition and coordination..

Proposition 5 The configuration of strategic domains will be determined by the joint action of value creation and capture activities, the inter-organizational networks and the dynamics of the sector

Firms in different games will put different weights on the three domains of their strategic systems. Moreover, within each vector, they will emphasize different dimensions. Variations in weights depend on (i) the value creation emphasis in the sector, (ii) the network structure and (iii) the dynamics of the sector. For example, a combination of engineering and matching in value creation that characterizes the flight simulation sector leads on the one hand to a high emphasis on capability development through the accumulation of knowledge and expertise in the form of mathematical models and databases. On the other hand, competing to create value also relies on collaborative strategies with customers, suppliers and even regulators: building the future competitive advantage is in continuity with the past.

The weights will be different in the biotechnology sector in which the emphasis is on productizing to take advantage of the high knowledge dynamism and high structuring potential: building the future competitive advantage will rely largely on shifting to new knowledge areas such as genomics to proteomics. Capabilities being continually disrupted, the competitive aspect consists will consist largely of parallel sprint races between firms advancing different technical principles.

3.6 The dynamics of sectors and its influence on strategies and capabilities

Sector characteristics will influence the configurations of strategy domains. Some sectors are growing at slow pace while others are experiencing high levels of growth. Rivalry is intense in some sector but weaker in others. High levels of uncertainty, inter-

dependencies, non-linearity and feedback processes, extent of disruptions or frequency of major transformation may prevail.

The dynamics of the sectoral environment will thus influence the configuration of strategies because the former affects the sustainability of the competitive advantage. The dynamics of a sector can be measured through its growth, speed of change, rivalry and turbulence.. Low growth leads to lower investment (relative to sales) in internal capabilities to innovate compared to sectors with higher levels of growth because the expectations of return and the likelihood of entry by competitors are low. In high growth sectors, collaborative and collective moves that aim to create new opportunities, shape structures to share risks and create a favourable dynamics of expansion and learning will have a higher relative weight within the strategic system than in lower growth sectors. In high dynamism sectors, high investment in innovation capabilities and a higher relative weight on competitive strategies will work in parallel to collaborative moves.

Very high level of dynamism leads to high uncertainty, high rivalry and insufficient time to reap benefits, which requires a collective safety net to encourage diverse strategic initiatives. The high levels of investment will be funded collaboratively and collectively, through a combination of innovation support agencies, corporate initiatives and venture capital. Intellectual procurement by public agencies and departments (such as NRC in Canada or NSF and NIH in the USA) fosters research activities, knowledge and services to grow a sector. Only when dynamism is average, will competitive investments lead in importance because both opportunities and time to reap returns exist. The network structure refers to the arena of firms in the sector and the links among them.

When there are similarities in prevailing conditions across several sectors as in oil and gas, petrochemicals, electric power systems, pulp and paper , in spite of differences in underlying technologies , patterns of innovation consists in activities that aim at reducing cost and improving reliability of a large asset base. Core innovation activities

consist in identifying, defining and solving problem with the highest beneficial impact. Hence, the configuration of activities of innovation is similar in all these sectors. Therefore, we can argue that they play the same innovation game and hence should develop similar patterns at the level of sectors

Proposition 6: The configuration of strategies , capabilities and organization will be influenced by specific sectoral characteristics.

Proposition 6.1: The higher the speed of change in the sector the higher the weight of strategies related to building future competitive advantage

Proposition 6.2: When speed of change is average, strategies that focus on building capabilities will have a higher weight than others.

Proposition 6.3: The lower the dynamism, the higher the weight of strategies focussing on competitive moves to create value.

3.6 Performance

In this section, we will first present empirical results that show that games and the sectors to which they are associated achieve highly variable performance. Second, we will discuss the impact on performance of the fit between ideal game configuration and sector attributes. Third, we will show that excellent firms match their strategies and structure to the ideal configuration

i) Variation of performance of games.

Performance is a multi-dimensional outcome measured by indicators such as: sales growth , profitability, intellectual capital production, sustainability of competitive ad-

vantage and subjective innovativeness. In our preliminary study, two dimensions were used to assess performance: (1) sales growth over the last five years, (2) average return on invested capital (ROI),

Contrary to the market efficiency hypothesis (Kay 1993) that claims that differences in returns should disappear as competitors and new entrants pursue opportunities, differences in returns on invested capital exist and subsist. The observed performance of games of innovation in the different sectors varies significantly. For instance, while the average annual growth in sales over the last five years is 20% per year, results varied widely. Games experiencing above average growth were (1) Races to the Patent and Regulatory Office (57% per year), (2) Battles for Architecture (29% per year), (3) R&D services (49% per year) and (4) High-technology craft (21% per year). By contrast, games experiencing below average growth were (1) Asset-specific problem solving (8% per year), (2) Systems consulting 15% per year, (3) Innovating in packs (8% per year), and (4)-Delivering safe science –based products (12%) On average, returns on invested capital are 12.1 % with a 95%confidence interval ranging from 7.6 % to 17.5 %.

ii) Ideal configuration and performance

The performance of sectors and firms is influenced to a great degree by the fit to the game of innovation that is played. Figure 1 suggests that when the ideal configuration of value creation and capture vectors (the game) is well fitted to the structure and dynamics of the sector, the performance of the sector will be high. The same holds for firms. The managers of excellent firms understand better than competitors the ideal configuration of value creation and capture activities in their sector, adapt the strategies, capabilities and structure of their firms to this configuration and achieve superior results.

Proposition 7. Sectors with a structure and a dynamics that are closer to the ideal configuration of the game in which the prevailing condition would place them have a higher performance

Contextual factors however, interact with value creation and capture activities to influence sector performance. Knowledge dynamism opens up opportunities that generally lead to high rate of growth and change in the sector but it can also constantly disrupt the sector structure and competencies. By contrast, strong economic and regulatory forces can preserve the structure of a sector for a certain time. This can stimulate the sector growth by reducing uncertainty for customers' and suppliers. However, a structural lock-in on an inferior technical equilibrium may from time to time trigger turbulent periods of radical restructuring. Furthermore, customer expertise can influence (1) the structure of the sector by creating strong links to other sectors and (2) the dynamics of the sector by a quasi synchronization of innovation with the capacity of customers to generate and absorb innovation. Mismatch in these interactions lead to turbulence such as overcapacity cycles and underinvestment in leading sectors etc.

Proposition 8 Games will display high levels of variability in performance.

Games with high or medium levels of knowledge dynamism will be continually submitted to disruptions and variety in survival. By contrast when the structuring potential is transformed into reality, players are better able to capture the value they create. With moderate levels of dynamism but with average or high degree of structuration, high levels of economic performance will be achieved.

Proposition 8.1 The higher the knowledge dynamism the higher the average growth and innovativeness and high variability in survival

Proposition 8.2 The higher the structuring potential the more similar is the performance in terms of sales growth and returns.

Proposition 8.3 The higher the expertise of buyers, the lower average financial returns but high survival rate.

iii) Excellent firms

Some firms and their managers are better than others in finding the most appropriate configuration of strategies, capabilities and structure to fit the game they compete in... Contrary to the resource-based view which emphasizes that competitive advantage and subsequent performance of a firm comes from the ownership of unique assets and skills, we argue that performance within sectors is related to the adoption of a configuration of strategies, organizing patterns and practices that is adapted the conditions of the game played by the firm.

Many reasons explain the differences between firms in the same sector: (i) the history of past choices and inertial factors that preclude firms from reaching the ideal configuration, (ii) the institutional pressures that force firms to apply universal 'rationalizing models' and 'best practices' rather than strategies and practices appropriate for the given game and (iii) the difficulty of understanding the requirements of the game coupled with social selection processes that enable firms with inadequate strategies to survive. Yet, our argument is that :

Proposition 9. Firms that are closer to the ideal configuration of strategy, organization and practices for their game achieve a higher innovation and business performance

4. Conclusion

One of the puzzles to solve is why some sectors consistently deliver ever more performing products, higher value services and ever-lower prices while others struggle along with the same mediocre offer at prices that are often raising rather than falling. As time passes, the positive or negative effects of collective and individual moves emerge: some sectors grow while others falter.

Competitors in a games may fall into traps that restrain growth of a sector. The sector can be precluded from achieving healthy performance as a result of (1) overcommitments due to illusory expectations or inappropriate government interventions, (2) competitive actions of competitors leading to a lock-in of the sector in an inferior equilibrium, or (3) inappropriate sectoral mindsets that preclude effective collaboration. (Garud and Karnoe 2002)

The quality of competitors and their ability to put their act together certainly influence the health of sectors. The creation and capture of value require not only rivalry but also collaboration, coordination and institutional supports.. In high technology markets, in addition to the danger of being overcome by superior rivals, there is also the danger of finding oneself surrounded by inept rivals who refrain from collaboration or collective actions.

To understand the evolution of sectors, and identify moves that lead to growth, longitudinal studies of processes are required. Players are interdependent and can make moves that lead them collectively toward rich or poor futures, deadlocks or expansion etc. Healthy games are ones in which value creation is enhanced by both competition and collaboration thus creating more value to be shared by players. Games however, can move toward inferior equilibrium, where interactions between positive and negative feedback loops yield anemic systems.

References

- Abernathy, W. J. & Clark, K. B., 1985. "Innovation: Mapping the Winds of Creative Destruction". *Research Policy*. 14: 2-22.
- Abernathy, W. J. & Utterback, J. M., 1978. "Patterns of Industrial Innovation". *Technology Review*. 80: 40-47.
- Arthur, B., 1989. "Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Small Historical Events". *Economic Journal*. 99:116-31
- Arthur, B., 1994. . *Increasing Returns and Path-Dependence in the Economy*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Baldwin, C. Y. & Clark, K. B., 1997. "Managing in an Age of Modularity". *Harvard Business Review*. September-October, 84-93.
- Barney, J. B., 1991. "Firm Resources and Sustained Competitive Advantage". *Journal of Management*. 17: 99-120.
- Baumol, W. J., 2003. . *Growth Industrial Organisation and Economic Generalities*. Cheltenham United Kingdom and Northampton, Massachusetts: Edward Elgar Publisher.
- Bettis, R. A. & Hitt, M. A., 1995. "The New Competitive Landscape". *Strategic Management Journal*. Summer Special Issue, 16: 7-19.
- Brandenburger, A. M. & Nalebuff, B. J., 1996. . *Co-opetition: 1. A Revolutionary mindset that combines competition and cooperation; 2. The Game Theory Strategy that's changing the game business*. New York: Currency Doubleday.
- Bresnahan, T. F., Stern, S. & Trajtenberg, M., 1996. "Market Segmentation and the Sources of Rents from Innovation: Personal Computers in the Late 1980s". *RAND Journal of Economics*. S17-S44.
- Brown, S. L. and Eisenhardt, K. M., 1998. . *Competing on the Edge*. Boston, MA: Harvard Business School Press Boston MA.
- Caves R. and M. Porter, From entry barriers to mobility barriers, *Quarterly Journal of Economics* May 1977 pp 241-261
- Chakravorty, 2003
- Chesbrough, H. W. & Teece, D. J., 1996. "When is Virtual Virtuous? Organizing for Innovation". *Harvard Business Review*. Vol. 74, Iss. 1: 65-72.
- Chesbrough, H. W., 2003(a). "The Logic of Open Innovation: Managing Intellectual Property". *California Management Review*. 45(3): pp 33.
- Chesbrough, H. W., 2003(b). "The Era of Open Innovation". *MIT Sloan Management Review*. 44(3): 35-41. 57.
- Christensen, C. M., 1997. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Cohen, W. M., and Levinthal, D. A, 1990. . "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation". *Administrative Science*. 35: 128-52.

- Cooper, R. G., 2001. . *Winning at New Products*. Cambridge, Mass: Perseus.
- Corner, K. R. & Prahalad, C. K., 1996. "A Resource-based Theory of the Firm: Knowledge versus Opportunism". *Organization Science*. 7 (5): 477-501.
- Cusumano, M., Mylonadis, Y. & Rosenbloom, R., 1992. "Strategic Maneuvering and Mass Market Dynamics:The Triumph of VHS over Beta". *Business History Review*. Fall, 51-93.
- Cusumano, M. A. & Markides, C. C., 2001. . *Strategic Thinking for the next economy*. MIT Sloan Management Review, Jossey-Bass Publisher.
- D'Aveni, R. A. 1995. "Coping with Hypercompetition: Utilizing the New 7S Framework". *Academy of Management Executive*. 9:45-60.
- D'Aveni, R. A., 1994. . *Hypercompetition: Managing the dynamics of Strategic Maneuvering*. New York: The Free Press.
- .Dosi, G., Malerba, F., Marsili, O. & Orsenigo, L., 1997. "Industrial Structure and Dynamics: Evidence, Interpretation and Puzzles". *Industrial and Corporate Change*. 6 (1): 3-24.
- Edquist, C., 1997. . *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London: Pint .
- Eisenhardt, K. M., & Santos F. M., 2001. "Knowledge-Based View: A New Theory of Strategy?" In Pettigrew, A., Thomas, H., Whittington, R. (Eds.). *Handbook of Strategy and Management*. Sage Publications.
- Eisenhardt, K. M., 1989 (a). "Making Fast Strategic Decisions in High-Velocity Environment". *Academy of Management Journal*. 32: 543-76.
- Eisenhardt, K. M., 1989 (b). "Building Theories from the Case Study Research". *Academy of Management Review*. 14: 52-50.
- Fagerberg, J, .2003 Innovation: A Guide to the Literature TEARI Working PaperHPSE-CT -2002-60052), University of Oslo
- Florice, S. & Miller, R., 2003. "An Exploratory Comparison of the Management of Innovation in the New and Old Economies". *R & D Management*. 33(5):501-25.
- Foray, D., 2000. . *L'économie de la connaissance*. Paris, La Decouverte. . .
- Freeman, C. & Soete, L., 1997. . *The Economics of Industrial Innovation*. 3rd edn., London: Pinter. .
- Fudenberg, D. and Tirole, J. 1991, "Game Theory", MIT Press , Cambridge, MA.
- Garud, R. & Kumaraswamy, A., 1993. "Changing Competitive Dynamics in Network Industries: An Exploration of Sun Microsystems' Open Systems Strategy". *Strategic Management Journal*. 14: 351-69. .
- Ghemawat, P., 1991. . *Commiment: The Dynamic of Strategy*. New York: The Free Press.
- Ghemawat, P., 2000. . *Strategy and the Business Landscape*. Prentice Hall.
- Glaser, B and Strauss A. The Discovery of Grounded Theory, Chicago Ill. Aldine 1967

- Henderson, M. & Clark, K., 1990. "Architectural Innovation: the Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of the Established Firm". *Administrative Science Quarterly*. 35 (1): 9-30.
- Henderson, R., 1994. "The Evolution of Integrative Capability: Innovation in Cardiovascular Drug Discovery". *Industrial and Corporate Change*. 3:607-30.
- Hollingsworth, J. and Boyer R, Contemporary Capitalism: the embeddedness of Institutions, Cambridge University Press, Cambridge U.K.
- Iansiti, M., & Levien, R., 2003. . *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*. Harvard Business School Press
- Jelinek, M. & Schoonhoven, C. B., 1990. . *Innovation Marathon. Lessons from high-technology firms*. Basil Blackwell. Oxford.
- Jorgenson, D. W., 2002. . *Economic Growth in the Information Age*. Cambridge, MIT Press.
- Jorgenson, D. W., 2003. "Information Technology and the G7 Economies". *World Economics*. Vol. 4, No. 4, October-December 2003, pp. 139-169.
- Kalling, T The Business Model and the Resource Management Model: Institute of Economic Research, Lund University, Lund, Sweden
- Klein, Burton H., 1977. . *Dynamic Economics*. Cambridge: Harvard University Press.
- MacCormack, A., Verganti, R. & Iansiti, M., 2001. "Developing Products on Internet Time: The Anatomy of a Flexible Development Process". *Management Science*. 47(1):133-50.
- Malerba, F. & Orsenigo, L., 1996. "Schumpeterian Patterns of Innovation are Technology-specific". *Research Policy*. 25(2):451-78.
- Malerba, F., 2002. "Sectoral Systems of Innovation and Production". *Research Policy*. 31(2):247-64.
- Malerba, F., 2003 " Sectoral Systems; How and Why innovation differ across sectors. TEARI working paper HPSE-CT-2002-60052), University of Oslo, Norway
- McGee, J. And H. Thomas, Strategic Groups; Theory, research and taxonomy, Strategic Management Journal Volume 7 (2) , pp 141-160
- Metcalf, J. S., 1981. "Technology Systems and Technology Policy in Historical Perspective". *Cambridge Journal of Economics*. 19: 25-47.
- Miller, R. & Blais, R., 1993. "Configurations of Innovation in Six Industrial Sectors". *IEEE Trans. On Engineering Management*. 40(3):264-73.
- Miller, R., Hobday, M. & Olleross, X. F., 1995. "Innovation in Complex Systems Industries". *Industrial and Corporate Change*. 4(2): 363-400.
- Nalebuff, B. J., & Brandenburger, A. M., 1997. "Co-opetition: Competitive and cooperative business strategies for the digital economy". *Strategy & Leadership*. 25(6): 28-35.

- Nelson, R. & Winter, S. G., 1982. . *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, Mass. : Harvard University Press.
- Nelson, R. R. (ed.), 1993. . *National Systems of Innovation: A Comparative Analysis*. New York: Oxford University Press.
- Olleros, X. F. & Miller, R. 1993. "Internally Coherent Systems of Innovation: the Case of Flight Simulation". *Proceedings of the Flight Simulation Technologies Conference*. Washington, D. C. : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1993, pp. 12-28.
- Olleros, X., 1992, Innovation:manageable or unmanageable Gamble Hydro-Québec Chair in the Management of Technology ,Montréal
- Olleros, Xavier, 1997. "Uncertainty and indeterminacy in emerging markets". *Proceedings of the 9th International Conference on the Management of Technology*. Göteborg, Sweden, pp. 399-410.
- Parollini, C., 1999. . *The Value Net - A Tool for Competitive Strategy*. England: John Wiley & Sons.
- Pavitt, K. 2002. "Innovating routines in the business firm: what corporate tasks should they be accomplishing?". *Industrial and Corporate Change*. 11(1): 117-33.
- Pavitt, K., 1984. "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory". *Research Policy*. 13: 343-73.
- Pavitt, K., 2002. "Innovating Routines in the Business Firm: What Corporate Tasks Should They Be Accomplishing?". *Industrial and Corporate Change*. 11 (1): 117-33.
- Penrose, E. T., 1959. . *The Theory of the Growth of the Firm*. Wiley, New York.
- Porter, M. E., 1990. . *The Competitive Advantage of Nations*. New York: The Free Press.
- Porter, M. E., 1980. . *Competitive Strategy: Technics for Analyzing Industries and Competitors*. New York: The Free Press.
- Porter, M. E., 1985. . *Competitive Advantages: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: The Free Press.
- Porter , M.E. , 2000. 'Industry Transformation'. **Harvard Business School**, Case 9-701-008,
- Porter, M.E. and Cornelius, 2003, "The global Competitiveness Report " World Economic Forum
- Prahalad, C. K. & Hamel, G., 1990. "The Core Competence of the Corporation". *Harvard Business Review*. 68(3):79-91.
- Prahalad, C. K. & Hamel, G., 1994. "Strategy as a Field of Study: Why Search for a New Paradigm?". *Strategic Management Journal*. 15(Special Issue:Summer):5-16.
- Prahalad, C. K. & Hamel, G., 1996. "Competing in the New Economy: Managing Out of Bounds". *Strategic Management Journal*. 17(3):237-42.

- Prahalad, C. K., 1998. "Managing Discontinuities: the Emerging Challenges". *Research Technology Management*. 41 (3):14-22.
- Richardson, G. B., 1976. G. B. Richardson: Competition, Innovation and Increasing Returns.
- Robbins-Roth, C. 2000. *From Alchemy to IPO: The Business of Biotechnology*. Cambridge, Mass: Persus Publishing.
- Salais R., and Storper, M. 1992. "The Four Worlds of Contemporary Industry". *Cambridge Journal of Economics*. 16: 169-93.
- Saloner, S. , Shepard A. and Podolny J. 2001, *Strategic Management*, John Wiley and Sons , New York
- Samuelson, L. 1998, *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, MIT Press, Cambridge , MA.
- Schilling, M. A. & Hill, C. W. L., 1998. "Managing the New Product Development Process: Strategic Imperatives". *Academy of Management Executive*. 12 (3): 67-81. . .
- Schumpeter, J. A., 1936. . *The Theory of Economic Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A., 1954. . *Capitalism, Socialism and Democracy*. New York: Harper and Row. . .
- Selznick, P., 1957. . *Leadership in Administration: A Sociological Interpretation*. New York: Harper & Row.
- Shapiro, C. and Varian, H. R. 1999. *Information Rules*. Boston, Mass: Harvard Business School Press.
- Teece, D. J., 1998. "Capturing Value from Knowledge Assets: The New Economy, Markets for Know-How, and Intangible Assets". *California Management Review*. 40(3):55-79.
- Teece, D., 1992. "Cooperation, Competition, and Innovation". *Journal of Economic Behavior and Organization*.,
- Teece, D., 1996. "Firm Organization, Industrial Structure, and Technological Innovation". *Journal of Economic Behavior and Organization*. 31:193-224.
- Teece, D. J., Gary, P. & Amy, S., 1997. "Dynamic Capabilities and Strategic Management". *Strategic Management Journal*. 18 Aug, 509-33.
- Thomas,G.H.1997. . "The Theory and Practice of Competence-based Competition". *Long Range Planning*. Vol. 30, Iss. 4; p. 615 (6 pages)
- Tushman, M. L. & Anderson, P., 1986 (a). "Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change". *Administrative Science Quarterly*. 35:604-33.
- Tushman, M. L. & Anderson, P., 1986 (b). "Technological Discontinuities and Organizational Environments". *Administration Science Quarterly*. 31:439-65.

- Utterback, J. M. & Suarez, F. F., 1995. "Dominant Designs and the Survival of Firms". *Strategic Management Journal*. 16:415-30.
- Van de Poel, I. R., 2003. "The transformation of Technological Regimes". *Research Policy*. 32(1): 49-68.
- Van de Ven, A. & Garud, R., 1993. "Innovation and Industry Devevelopment: The Case of Cochlear Implants", in R. Rosenbloom and R. Gurgelman (Eds.). *Research in Technological Innovation, Management and Policy*. 5:1-46, Greenwich, CN: JAI Press.
- Van de Ven, A. & Gurud, R., 1994. "The Co-evolution of Technical and Institutional Events in the Development of an Innovation". In Baum, J. & Singh, J. (Eds.). *Evolutionary Dynamics of Organization*. New York: Oxford University Press, pp. 425-43.
- Walsh, J. & Ungson, G. R., 1991. "Organisational Memory". *Academy of Management Review*. 10(1):57-91.
- Weick, K. E., 1995 (a). "Creativity and the Aesthetics of Imperfection. " In C. M. Ford & D. A. Gioia (eds.). *Creative Action in Organizations*. Thousand Oaks, California: Sage Publications. 187-194.
- Winter, S., 1991. "On Coase, Competence and the Corporation". In O. Williamson and S. Winter (eds.). *The Nature of the Firm*. Oxford University Press.

ANNEXE 2 : TABLEAU DE LITTÉRATURE COMPARÉE

Sur la page suivante figure le tableau de littérature comparée se rapportant au chapitre 2.
Notes sur ce tableau :

1. Régulation, normes, qualité, standards
2. scientifiques et financières, capacités humaines aussi
3. présence de tous les complémentaires requis, jusqu'à la commercialisation
4. donc inertielle, auto renforçante, et finalement contraignante dans une seule direction
5. même en faible vitesse technologique
6. basé sur la capacité à produire la PI

Courant théorique	Entrepreneurship tech, innovation radicale	Le capital de risque	Survie post-entrée en milieu innovant	Coordination et politiques publiques	Théories meso et sociales de l'innovation	Littérature de cours au sens classique	Littérature sur la diffusion technologique
Thèses	<ul style="list-style-type: none"> • L'entrepreneur hiérarchique • Les capacités uniques des innovateurs face aux historiques. • Cycle de vie technologique, d'alternativité et discontinuités. • Typologie de l'innovation (modulaire, architecturale, incrémentale, codécouverte). • Un promoteur est un entrepreneur au réseau de contact mercuriel en relation des problèmes avec des détenteurs de solutions. • VC est <i>pull dependent</i>. • Création d'industrie par le VC = hasard et coups de poker. • VC motivé par les concepts prometteurs (business technologies...) • L'absence de confiance. Il faut faire son entrée prise sur ses capacités et en montrant ce qu'on ne fait pas sa valeur ajoutée, il concentre son avenir dans des activités de conquêtes de marché, avec une approche entrepreneuriale (peu formelle, créative) sur chaque projet. 	<ul style="list-style-type: none"> • VC classique est égoïste, VC public est stratégique. • Gestion / répartition du risque par portefeuille. • VC irremplaçable dans le système financier. • VC agit dans la gestion de l'entreprise. • VC est <i>pull dependent</i>. • Création d'industrie par le VC = hasard et coups de poker. • VC motivé par les concepts prometteurs (business technologies...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Primauté des facteurs micro-économiques. • Vitesse technologique augmente la période de risque pour les entrants, élimine plus rapidement les mauvais, mais élimine des survivants plus forts. • Défi = survie, pas l'entrée. • <i>Weakness</i> et <i>myths</i> subventionnés = incapacité de coordination (et donc surpopulation, cf. théories écologistes). • L'absence technologique que n'est pas garante de survie (cf. lit. de courtes). 	<ul style="list-style-type: none"> • La transition vers les processus de commercialisation doit être un succès de tous les instants des politiques. • La coordination doit créer des marchés sécurisés pour l'expérimentation de solutions et les échanges ; permettre les liens stratégiques entre fonctions et entreprises partiales (car les opportunités se créent de façon croisée) ; conserver les avantages compétitifs. • Le financement public de RD privée est bénéfique à un certain point. • Les consortiums sont des façons auto financées de planifier la recherche dans de multiples voies et de sélectionner rapidement les plus valables. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'innovation meso dépasse l'entrepreneur. • Santé et chances de succès d'un système d'arrangement dépendent de la vigueur des arrangements institutionnels, de l'accessibilité des ressources, du réseau de fonctions propriétaires. • La progression est accumulative et par <i>spill over</i>. Les succès vont de façon inégalement et <i>timing</i> est meilleur. • Destins : les coopération et imitation nécessaires. Création croisée d'opportunités. • Une arière, un mode commun de création / capture de la valeur, vaient avec la vitesse technique, les forces de structure et la compétence du client. • Courses technologiques, processus d'essais/erreurs sur : technologies, modèles d'affaires, approches, jeux de compétences clés. Les joueurs historiques prennent une position défensive par <i>spin off</i> ou VC. Les systèmes nationaux créent des opportunités et tentent la réalité économique. La coordination de tous ces acteurs augmente la chance de survie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le leadership d'une entreprise lui donne une position avantageuse. • L'évaluation économique de cet avantage conduit à divers comportements (arrapage de retardataires, acquisition d'une avance inatrapable, courses à relais, courses en groupes, stratégies de grands sauts ou de petits rattrapages). • On peut modéliser, en fonction du coût du retard et du gain de l'avance, les comportements, et relativiser l'impact de la position technologique sur les performances (techniques et financières) d'une entreprise. • Le rattrapage et la diffusion technologique se fait par <i>spill over</i> d'un groupe de courses à l'autre, quantification de la vitesse de ce phénomène. 	<ul style="list-style-type: none"> • La diffusion est le résultat d'un processus social de communication qui vise à attirer des promoteurs, et provoquer une boule de neige par baisse de l'incertitude entraînant de nouveaux clients et financiers dans l'affaire. • La diffusion est aussi liée à des choix d'agents économiques rationnels, indépendants de l'effervescence des processus sociaux. • Devant le coût réducteur et l'oubli de certains facteurs d'innovation, la disponibilité de celle-ci en modules abordables aux fonctionnaires colles est une grande caractéristique de la vitesse de diffusion. • Les facteurs stratégiques et d'agents complémentaires sont les freins ou accélérateurs du processus.
Enjeux	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs de succès : avance technologique, position prioritaire, orientation marché, minimiser irrésistibilité et activités parasites, différenciation, CA fort. • Facteurs d'échec : acquisition de compétences manquantes, transition (goutte), accumulation des ressources, crédibilité, blocages complémentaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • "Je l'aime, moi non plus" : entre entrepreneur et VC. • Intérêts différents de l'un et l'autre. • Minimisation du risque. • Gestion co-conducive de portefeuilles. 	<ul style="list-style-type: none"> • La survie est liée positivement à : <ul style="list-style-type: none"> • L'ancrage. • La différenciation sur les marchés. • La prise de participation dans les activités complémentaires de façon large, la taille originale de l'entreprise. 	<ul style="list-style-type: none"> • Offrir l'accès aux ressources trop coûteuses (équipement) aux petites entreprises. • Définir un cadre méso ni trop général, ni trop particulier. • Évaluer les grandeurs sociales. • Mettre à jour les phénomènes de <i>lock in</i> et subprimarité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mécanismes de création d'arrangements sociaux pour faire avancer l'acte. • Définition de configurations typiques. • Définition d'un cadre méso ni trop général, ni trop particulier. • Évaluer les grandeurs sociales. • Mettre à jour les phénomènes de <i>lock in</i> et subprimarité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir une mesure de position. • Évaluer le coût du retard, les gains procurés par l'arrapage technologique. • Définir un "retard acceptable", lié aux coûts de transition d'un client. 	<ul style="list-style-type: none"> • Caractériser la vitesse de diffusion d'une technologie. • Évaluer les poids relatifs des perspectives sociales et économiques pures dans la diffusion des technologies. • Intégrer des vues contradictoires.
Recherches en cours	<ul style="list-style-type: none"> • Définir l'entrepreneur et les limites de ce qu'on peut en tirer. • Unifier des théories concurrentes. • Tirer les leçons des échecs et non pas seulement des succès. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asymétrie de l'information. • Conflits VC / entrepreneur. • Rôle du VC public. • Définition des priorités des porteurs à l'investissement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée de firmes supportées par les joueurs historiques. • Survie et caractéristiques de l'entrepreneur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implémentations pratiques. • Évaluation dans différents contextes institutionnels (Japon, US, PVD). • Échecs de de cas à succès et de cas d'échecs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Validation des théories. • Extension dans le cadre des petites entreprises (moins conscientes de leur environnement méso) et des écosystèmes émergents. 	<ul style="list-style-type: none"> • Courses à lignes d'arrivée (dépit de buccer). • Modélisation stochastique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer le dynamisme de l'entrepreneur et ses capacités de réaction aux modèles qui ne prennent en compte que la réaction d'acheteurs devant une offre statique.
Dimensions absentes et cas de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de protection et de réaction des historiques. • L'entrepreneur n'innove pas indépendamment du contexte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sous investissement massif en énergie ? • Sommes mises en jeu dépassant capacités VC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sous estimation des barrières à l'entrée en énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les consortiums regroupent contre le progrès radical : déficit d'innovation sur des concepts radicaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • En énergie, l'essai / erreur n'existe pas, tolérance nulle à l'échec. Les historiques sont surpassés, position de "promoteurs établis" (cf. chap. 3), bêtise - le monopole légal. 	<ul style="list-style-type: none"> • On récapitule l'existence du marché et d'une façon de mesurer la performance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'oubli, mais des directions contradictoires difficiles à relier.

ANNEXE 3 : VUE SCHÉMATIQUE

La figure sur la page suivante représente une synthèse graphique de la logique d'innovation décrite dans le mémoire. Quatre zones y figurent où notre logique est à l'oeuvre (pour permettre une présentation graphique claire, les énoncés de notre logique sont modifiés) :

1 : Les marchés historiques sont les plus visés mais sont sous le contrôle d'entreprises historiques (3.1). Les marchés d'applications radicales ne sont que très peu poursuivis (atypique, cf. section 2.1) et représentent des niches qui n'arrivent pas à éclore. Les marchés sécurisés (financés et/ou protégés par des politiques) se font rares (contrairement aux objectifs politiques classiques - 2.5), car les autorités préfèrent viser les marchés apportant des avantages massifs (pollution, retours économiques, etc...), cf. 3.1.2.

2 : Les entreprises indépendantes tendent toutes à trouver des partenaires stratégiques parmi les très gros joueurs (cf. études de cas), ce qui leur donne une "raison d'être" et donc, sécurise des ressources (2.1). Dès lors, les innovateurs ne cherchent plus à innover indépendamment ou à créer des marchés en communauté (2.4), mais bien à s'intégrer verticalement (voire, se faire racheter) par d'autres entreprises pour augmenter leur crédibilité et accéder aux marchés à forte promesse (études de cas, logique d'accès au marché : 3.1.2).

3 : La naissance d'industrie se fait fréquemment en concertation entre plusieurs entrepreneurs qui, volontairement ou non, créent des opportunités pour d'autres entrepreneurs (2.4). Ce phénomène d'émulation est quasiment absent en NFE, à cause de l'intégration verticale qui : limite les échanges, les opportunités croisées et la pression compétitive : mieux vaut avoir l'avantage et être sélectionné dans un grand projet que d'ouvrir des portes à des compétiteurs.

4 : Le contexte social d'innovation influence le marché et l'arène des joueurs. En impliquant volontairement les entreprises historiques dans l'émergence des NFE, et en encourageant financièrement cette implication, les politiques de recherche participent d'une logique conservatrice : demander à une entreprise classique de mettre sur le marché une technologie radicale, c'est attendre que cette technologie radicale ait rattrapé son handicap de perfor-

mance selon les métriques de performance des entreprises historiques (3.1.3), et non pas selon de nouvelles dimensions correspondant à des applications pionnières. L'attente, c'est ce qui se produit en NFE.

Mécanismes de l'émergence - Le cas de l'énergie

