

Titre: Logique d'innovation des développeurs d'outils et de services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement
Title: à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement

Auteur: Alain Aubertin
Author:

Date: 2009

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Aubertin, A. (2009). Logique d'innovation des développeurs d'outils et de services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement [Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/8276/>

Document en libre accès dans PolyPublie Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/8276/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Roger Miller
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

LOGIQUE D'INNOVATION DES
DÉVELOPPEURS D'OUTILS ET DE SERVICES
D'AIDE À LA CONCEPTION, À L'INGÉNIERIE
ET À LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

ALAIN AUBERTIN
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES
ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE PHILOSOPHIAE DOCTOR (Ph.D.)
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2009



Library and
Archives Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

ISBN: 978-0-494-49412-7

Our file *Notre référence*

ISBN: 978-0-494-49412-7

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.

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

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

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 protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

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

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



Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée :

LOGIQUE D'INNOVATION DES
DÉVELOPPEURS D'OUTILS ET DE SERVICES
D'AIDE À LA CONCEPTION, À L'INGÉNIERIE
ET À LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

présentée par : AUBERTIN Alain
en vue de l'obtention du diplôme de : Philosophiae Doctor
a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

TRÉPANIER Jean-Yves, ing., Ph.D., président
MILLER Roger, Ph.D., membre et directeur de recherche
FORTIN Clément, Ph.D., membre
DALZIEL Margaret, Ph.D., membre externe

À mes filles, Audrey et Marianne, qui découvriront elles aussi un jour j'en suis sûr, leur élan créateur pour réaliser leurs rêves.

À ma mère, dont j'ai retrouvé l'amour qui était enfoui dans mes souvenirs d'enfance.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le professeur Roger Miller pour son soutien constant et les discussions enrichissantes qui m'ont stimulé àachever cette thèse. Merci de m'avoir rappelé que pour réaliser de grands projets, l'homme a besoin de plus que des idées, il lui faut aussi de grandes aspirations.

Des remerciements doivent également être adressés au Conseil de Recherches en Sciences Humaines du Canada (CRSH) et à l'École Polytechnique de Montréal, pour leur soutien financier m'ayant permis de me consacrer entièrement à ce projet durant les quelques mois de rédaction finale. Merci aux membres du jury d'avoir consacré du temps à l'examen de la présente thèse.

Merci à mes collègues du projet MINE pour les bons échanges. Un merci spécial à Nathalie Drouin et Jad Bitar lesquels m'ont permis, par leur ouverture et intelligence, d'explorer des idées et concepts reliés à ce projet.

Je tiens également à remercier les professeurs Gilles Savard et Pierre Baptiste pour leur confiance et encouragements constants à poursuivre cette thèse.

RÉSUMÉ

Les développeurs d'outils d'aide à la conception, d'ingénierie et de recherche et développement assistent d'autres firmes à être plus productives dans leur développement de produits. La question de recherche formulée dans cette thèse vise à expliquer pourquoi les développeurs de tels outils montrent un profil d'innovation si distinctement caractérisé par une interdépendance élevée avec d'autres firmes, la présence d'interrelations fortes avec des clients experts, et l'importance d'initiatives stratégiques visant la supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la notion d'architecture de produit.

Une revue de la littérature pertinente au problème de recherche révèle des limitations quant à l'étude des relations entre des dimensions associées aux domaines de la science de la conception, de la gestion de l'innovation et de la gestion stratégique des firmes. En dépit du rôle reconnu des outils logiciels d'aide à la conception dans la reconfiguration des systèmes industriels de production vers une plus grande modularité, les travaux précédents n'ont toutefois peu ou pas couvert l'impact de la modularité sur les systèmes de conception en tant que tel et incidemment, sur la logique d'innovation des développeurs d'outils d'aide à la conception à l'ingénierie et à la recherche et développement. Notre contribution permet de répondre au paradoxe où les travaux existants nous conduisent à savoir comment des solutions informatiques sophistiquées évoluant vers davantage d'intégration peuvent soutenir la modularité dans les systèmes de production, et quelles sont les contributions réelles des outils à l'échelle du système de conception à proprement parler.

La réalisation d'études de cas au sein de trente-cinq (35) firmes canadiennes, américaines et européennes se révèle d'une grande richesse sur le plan conceptuel. Basée sur une approche inductive, la théorisation

émergente et ancrée dans les données enrichie certaines relations énoncées par d'autres auteurs en plus d'en établir de nouvelles reliant plus concrètement des concepts associés aux domaines de littérature de recherche concernés. Les résultats d'analyse forment un cadre émergent illustrant la logique d'innovation poursuivie par les développeurs d'outils. Ce cadre combine 15 concepts dans trois (3) construits concernant des *forces de marché dominantes* (6 concepts), des *systèmes stratégiques* (5 concepts) et des *règles de gouvernance de l'innovation* (4 concepts). Des mesures d'intensité pour chacune des firmes de notre échantillon, d'évidences des concepts émergents des données, nous permettent d'identifier des différences et des similitudes entre les firmes et de calculer pour chacune d'elles un indice d'intensité d'intégration et de structuration.

La présente thèse permet de décrire et d'expliquer pourquoi et comment, lorsque les développeurs d'outils effectuent les tâches de conception, ils incorporent à la fois des forces d'intégration et de modularité. Nous réexaminons les travaux antérieurs en suggérant qu'il ne s'agit pas tant d'opposer intégration et modularité comme modèle d'évolution industrielle, mais plutôt reconnaître qu'il s'agit de deux facettes d'une même réalité sur le plan de la conception d'artefacts. Nous expliquons qu'un développeur d'outils répond aux besoins d'un système de conception client avec la logique suivante : plus ses connaissances et technologies deviennent spécifiques à un système de conception dans un domaine d'applications, plus il a de la valeur pour une transaction particulière au sein de celui-ci. Nous soulignons en outre que la spécificité et la force d'intégration sont inhérentes à l'activité de conception et contribuent à augmenter les pressions d'acquisitions et de « fermeture » des systèmes logiciels entraînant ainsi, une réduction de l'inter opérabilité de ces derniers voire même parfois, de la modularité elle-même.

Nos résultats montrent cependant que ce qui caractérise l'application de la science de la conception est non seulement la présence d'une force d'intégration mais aussi, l'utilisation de la modularité comme méthodologie de conception et stratégie d'organisation de l'innovation dans les systèmes de conception. En effet, les obligations d'interdépendances des firmes renforcent la nécessité d'utiliser une approche modulaire comme moyen stratégique d'innover et d'orchestrer les ressources requises. Par conséquent, il appert que la force de modularité contrebalance continuellement la force d'intégration inhérente à l'exercice de la conception et vice versa. Cette dualité pose des dilemmes aux développeurs quant aux moyens à mettre en œuvre pour répondre à des besoins spécifiques et évolutifs de clients dans des domaines précis d'applications industrielles (organiser l'innovation, créer et soutenir des réseaux de conception, assurer l'inter opérabilité des systèmes, renouveler leurs offres, etc.). Notre analyse montrent que l'obtention et l'exploitation par les firmes des ressources de l'écosystème se font au moyen des deux forces : i) l'intégration au moyen d'acquisitions de ressources concurrentes (firmes et technologies) et ii) l'adoption d'une approche modulaire pour intégrer et structurer des ressources, en s'appuyant sur l'inter opérabilité des composants, outils et systèmes.

Une des contributions principales de cette thèse est qu'il est impératif pour les promoteurs d'outils de maîtriser les connaissances spécifiques aux systèmes de conception d'application des clients desservis, ainsi que la logique inhérente à une chaîne de création d'outils d'aide à la conception associé au domaine d'applications. La spécificité rend les développeurs et leurs outils spécifiques au système dont ils visent à soutenir la conception et non pas à tous. L'analyse de l'environnement à l'étude et les entrevues réalisées nous révèlent que la forte spécificité des domaines d'applications industrielles crée ainsi des sous-ensembles de firmes associées. Nos données nous permettent d'illustrer des spécificités, différences et similitudes

entre les firmes de l'échantillon, en discutant des enjeux relatifs aux chaînes de création d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement destinés aux quatre (4) grands domaines d'applications suivants : mécanique, automobile et aérospatiale; microélectronique; MEMS et nano technologique; et sciences de la vie.

La présente thèse contribue à la littérature sur l'évolution des systèmes industriels. Elle approfondie la réflexion théorique sur le rôle des outils à l'égard de l'augmentation de la division du travail et de la modularité. Sans contredit, pour qu'il y ait division et répartition dans les systèmes industriels, il faut tout d'abord qu'il y ait compréhension du travail à faire. Cette compréhension passe par une formalisation rigoureuse des problèmes scientifiques à résoudre ainsi que des méthodes, pratiques et processus à mettre en œuvre pour soutenir d'abord la conception et ensuite la fabrication d'un produit. De plus, ce qui peut être transféré facilement et sans ambiguïté dans un processus de conception est ce qui est bien formalisé, codifié, établi et standardisé. Engagés dans un exercice fondamental de formalisation scientifique, technologique et méthodologique, la maturité méthodologique constitue la propriété émergente du travail d'intégration et de structuration des développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception. L'intégration dans des outils logiciels d'aide à la conception de connaissances, spécifications, règles et normes formalisées et établies engendre une stabilité et une maturité sur le plan de la conception et de l'ingénierie.

Des études de cas réalisées sur des développeurs desservant divers domaines d'applications, nous démontrent que ce n'est pas les outils en tant que tel qui contribuent à la modularité du système de conception mais bien le degré de maturité de la formalisation de la science et des méthodes intégrées dans les outils ainsi que des règles d'échanges d'informations techniques numérisées dans l'écosystème spécifique. Des cas révèlent que les développeurs desservant des domaines émergents (MEMS,

nanotechnologie) ont d'abord comme mission de contribuer à la formalisation scientifique, méthodologique et technologique pour établir la maturité d'un système de conception d'artefact. À l'opposé, les développeurs soutenant des domaines industriels plus matures (automobile, aérospatial) ont le défi de soutenir des systèmes de conception globalisés et intégrés dans des réseaux de production modulaires où le travail est fortement divisé et spécialisé.

Nos suggérons que c'est une maturité méthodologique élevée qui permet la réalisation de transactions dans un système de conception et engendre la division du travail. Ainsi, la division du travail et la modularité d'un système industriel découlent de la maturité méthodologique établie en premier lieu dans l'espace de conception et en second lieu, dans le système de production associé. Les résultats de notre recherche nous montrent que les développeurs d'outils sont des intervenants de premier plan dans l'évolution de la maturité méthodologique qui soutient la division du travail et la modularité des systèmes de conception.

L'utilisation des outils engendre donc des transformations au sein des organisations industrielles et en même temps assure au sein de celles-ci, la conservation des connaissances accumulées et la stabilité des savoir-faire. Les outils stimulent l'innovation laquelle rehaussent constamment les exigences des systèmes industriels, ce qui incidemment encourage par la suite la création d'outils encore plus sophistiqués.

Nous contribuons à la littérature sur la modularité en montrant aussi que l'exploitation des principes liés à l'architecture de produit, offre aux développeurs un levier stratégique pour :

- i) organiser et architecturer une chaîne de création d'outils dans de le but de concevoir une offre et;
- ii) structurer le système de conception d'application du client.

Il est suggéré que les indices d'intensité d'intégration et de structuration calculés représentent l'expression des forces d'intégration et de modularité agissant sur les firmes, pour qu'elles répondent au besoin d'élever la maturité méthodologique nécessaire pour stabiliser les architectures des deux (2) systèmes de conception inter reliés. De plus, ces indices nous permettent de distinguer les développeurs entre eux et différencier leurs rôles respectifs dans une dynamique de co évolution des deux systèmes.

En outre, les résultats de cette thèse nous conduisent à contribuer à la perspective théorique des joutes d'innovation en montrant pourquoi les développeurs de tels outils ont un profil d'innovation si distinctement caractérisé par une interdépendance élevée avec d'autres firmes, la présence d'interrelations fortes avec des clients experts, et l'importance d'initiatives stratégiques axées sur une supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la dimension d'architecture de produit. Les études de cas réalisées nous montrent que les stratégies et pratiques des firmes à l'étude, tiennent compte d'activités de création et de capture de valeur et de mécanismes de gouvernance intra et inter organisationnels privilégiées et persistants dans leur environnement concurrentiel, ce qui est consistant avec Miller et Floricel (2007), Miller et Olleros (2007) et Miller et al. (2008).

Enfin, le cadre conceptuel émergent des trente-cinq (35) études de cas réalisées nous mène à établir un modèle de logique d'innovation des développeurs d'outils. Le modèle proposé, soutenant (8) propositions, illustre les contributions respectives des développeurs d'outils en fonction des modèles d'affaires déployés et des rôles adoptés. La typologie et le modèle développés suggèrent que la maturité méthodologique des systèmes de conception, la modularité du processus de création de l'offre d'outils, la modularité de l'offre et la modularité du système de conception client, sont

reliés positivement aux actions d'intégration et de structuration des architectes intégrateurs alors qu'ils sont reliés négativement aux actions des spécialistes.

Les résultats obtenus ont des implications managériales importantes. Pour les gestionnaires des firmes, ils offrent un guide pour mieux prédire l'impact de leurs décisions concernant l'évolution de leur offre de logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Ce guide leur permet de bien saisir qu'il n'est pas suffisant d'exceller dans la maîtrise d'un aspect scientifique propre à la conception d'une application industrielle. Il est impératif pour eux de positionner leur offre selon des règles de gouvernance de l'innovation bien définies et comprendre leurs rôles dans un réseau globalisé de tâches de travail divisées et de transactions, de manière à maximiser la création et la capture de valeur.

Enfin, la présente thèse offre une nouvelle perspective valable pour comprendre le secteur des logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Aussi, les résultats de cette recherche pourront contribuer à de meilleures analyses de ce secteur d'innovation de manière à guider au besoin les investisseurs et les gouvernements, dans la mise en place de mécanismes appropriés de soutien financier, politique et réglementaire.

ABSTRACT

Tool developers help other firms to be more productive in their product development activities by supplying software tools and systems embedding advanced capacities for design, engineering and research and development activities. The research question formulated in this thesis, aims at explaining why developers of such tools show a profile of innovation so distinctly characterized by interdependence with other firms, the presence of strong interrelationships with expert customers, and the importance of strategic initiatives centered on technological superiority being based on a control of engineering and product architecture dimensions.

A review of the relevant literature to the research problem reveals many limitations for the study of relations between dimensions associated with the fields of design science, innovation management and strategic management of firm. In spite of the recognized role of assisted design software tools in the reconfiguration of industrial production systems towards greater modularity, previous research studied in a limited way the role of modularity on design systems and incidentally, on the logic of innovation of assisted design, engineering and research and development software tool developers. Our contribution allow to answer the paradox where existing work is leading us; we help to understand how integrated sophisticated software can support modularity in industrial production systems, and what are the real contributions of tools in design systems.

Cases studies of thirty-five (35) Canadian, American and European firms involved in tool development provide a great richness at conceptual level. Based on an inductive approach, emergent theorization anchored in the data enriches certain relations stated by other authors in addition to establishing new ones connecting more concretely concepts associated with the fields of literature concerned by this research. The results of our analysis form an

emergent framework illustrating the logic of innovation pursued by tool developers. The framework combines 15 concepts in three (3) constructs concerning *Perceived dominant market forces* (6 concepts), *Deployed strategic systems* (5 concepts) and *Rules of governance of innovation used* (4 concepts) by firms. Measurements of intensity for each firm of our sample, of obviousness's of the concepts associated with the three (3) constructs emergent from the data, enable us to identify differences and similarities between firms and calculate for each, an integration and structuring intensity indice.

The present thesis aims at describing and explaining why and how, when tool developers perform their design tasks, they incorporate at the same time integration and modularity forces. We reexamine previous works by suggesting that integration and modularity must not be viewed as opposite models of evolution for industrial systems. It must be recognized that they constitute two facets of the same reality when designing artifacts. We explain that tool developers answer customer's design system needs with the following logic: more specific its knowledge and technologies become concerning a design system in a field of applications, more value it has for a specific transaction within it. Moreover, we underline that specificity and integration force are inherent to design activity and contribute to increase acquisition and closeness pressures, inducing then reduction of inter operability and sometimes, modularity itself.

Our results show however that design science application is not only characterized by the presence of an integration force but also a force of modularity used as a design methodology and strategy for organizing innovation in design systems. Firms' interdependencies reinforce use of modularity as a strategic mean for innovating and orchestrating required resources. Consequently, it appears modularity force continuously counterbalance integration force and vice versa. This duality creates

dilemmas for developers in terms what to do to answer evolving and specific customer's needs in industrial application domains (organization for innovation, creation of networks, offer renewal, etc.). Our analysis show firms can obtain and exploit ecosystem resources by two forces: i) integration by means of acquisitions (firms and technologies) and ii) adoption of modular approach for integrating et structuring resources, based on inter operability of components, tools and systems.

One of the principal contributions of this thesis is that it is imperative for tool promoters to master the specific knowledge of the application's design systems of the served customers, as well as the inherent logic of a design software tool creation chain associated with a specific domain of applications. To offer value, the specificities of the design systems for a domain of applications oblige tool developers to draw from the customer's ecosystem, knowledge on fundamental sciences, technical systems and specific processes used and needed. Thus, specificity brings tool developers and their tools to become specific to the design systems they aim to support and not general for all systems.

This thesis contributes to literature concerning the evolution of industrial systems. It deepens theoretical thinking on the role of tools in increasing division of labor and modularity. As to divide and distribute labor in industrial systems, work to be done must first be understood. This understanding is the result of rigorous formalization of scientific problems to solve, methods, practices and processes to implement for supporting design and after, producing an artifact. Moreover, what can be transferred easily and without ambiguity in a design process is what has been correctly formalized, codified, established and standardized. Committed to a fundamental scientific, methodological and technological formalization exercise, methodological maturity constitutes an emerging property of the integration and structuring work of tool developers. Integration in tools of formalized and established

knowledge, specifications, rules and standards lead to stability and maturity in design and engineering.

Case studies realized on developers servicing various application domains, are showing that it is not tools as such which contribute to design system modularity, but the maturity of science and methods formalized and embedded in tools, and rules for exchanging digitalized technical information in specific ecosystems. Cases reveal developers servicing emerging domains (MEMS, nanotechnology) have at first the mission to contribute to scientific, methodological and technological formalization as to establish maturity of an artifact design system. At the opposite, developers servicing mature industrial domains (automobile, aerospace) have the challenge to support globalized design systems, deeply integrated in modular production systems where labor is highly specialized and divided.

We suggest high methodological maturity lead to transactions in design system and sustain division of labor. Then, division of labor and modularity in industrial system are results of first established methodological maturity in design space and secondly, in associated production system. Results of our research show tool developers are leading players in methodological maturity evolution sustaining division of labor and modularity in design systems.

Use of tools leads to transformations in industrial organizations and ensure know how stability and preservation of accumulated knowledge. Tools stimulate innovation which increases constantly industrial systems requirements which in return, encourage creation of even more sophisticated tools.

We contribute to modularity literature in showing that exploitation of the principles associated to product architecture offer developers a strategic lever as to:

- i) organizing and architecturing tool creation chain for designing an offer, and;
- ii) structuring customer application design system.

It is suggested that calculated integration and structuring intensity indices represent integration and modularity forces' expression acting on each firms, for answering the need to elevate required methodological maturity as to stabilize architectures of the two interrelated design systems. Moreover, these indices allow differentiating developers' roles in the co evolution dynamic of the two systems.

Moreover, the results of this thesis lead us to contribute to the theoretical perspectives of games of innovation by showing that the developers' strategic systems take into account value creation and capture activities and privileged and persistent intra and inter organizational governance mechanisms in their competing environment, which is consistent with Miller and Floricel (2007), Miller and Olleros (2007) and Miller and al. (2008). Our research also stresses the importance of the roles played by firms and the interdependencies of those in the organization and evolution of innovation.

Analysis of our data leads us to propose a model of integration and structuring explaining the logic of innovation of tool developers. This model enables us to develop eight (8) propositions which connect indices of integration and structuring compiled for each firms and their role concerning the degrees of methodological maturity of design systems, modularity of tools' offer creation process, modularity of tools' offer and modularity of customer's design system. The developed model suggests methodological

maturity of design systems, modularity of creation process, modularity of the offer and modularity of customer design system are positively related to actions of integration and structuring by integrating architects whereas they are negatively related to actions of specialists.

The results obtained have important managerial implications. For firm managers, they offer a guide for better predicting the impact of their decisions concerning the evolution of their software offering. This guide enables them to seize well that it is not sufficient to excel in the control of a scientific aspect suitable for the design of an industrial application. It is imperative for them to position their offering according to well defined rules of innovation and to understand their roles in a globalized network of divided tasks of work and transactions so as to maximize their value creation and capture.

Finally, the present thesis offers a new perspective for understanding the sector of research and development, engineering and design software tools. It will contribute to better analyses of this sector of innovation to the benefit of investors and governments as to implement adapted mechanisms for financial, political and regulatory support.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT.....	xiii
TABLE DES MATIÈRES.....	xix
LISTE DES TABLEAUX.....	xxiii
LISTE DES FIGURES.....	xxvii
LISTE DES ANNEXES.....	xxix
AVANT-PROPOS.....	xxx

PARTIE I – PROBLÈME DE RECHERCHE, REVUE DE LITTÉRATURE ET MÉTHODOLOGIE..... 1

CHAPITRE 1 – INTRODUCTION..... 1

1.1 Contexte de la présente recherche.....	1
1.2 Problème de recherche.....	4
1.3 Objectifs.....	6

CHAPITRE 2 – REVUE DE LITTÉRATURE PERTINENTE AU PROBLÈME DE RECHERCHE..... 7

2.1 Conception et ingénierie.....	7
2.1.1 Assises conceptuelles et théoriques de la science de la conception.....	8
2.1.2 Ingénierie simultanée.....	12
2.1.3 Outils et systèmes logiciels: Nomenclature et définitions.....	16
2.2 Gestion stratégique.....	22
2.3 Gestion de l'innovation.....	27
2.3.1 Modèles de maturité dé-maturité du cycle de vie.....	28

2.3.2 Approche conceptuelle de l'innovation basée sur l'architecture de produit et la modularité.....	29
2.3.3 Modèles de gestion de l'impulsion de l'innovation en tant que processus.....	30
2.3.4 Systèmes nationaux et approches collectives.....	31
2.3.5 Perspective théorique des joutes d'innovation.....	32
2.4 Résumé de la revue de littérature.....	34
CHAPITRE 3 – MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	36
3.1 Champ d'études.....	36
3.2 Cadre méthodologique.....	37
3.2.1 Cadre d'échantillonnage des firmes.....	38
3.2.2 Caractéristiques des firmes sélectionnées.....	39
3.2.3 Sélection des personnes interviewées.....	45
3.2.4 Choix des questions posées.....	45
3.2.5 Sources de données.....	47
3.2.6 Analyse des données.....	49
PARTIE II – OBSERVATIONS ET RÉSULTATS.....	53
CHAPITRE 4 – CADRE CONCEPTUEL ÉMERGENT.....	54
4.1 Concepts et construits émergents.....	54
4.1.1 Forces de marché dominantes.....	54
4.1.2 Systèmes stratégiques.....	73
4.1.3 Règles de gouvernance de l'innovation.....	83
4.2 Indices d'intensité.....	97
4.3 Typologie émergente.....	99

**CHAPITRE 5 – HÉTÉROGÉNÉITÉ DES ESPACES
DE CONCEPTION DE PRODUIT..... 104**

5.1 Spécificité de l'innovation.....	104
5.2 Sous-ensembles de développeurs associés à des domaines d'application.....	106
5.2.1 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications variées en mécanique, automobile et aérospatiale.....	122
5.2.2 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications en microélectronique.....	152
5.2.3 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications de type MEMS et nano technologique	166
5.2.4 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications en sciences de la vie.....	185
5.2.5 Cas des firmes desservant divers domaines d'application.....	200
5.3 Synthèse des différences et similitudes entre les firmes et des observations sur la spécificité.....	209

CHAPITRE 6 – MODÈLES D'AFFAIRES ET TYPOLOGIE DES RÔLES..... 218

6.1 Création et capture de valeur.....	218
6.1.1. Répartition de la valeur.....	218
6.1.2. Intégration et structuration des ressources.....	221
6.2 Modèles d'affaires déployés et typologie des rôles des firmes dans l'écosystème.....	229

PARTIE III –	DISCUSSION ET CONCLUSION.....	251
CHAPITRE 7 –	DISCUSSION.....	251
7.1 Implications théoriques.....	251	
7.1.1 Évolution des systèmes industriels et division du travail.....	255	
7.1.2 La conception et la gestion stratégique de la firme.....	262	
7.1.2.1 Réseaux de transactions de la firme.....	262	
7.1.2.2 Science de la conception à l'œuvre : une dualité intégration-modularité pour les développeurs d'outils.....	264	
7.1.2.3 Organisation de réseaux de conception.....	278	
7.1.3 Logique d'innovation des développeurs d'outils.....	281	
7.1.3.1 Maturité méthodologique : pré-requis vers la maturité industrielle et la modularité de l'écosystème d'innovation.....	281	
7.1.3.2 Co évolution des chaînes de création d'outils et des systèmes de conception client.....	290	
7.1.3.3 Modèle d'intégration et de structuration dans les systèmes de conception.....	293	
7.2 Implications managériales.....	308	
CHAPITRE 8 –	CONCLUSION.....	311
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	317	
ANNEXES.....	341	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Catégories génériques de certains outils logiciels d'aide à la conception et à l'ingénierie.....	17
Tableau 2.2 : Domaines d'applications et caractéristiques générales de standards, modèles, interfaces et architectures développés pour la conception d'outils logiciels d'aide à la conception et à l'ingénierie.....	20
Tableau 2.3 Joutes d'innovation.....	33
Tableau 3.1 : Exemples d'outils d'aide à l'exploration scientifique, à la conception et à l'ingénierie commercialisés.....	37
Tableau 3.2 : Firmes ayant fait l'objet d'étude de cas dans la présente recherche.....	40
Tableau 3.3 : Domaines principaux desservis, traits dominants et particularités de l'offre des firmes de l'échantillon.....	43
Tableau 3.4 : Cadre de référence des questions pour les entrevues semi dirigées.....	46
Tableau 3.5 : Phases d'échantillonnage des données.....	48
Tableau 3.6 : Étapes d'analyse des données.....	49
Tableau 4.1 : Forces de marché dominantes.....	55
Tableau 4.2 : Systèmes stratégiques.....	74
Tableau 4.3 : Règles de gouvernance de l'innovation.....	85
Tableau 4.4 : Artefacts virtuels types produits au moyen d'outils d'aide à la conception dans quelques domaines d'application.....	90
Tableau 4.5 : Compilation des indices d'intensité des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées, pour chacune des firmes.....	100

Tableau 4.6 : Typologie émergente des rôles des développeurs d'outils en fonction de leur indice d'intensité d'intégration et de structuration.....	101
Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes.....	108
Tableau 5.2a : Insensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels.....	126
Tableau 5.2b : Insensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels.....	133
Tableau 5.2c : Insensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels.....	144
Tableau 5.3a : Insensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine de la micro électronique.....	154
Tableau 5.3b : Insensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine de la micro électronique.....	156
Tableau 5.3c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant le domaine de la micro électronique.....	159
Tableau 5.4a : Insensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie.....	168

Tableau 5.4b : Insensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie.....	173
Tableau 5.4c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie.....	178
Tableau 5.5a : Insensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie.....	188
Tableau 5.5b : Insensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie.....	190
Tableau 5.5c: Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie.....	194
Tableau 5.6a : Insensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant divers domaines d'applications.....	201
Tableau 5.6b : Insensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant divers domaines d'applications.....	204
Tableau 5.6c : Insensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant divers domaines d'applications.....	206
Tableau 5.7 : Sommaire des concepts soulignant les différences et les similitudes entre les firmes de notre échantillon.....	210

Tableau 5.8 : Compilation des indices d'intensité des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées pour chacune des firmes.....	211
Tableau 6.1 : Intégration et structuration des ressources par l'offre d'outils logiciels de Dassault Systèmes.....	226
Tableau 6.2 : Typologie des rôles des firmes et organisations dans le marché des outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement.....	231
Tableau 6.3 : Aperçu des acquisitions impliquant des firmes de notre échantillon depuis 2002.....	242
Tableau 7.1 : Interrelations entre outils, approche scientifique et processus d'innovation, de 1960 à aujourd'hui.....	260
Tableau 7.2 : Dimensions influencées par les forces d'intégration et de modularité.....	277

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Schématisation d'un processus type de conception de produit.....	15
Figure 2.2 : Représentation de l'ingénierie simultanée : intégration multifonctionnelle.....	15
Figure 4.1: Dimensions associées aux exigences spécifiques des clients.....	73
Figure 4.2: Éléments génériques dominants d'un processus de conception de produit.....	102
Figure 5.1 : Processus de conception d'applications variées en mécanique, automobile et aérospatial.....	123
Figure 5.2 : Exemple du contexte d'inter opérabilité au sein de l'environnement à l'étude – Cas du secteur des outils spécialisés pour la conception et l'ingénierie automobile....	142
Figure 5.3 : Processus schématique simplifié de développement d'une application en microélectronique.....	163
Figure 5.4 : Processus de conception d'applications MEMS et nano technologiques.....	183
Figure 5.5 : Processus schématique simplifié de création d'un médicament.....	197
Figure 6.1 : Effet d'intégration et de structuration des ressources grâce aux outils logiciels, pour la création et la capture de valeur.....	223
Figure 7.1 : Interrelations entre les systèmes de conception et de fabrication, la maturité méthodologique et la chaîne de création d'outils pour un domaine d'applications spécifiques.....	285
Figure 7.2 : Relations entre maturité méthodologique et maturité industrielle.....	289

Figure 7.3 : Co évolution des chaînes de création d'outils et des systèmes de conception d'applications spécifiques clients.....	291
Figure 7.4 : Interrelations entre architecture de l'offre logicielle d'aide à la conception et architecture de l'application client.....	294
Figure 7.5 : Modèle d'intégration et de structuration dans les systèmes de conception.....	297
Figure 7.6 : Architecture de modélisation et de simulation destinée à l'ingénierie d'entreprise et l'innovation d'une organisation industrielle globalisée.....	310

LISTES DES ANNEXES

Annexe I :	Liste de développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement.....	341
Annexe II :	Premiers grands thèmes émergents en lien avec les questions spécifiques posées en entrevue.....	343
Annexe III	Arborescence dans NVivo 7 des thèmes émergents en lien avec les questions posées en entrevue.....	347
Annexe IV	Liste des nodes thématiques non classées émergentes de la thématisation détaillée des cas et l'arborescence ordonnée et détaillée des concepts (nodes thématiques) pour tous les cas.....	349
Annexe V :	Exemples de transcription de cas codés dans NVivo 7.....	355

AVANT-PROPOS

Avant d'entreprendre cette thèse, mes expériences au sein d'entreprises m'ont amené à vivre de près des séances de planification stratégique. J'y ai vécu des heures exaltantes à partager avec des collègues nos perceptions et analyses des enjeux auxquels nous faisions face. J'ai en mémoire la difficulté de réconcilier dans des décisions et stratégies précises, la diversité des dimensions d'une entreprise. Basées sur des analyses les plus rigoureuses possibles, des décisions étaient néanmoins prises, des actions déployées et des clients desservis. Les objectifs étaient atteints. Pourtant, je constatais que quelque chose m'échappait.

Par la suite, j'ai porté un regard plus large sur les firmes œuvrant au sein de secteurs des technologies avancées, plus particulièrement sur les jeunes firmes québécoises et canadiennes. Malgré de brillantes idées et des équipes de gestion dites aguerries, je constatais (et constate toujours) que beaucoup de ces jeunes firmes se marginalisaient en ne réussissant pas à sortir d'une phase initiale de recherche et développement ou encore, ne semblaient pas en mesure d'exploiter les leviers de création de valeur spécifiques de leur secteur d'activités. Plus encore, il me semblait qu'elles ignoraient quels étaient leurs rôles réels dans les chaînes de valeur. Mes observations m'amenaient à la réflexion suivante : « Comment avec de tels atouts ces firmes connaissent si peu de croissance voire ne dominent pas leur secteur? » De nouveau, quelque chose m'échappait à l'égard de l'innovation.

En entreprenant des études doctorales, j'ai découvert des travaux de recherche d'une grande richesse intellectuelle. J'y ai constaté la diversité des approches tentant d'expliquer les tenants et aboutissants de l'innovation, lesquels reflètent somme toute, la complexité de l'entreprise. Une revue de littérature m'a toutefois fait constater beaucoup de cloisonnements

disciplinaires, méthodologiques et scientifiques bien que souvent, l'unité d'analyse était la même. Au plan managérial, les firmes n'ont toutefois pas le luxe de tels cloisonnements. Il fallait tenter d'aller plus loin.

Le projet MINE, avec comme appui une nouvelle perspective théorique basée sur des joutes d'innovation, m'offrait la possibilité d'aborder scientifiquement l'innovation et tenter de contribuer à éclairer ce phénomène d'une manière plus élargie et moins désagrégée. Sous la direction du professeur Roger Miller, j'ai appris à cultiver mes réserves envers les cloisonnements disciplinaires et les écoles de pensée. Le reste s'est fait naturellement mais au prix de travail non moins acharné. J'espère donc vivement que la présente thèse contribuera à cerner dans une meilleure globalité, le phénomène de l'innovation dans le secteur des dévelopeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. À ce titre, j'espère qu'elle pourra aussi contribuer non seulement à un certain décloisonnement des domaines de la gestion stratégique, de la gestion de l'innovation et enfin, de la science de la conception et de l'ingénierie, mais aussi, à permettre à des entreprises de mieux capitaliser sur leurs potentiels d'innovation.

« La science ne cherche pas à énoncer des vérités éternelles ou des dogmes immuables; loin de prétendre que chaque étape est définitive et qu'elle a dit son dernier mot, elle cherche à cerner la vérité par approximations successives. »
Bertrand Russell (1872-1970)

« Compliquer ce qui est simple est banal. Rendre incroyablement simple ce qui est compliqué, c'est ça la créativité. »
Charles Mingus (1922-1979)

PARTIE I – PROBLÈME DE RECHERCHE, REVUE DE LITTÉRATURE ET MÉTHODOLOGIE

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de la présente recherche

La présente thèse est réalisée dans le contexte du projet MINE (*Managing Innovation in the New Economy*) financé par le Conseil de Recherches en Sciences Humaines du Canada (CRSH). Ce projet prend son origine de travaux de recherche réalisés il y a quelques années (1998-2001) par Roger Miller, professeur titulaire au département de mathématiques et de génie industriel à l'École Polytechnique de Montréal, avec le *Research on Research Committee* de l'*Industrial Research Institute* (IRI), situé à Washington aux États-Unis.

Le projet MINE est une initiative de recherche de portée internationale consacrée à établir une perspective théorique portant sur un concept de *Joutes d'innovation*. Cette perspective suggère que les interdépendances entre les organisations, la configuration des rôles, les pratiques privilégiées d'innovation et surtout, les moyens spécifiques préconisés pour la création et la capture de valeur, confèrent aux divers environnements concurrentiels des logiques d'innovation qui leur sont propres.

Les travaux de Floricel et Miller (2003a, 2003b), Miller et Floricel (2004, 2007) et Miller et Olleros (2007) ont permis d'esquisser et d'approfondir les contours de plusieurs joutes d'innovation. Un des environnements concurrentiels esquissés par Floricel et Miller (2003a) était composé, dans l'étude initiale de l'IRI en 2001, de six (6) firmes, soit Synopsis, Instill, Magma, Arqule, Brooks Automation and PRI Automation. Bien que de taille

modeste, cet échantillon de firmes démontrait une configuration distincte d'activités de création et capture de valeur et de pratiques d'innovation comparativement aux autres firmes étudiées. Cette configuration était surtout caractérisée par une grande capacité des firmes à créer des produits à partir de la science et la technologie, une intimité soutenue avec des clients experts, des taux d'investissement en R&D relativement élevés (~ 40%) et enfin, une grande maîtrise des pratiques de conception et d'ingénierie. Une analyse statistique comparative de données obtenues auprès de 815 firmes sondées dans le cadre du projet MINE (Miller, 2008; communication personnelle) permet de distinguer un échantillon de 54 firmes ayant des caractéristiques similaires à celles identifiées dans le projet IRI et significativement différentes de celles des autres firmes sondées dans MINE. Cette joute a été appelée «*System Integration*». Cette analyse confirme les contours d'un environnement concurrentiel caractérisé par une interdépendance élevée des firmes, la présence d'interrelations fortes avec des clients experts et l'importance d'initiatives stratégiques visant la supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la dimension architecturale des produits.

Ces firmes offrent aux clients des outils et services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Sur le plan pratique, ces firmes spécialisées répondent aux exigences croissantes de leurs clients en matière de capacité de conception et d'introduction constante de nouvelles technologies toujours plus performantes (IMTI, 2000). Elles aident des entreprises dans divers domaines d'applications à rendre plus efficace leurs processus de recherche et développement, de conception et d'ingénierie et ainsi, avoir de meilleures capacités d'innovation dans leurs environnements concurrentiels respectifs.

Au niveau scientifique, les capacités de modélisation et de simulation des outils développés par de telles firmes permettent d'investiguer de nouveaux

concepts dans plusieurs domaines: exploration de nouvelles molécules pour des vaccins et simulation de leurs comportements dans les nanomécanismes de livraison et de transfert (Kaman et al., 2005; Sinner, 2005; Feng et al., 2005), conception de nouveaux appareils de taille micro et nanométrique destinés à des applications médicales (Malleo et al., 2005; Gilde et al., 2005) et microélectroniques (Lee et al., 2005; Schiek et Schmidt, 2005), etc.

Dans le secteur aérospatial, la compagnie Boeing avec son modèle 777 est un exemple remarquable d'utilisation des outils d'aide à la conception et à l'ingénierie. Le modèle 777 est le premier avion à réaction à avoir été conçu entièrement avec des outils de conception et d'ingénierie virtuelle permettant ainsi de réduire significativement les coûts et le temps de conception comparés aux techniques et outils conventionnels (IMTI, 2000). Dans l'industrie automobile, les outils de conception ont aidé à réduire la durée du cycle d'introduction d'un nouveau modèle de voiture, de l'étape de concept à la chaîne de production de 3 ans à 14 mois (IMTI, 2000). Dans l'industrie chimique, on mise sur les capacités de modélisation et de simulation qu'offrent les outils pour réaliser l'exploration et la conception de nouveaux matériaux basés sur la nanotechnologie (*Chemical Industry Vision 2020, Technology Partnership*, 2003).

De toute évidence, ces outils apparaissent comme des technologies clés pour soutenir la transformation des processus d'affaires des organisations au 21^e siècle. Ces technologies accroissent les possibilités d'apprendre et de tester avant de fabriquer, réduisant ainsi les risques de problèmes techniques en production et lors de la mise en service (D'Adderio, 2001). En effet, les avantages au plan de l'amélioration de la productivité des diverses chaînes de création d'applications industrielles sont démontrés et le marché de ces outils et systèmes est en croissance constante (Daratech, 2005b).

1.2 Problème de recherche

Bien que nous puissions apprécier les bénéfices de l'utilisation de tels outils, nous connaissons beaucoup moins comment innovent les firmes qui développent de tels outils. Nous savons qu'elles ont des interactions soutenues avec des clients experts mais connaissons peu comment elles intègrent les enjeux spécifiques de ceux-ci dans leurs offres. Par ailleurs, le processus de développement, y compris la conception et l'ingénierie, diffère selon les applications industrielles développées, car les déclencheurs et les exigences varient. Ces déclencheurs reflètent la logique d'innovation au sein des divers domaines d'application et celle-ci aura une influence directe sur les processus de conception et d'ingénierie applicables dans lesdits domaines (Whitney, 1990). Ainsi, la logique d'innovation inhérente à un domaine donné est indissociable à celui-ci. Puisqu'ils visent à soutenir la conception d'applications dans des domaines variés, mais avec des exigences spécifiques, les développeurs d'outils doivent par conséquent répondre à différentes logiques d'innovation.

Nous constatons que nous savons peu choses sur les stratégies déployées par les concepteurs d'outils en vue de faire face aux enjeux et de répondre aux exigences des différents systèmes de conception de produits. Par ailleurs, les environnements où prévaut un dynamisme élevé de production scientifique et technologique, comme celui des logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement, imposent aux firmes des conditions de concurrence telles que l'applicabilité des théories de gestion stratégique demeure limitée et fortuite. Ces firmes sont soumises à de nombreuses forces de changement et doivent constamment renouveler leurs offres pour soutenir le rythme d'innovation. Notre intention est de comprendre la logique d'innovation des firmes et la dynamique qui prévalent dans la joute d'innovation appelée «*System Integration*». Cette joute soulève

une problématique particulière qui nous permet de formuler la question de recherche suivante :

Pourquoi les développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement montrent-ils un profil d'innovation si distinctement caractérisé par :

- une interdépendance élevée des firmes ;*
- la présence d'interrelations fortes avec des clients experts ;*
- l'importance d'initiatives stratégiques axées sur une supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la dimension d'architecture de produit ?*

Cette question de recherche est appuyée par les interrogations suivantes :

- Quelles sont les relations entre la logique d'innovation dominante, la gestion stratégique et les approches de conception et d'ingénierie mises de l'avant par les firmes?
- Comment ces firmes créent-elles et capturent-elles la valeur de l'innovation?

L'utilisation croissante de tels outils de conception, d'ingénierie et de recherche et développement commande de mieux comprendre comment l'innovation se réalise au sein de cet environnement concurrentiel. Pour tenter de répondre à ces interrogations, la présente thèse présente les concepts et relations qui se dégagent de trente-cinq (35) études de cas réalisées sur des firmes développant des outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Au moyen d'une approche qualitative, la thèse présentée ici vise à contribuer à une compréhension profonde de l'environnement concurrentiel esquissé ci-devant. Aussi, la caractérisation détaillée de cet environnement s'intéresse non seulement à mieux comprendre la logique d'innovation présente, mais également, fournir

des éléments qui pourront contribuer au développement de la perspective des joutes d'innovation.

1.3 Objectifs

Les objectifs de la présente recherche sont de :

- Caractériser la logique d'innovation dominante de l'environnement concurrentiel des développeurs d'outils et services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement ;
- Étudier des relations entre la logique d'innovation, la gestion stratégique et les approches de conception et d'ingénierie mises en œuvre par les firmes;
- Développez une typologie des firmes exprimant des relations entre la logique d'innovation, la gestion stratégique et les approches de conception et d'ingénierie;
- Fournir des éléments descriptifs et explicatifs de l'environnement à l'étude pouvant contribuer à la perspective théorique des joutes d'innovation.

Ces objectifs permettent l'étude de relations entre des dimensions propres au domaine de la conception et de l'ingénierie, de la gestion de l'innovation et de la gestion stratégique : ces relations n'ont pas été définies et formellement opérationnalisées jusqu'à ce jour. Enfin, l'innovation apparaît si fondamentale pour la survie des firmes en général que nous ne pouvons plus négliger d'examiner étroitement des relations entre des concepts étudiés traditionnellement en gestion de l'innovation, en gestion stratégique et finalement, en science de la conception et de l'ingénierie. Nous anticipons ainsi contribuer, par la présente thèse, à l'avancement des connaissances dans ces domaines.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE PERTINENTE AU PROBLÈME DE RECHERCHE

La revue de littérature présentée ci-après permet de dresser un portrait de plusieurs perspectives théoriques et d'examiner leurs contributions et limitations en regard de la problématique à l'étude. Discutées selon l'ordre de présentation qui suit, ces perspectives théoriques appartiennent aux domaines suivants :

- Conception et ingénierie ;
- Gestion stratégique;
- Gestion de l'innovation.

2.1 Conception et ingénierie

En 1962, se tenait la première conférence de ce qui a été appelé le mouvement des « Méthodes de conception » (*Design Methods Movement*). Cette rencontre a précédé la création en 1966 de la *Design Research Society* réunissant des architectes, ingénieurs et autres spécialistes provenant de secteurs très variés tels que l'aérospatiale, la construction civile et navale, l'informatique, la santé, etc. (Archer, 1999). À ses débuts, l'attrait du mouvement des méthodes de conception découle des avancées scientifiques et techniques utilisées dans les projets d'ingénierie, de production et de déploiement liés à l'effort de la Seconde Guerre mondiale. En outre, ce mouvement stimule la pensée dominante qui se développe au cours des décennies qui suivent, soit l'analyse rigoureuse et systémique des problèmes (Archer, 1999). Les précurseurs de ce mouvement avaient réalisé que l'activité de conception était principalement guidée jusqu'en 1950, par une démarche entrepreneuriale et intuitive où la science et la fabrication artisanale étaient inter reliées. Désormais, il était reconnu que les activités de conception et d'ingénierie industrielles devenaient si complexes qu'une

approche exclusivement intuitive et artisanale ne suffisait plus. Willem (1990) souligne bien la relation qui s'installe à cette époque entre la science et la conception; en se basant sur des connaissances scientifiques et en appliquant ces connaissances dans un but pratique, soit une activité de création, la conception et l'ingénierie modernes rendent la science « visible ».

Les sections qui suivent présentent un éventail de la littérature portant sur les travaux menés pour établir les assises conceptuelles et théoriques de la science de la conception.

2.1.1 Assises conceptuelles et théoriques de la science de la conception

Les décennies des années 1960 à 1980 ont été le théâtre d'une réflexion importante sur la discipline de la conception (Cross, 1993). Des auteurs comme Alexander (1964), Gregory (1966), Hillier (1972), Cross (1981; 1986), Glynn (1985), Levy (1985) et plus récemment Owen (1998), ont tenté de cerner la conception en tant que discipline scientifique. Durant cette période, des travaux comme ceux de Hubka (1982) et Hubka et Eder (1987) contribuent à l'élaboration de cadres théoriques portant sur la conception. Ainsi, le domaine de recherche portant sur la théorie et la méthodologie de la conception et de l'ingénierie s'établissent avec la création de plusieurs revues scientifiques: *Design Studies* en 1979, *Design Issues* en 1984, *Research in Engineering Design* en 1989, *Journal of Engineering Design* en 1990 et finalement, *Journal of Engineering Management* en 1990.

L'élément dominant qui émerge de tous ces travaux est que les avancées scientifiques et techniques entraînent par leur mise en application, l'établissement de nouveaux rapports entre une conception dite scientifique et les sciences. Dorénavant, la conception de type moderne se base sur la production et l'intégration des connaissances scientifiques et utilise une

combinaison de méthodes intuitives et analytiques (Freidman, 2003). La conception est non plus réalisée dans un esprit « artisan », mais plutôt dans une optique plus formalisée d'industrialisation de la science, une approche normative. Alors que de nombreux domaines de recherche spécifiques à différentes spécialités de l'ingénierie s'épanouissent, des auteurs se questionnent toujours sur la « science » de la conception et de l'ingénierie en tant que telle (Reich, 1995). Pour bien illustrer cette démarche de construction théorique, constatons ce qu'écrivaient Coyne et Newton (1990) et Dixon (1988) à propos des modèles utilisés pour conceptualiser l'activité de conception :

« In modeling design we do not attempt to say what design is or how human designers do what they do, but rather provide models by which we can explain and perhaps even replicate certain aspect of design behavior », Coyne et Newton (1990);

« A model does not constitute a theory: theory emerges when there is a testable explanation of why the model behaves as it does », Dixon (1987).

Coyne et Newton (1990) contribuent de plus à apporter une éclairante distinction entre les sciences fondamentales et la science de la conception :

« Science attempts to formulate knowledge by deriving relationships between observed phenomena. Design, on the other hand, begins with intentions and uses the available knowledge to arrive at an entity possessing attributes that will meet the original intentions. The role of the design is to produce form or more correctly, a description of form using knowledge to transform a formless description into a definite, specific description. Moreover, design is a pragmatic discipline, concerned with providing a solution within the capacity of the knowledge available to the designer. This

design may not be correct or ideal and may represent a compromise, but it will meet the given intentions to some degree. »

D'autres comme Hubka et Eder (1987) formulent une interprétation de cette « science » de la conception :

« Design science comprises a collection (a system) of logically connected knowledge in the area of design, and contains concepts of technical information and of design methodology ... design science addresses the problem of determining and categorizing all regular phenomena of the systems to be designed, and of the design process. Design science is also concerned with deriving from the applied knowledge of the natural sciences appropriate information in a form suitable for the designer's use ».

Comme on peut le constater, cette définition inclut une connaissance systématique des processus et méthodologies de conception et d'ingénierie ainsi que des connaissances scientifiques et techniques reliées à la conception d'artefacts. Pour Hubka et Eder, les composantes importantes de la science de la conception sont :

- 1) Des connaissances provenant des sciences fondamentales et naturelles;
- 2) Des théories des systèmes techniques;
- 3) Une méthodologie globale de conception et d'ingénierie.

Cross (1993) suggère que la science de la conception réfère à une théorisation de l'approche systématique, organisée et rationnelle de l'activité de conception mettant en présence des principes, des pratiques et des procédures. Elle ne se limite donc pas seulement à l'utilisation des connaissances scientifiques produites, mais porte aussi son attention sur

l'exercice de la conception et de l'ingénierie comme activité scientifique en tant que telle. Dans cette perspective, la théorisation de la conception contribue à amener le concepteur à s'éloigner de l'infinité de cas singuliers pour éléver son raisonnement scientifique, à de grands principes génériques pouvant l'aider à résoudre toutes sortes de problèmes (Friedman, 2003). Toutefois selon Friedman, il ne faut pas confondre la connaissance tacite découlant de l'expérience de la conception avec une théorisation résultant d'une analyse approfondie de celle-ci. Dans ce contexte, le domaine de recherche de la conception a tout à gagner à consolider son cadre théorique grâce à la combinaison d'une approche de type « *Grounded Theory* » (Glaser, 1992, Strauss et Corbin 1994) et d'une approche analytique et réflexive, ce à quoi la présente thèse tente de contribuer.

En outre, il ne faut pas négliger de souligner que la science de la conception a aussi été grandement influencée par les besoins des industries de pointe lesquelles ont porté l'attention sur les processus, les pratiques et le développement d'applications technologiques (Whitney, 1990). Cette influence s'est traduite par l'apparition dans les milieux industriels de nombreux concepts tels que: *Quality Function Deployment* (Hauser and Clausing, 1988), la méthode Taguchi (Ross, 1988), les mécanismes de coordination des tâches (Whitfield et al., 2000, 2002; Duffy et al., 1993; Dosi et al., 2000), la conception par plate forme de produit (Simpson et al., 2001; Gonzalez-Zugasti et al., 2000), les approches de *Design for Manufacturing* (La Trobe Bateman et Wild, 2003), *Design for Variety* (Martin et Ishii, 2002), *Multidisciplinary Design Optimization*, etc. Le but fondamental de ces approches et méthodologies est de permettre aux fabricants de réaliser des produits de plus grande performance, à coût de fabrication plus bas et des cycles plus courts (Yoshimura, 1993). Comme nous le constatons, l'industrie a favorisé le développement de nombreux modèles pour mieux exécuter les projets, (Hubka, 1982) et les gérer d'une façon plus « simultanée » (Andreasen, 1991).

Enfin, le domaine de la recherche sur la conception est plutôt large. Malgré l'étendue des travaux réalisés, il appert toutefois que les recherches du domaine ont peu ou pas porté sur l'étude des relations entre la conception, la logique d'innovation et la gestion stratégique des firmes. La présente recherche vise à contribuer à cette déficience.

2.1.2 Ingénierie simultanée

Au cours de la décennie des années 1970, l'ingénierie simultanée, comme philosophie de développement, a pris son origine en Amérique du Nord et en Europe grâce aux initiatives de groupes industriels tels que Xerox, HP, GM, Volkswagen et d'autres, visant à améliorer les pratiques de développement par rapport à la concurrence (Hartley, 1992; Jo et al., 1993). Une des plus importantes initiatives est une étude entreprise en 1982 par l'agence DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) réunissant des entreprises et des universités, visant à identifier des moyens d'améliorer la dimension de « simultanéité » du processus de conception. Les travaux de DARPA ont établi des bases permettant à plusieurs autres groupes d'entreprendre des recherches dans ce domaine, dont le projet CALS/CE (*Computer Aided Acquisition and Logistics Support/Concurrent Engineering*) (Carter et Stilwell Baker, 1992). Une autre initiative importante entreprise en 1986 est celle de l'*Institute for Defense Analyses* (IDA), laquelle a permis de définir pour la première fois le terme « ingénierie simultanée » (*concurrent engineering*) consistant en une méthode systématique de concevoir simultanément le produit, les procédés de fabrication ainsi que les processus de soutien.

L'ingénierie simultanée est considérée comme une collection de techniques et une philosophie de développement implantée en entreprise pour supporter le travail collaboratif et distribué de conception et d'ingénierie (Prasad, 1996; Reich et al., 1996). Les buts poursuivis sont d'améliorer la qualité des

produits conçus et fabriqués, de réduire les coûts du cycle de développement du produit et de couper le temps de mise au point (Molina et al., 1995). Dès l'implantation de l'approche au cours des années 1980, des groupes industriels comme Digital Equipment Corporation et Northrop ont bénéficié de retombées importantes sur plusieurs plans : réduction du nombre de modifications des concepts, du temps de développement de produit, du coût de développement, du nombre de pièces, etc. (Hartley, 1992). Depuis les années 1980, Volkswagen utilise l'ingénierie simultanée pour réaliser des activités de recherche et de développement et étudier des concepts de nouvelles voitures.

Par ailleurs, il est important de noter que le développement de l'ingénierie simultanée est intimement lié à l'essor des outils et systèmes logiciels d'aide à la conception et à l'ingénierie. En effet, pour que les organisations puissent concrétiser l'ingénierie simultanée cela exige le développement d'outils et de systèmes performants d'aide à la conception (Brusoni et al., 2001; Finger et al. 1995). Comme Hartley (1992, p.185) le souligne : « *Concurrent engineering is wasted without CAD/CAM* ». Le pré requis sous-jacent à l'ingénierie simultanée repose donc sur la capacité et la performance des ordinateurs et logiciels à intégrer et coordonner les connaissances, savoir-faire et processus de conception et d'ingénierie. Aujourd'hui, avec des outils appropriés, des scientifiques, concepteurs et ingénieurs peuvent davantage travailler simultanément sur des concepts et des prototypes virtuels de produit et communiquer constamment entre eux en se référant à la même base de données.

Comme le montre la figure 2.1 le processus de conception est initié en spécifiant et analysant un problème donné. Le défi consiste donc à réaliser ce processus en intégrant de la façon la plus fluide possible, différentes exigences de manière à ce que le produit fini satisfasse les besoins des clients. Toutefois, le schéma montre que le processus de développement

peut facilement souffrir des retours en arrière. Cependant, les entreprises doivent à tout prix éviter ces inefficiencies. C'est pourquoi l'ingénierie simultanée et les outils d'aide à la conception se sont largement implantés au sein des entreprises manufacturières, car ils permettent de mieux formaliser les processus et synchroniser le travail.

Tel que montré à la figure 2.2, l'ingénierie simultanée et les outils permettent une coopération et une intégration intimes entre tous les intervenants des équipes de R&D, de conception de produit, de fabrication et des autres fonctions. Ces capacités permettent donc aux entreprises de prendre des décisions simultanées impliquant différentes disciplines et intervenants intégrés au plan global, réduisant ainsi les inefficiencies dans le processus.

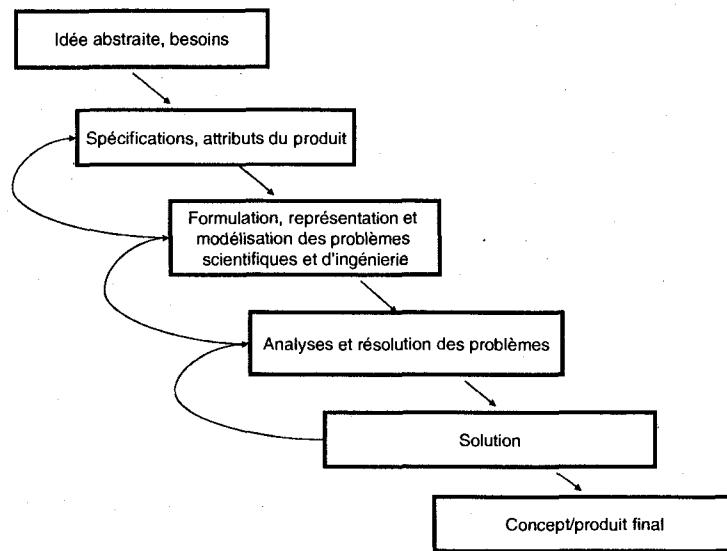


Figure 2.1 : Schématisation d'un processus type de conception de produit

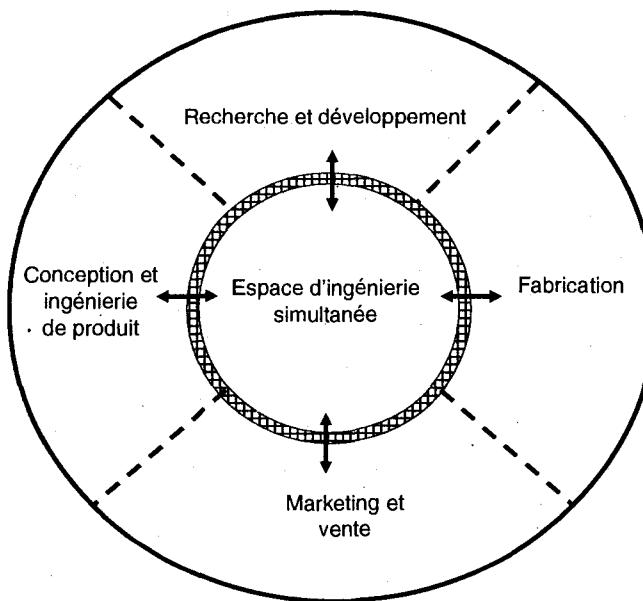


Figure 2.2 : Représentation de l'ingénierie simultanée : intégration multifonctionnelle (selon Yoshimura, 1993)

En dépit de la somme imposante de travaux réalisés depuis plus de trente (30) ans concernant l'environnement de conception, nous remarquons que la littérature du domaine est essentiellement focalisée sur des aspects techniques, processuels et théoriques propres à cette fonction. Il s'en suit une déficience au niveau de l'étude des relations entre le processus de conception et d'ingénierie de produit, la logique d'innovation d'un secteur et la gestion stratégique des firmes au sein de celui-ci. Le rôle des outils logiciels sur les systèmes de conception nous y apparaît également pas assez approfondi.

2.1.3 Outils et systèmes logiciels : Nomenclature et définitions

Depuis les années 1980, de nombreuses applications logicielles d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement en ont été développées. Les principales catégories génériques sont présentées au tableau 2.1 suivant.

Tableau 2.1 : Catégories génériques de certains outils logiciels d'aide à la conception et à l'ingénierie

Acronyme anglais	Nom anglais	Caractéristique et description
CAD (DAO)	Computer Aided Design (Dessin assisté par ordinateur)	Englobe une grande variété d'outils qui aident les scientifiques et ingénieurs dans leurs activités d'exploration et de conception : modèles 2D et 3D, réutilisation des composantes, possibilités de visualisation et modification, génération automatique de composants standardisés, validation, vérification en utilisant des spécifications et des règles, géométrie, dessins, plans de produits, fichiers des pièces, diagrammes d'assemblage, spécifications, nomenclature, dessins de production, etc.
CAE (CAO)	Computer Aided Engineering (Conception assistée par ordinateur)	CAE est un terme générique qui englobe des logiciels de simulation et d'analyse (vibration, acoustique, résistance électrique, thermique, mécanique, transfert biologique, etc.), prototypage virtuel, etc.
CAM (FAO)	Computer Aided Manufacturing (Fabrication assistée par ordinateur)	Outil de gestion des transferts des données DAO/CAO aux machines à commandes numériques qui fabriquent ensuite les pièces.
PLM	Product Life Cycle Management (Gestion du cycle de vie du produit)	Infrastructure logicielle supportant l'environnement d'applications et d'outils (DAO, CAO, gestion de données, etc.), fournit un environnement d'opération intégré, des fonctions et services à l'équipe de R&D et de conception et d'ingénierie. L'infrastructure vise à offrir une plate-forme logicielle bien organisée permettant aux scientifiques, concepteurs et ingénieurs de réaliser leurs tâches de manière plus rapide, plus précise et en collaboration avec d'autres intervenants au sein de l'organisation ou d'un réseau étendu de fournisseurs spécialisés.
DMU	Digital Mock Up (Maquette numérique)	Permet notamment de visualiser l'architecture globale du produit et distribuer le travail entre les intervenants du processus de conception (équipes, fournisseurs, etc.) lesquels réalisent des tâches spécifiques tout en adhérant au modèle de produit à concevoir ; aident les dirigeants à prendre des décisions concernant le développement du produit et l'organisation des autres éléments requis tout au long du cycle de vie complet du produit.
PDM	Product Data Management (Gestion des données de produit)	Parfois appelé cPDM (<i>Collaborative Product Definition Management</i>), outil de gestion de données reliées au produit, gestion de la connaissance, réutilisation et partage.

Tableau 2.1 : Catégories génériques de certains outils logiciels d'aide à la conception et à l'ingénierie (suite et fin)

Acronyme anglais	Nom anglais	Caractéristique et description
PIDO	Process Integration Design Optimization (Optimisation des processus d'intégration de la conception)	PIDO réfère spécifiquement aux logiciels d'ingénierie de développement de produit qui facilitent la conception multidisciplinaire, permet aux utilisateurs de trouver simultanément de meilleures solutions de design dans un environnement distribué, optimise un ou plusieurs aspects du prototypage virtuel du produit, en automatisant les itérations de conception et d'analyse, aide à gérer la configuration et l'exécution des simulations et des outils d'analyse, etc.
MPM	Manufacturing Process Management (Gestion des procédés fabricants)	Outil intermédiaire entre les logiciels de PLM et les applications ERP (<i>Entreprise Ressource Planning</i>), supporte les processus fabricants, connecte tous les intervenants d'une chaîne de développement: scientifiques, concepteurs, ingénieurs et fournisseurs.

Les outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement consistent en des logiciels offrant des espaces d'exploration scientifique de concepts basés sur des capacités avancées de modélisation et de simulation, en vue de la création de nouveaux produits. Les outils combinent la précision du dessin graphique numérisé avec la puissance de calcul de l'ordinateur. De façon générale, ces outils permettent une ingénierie conceptuelle et détaillée à partir de modèles géométriques ou numériques et diverses analyses. Quelques caractéristiques primaires des outils sont données ci-après :

- Création de dessins 2D et formes géométriques 3D, simples à complexes, à l'échelle;
- Génération automatique de modèles solides d'objet à concevoir en style libre et à partir de bases de données de modèles scientifiques;
- Configuration et représentations de données (géométriques, chimiques, physiques, biologiques, etc.), attributs, spécifications;
- Association de modèles d'information texte, vidéo, etc.;
- Visualisation et simulation de prototypes virtuels, d'assemblages;

- Production de documentation d'ingénierie, de dessins de fabrication et des nomenclatures;
- Etc.

Les travaux de recherche réalisés au sujet des outils d'aide à la conception et à l'ingénierie peuvent être regroupés dans quatre (4) principaux courants :

- Les outils et méthodologies de modélisation et de simulation : modèles de représentation de l'information relative au produit, procédé et ressources afférentes, simulateurs, algorithme de calcul, d'optimisation, etc.;
- Les applications de soutien et d'aide à la décision des équipes : outils de collaboration, environnement de travail collaboratif, bureau virtuel, processus de décision, intelligence artificielle, etc.;
- La conceptualisation de l'architecture des systèmes de gestion de l'information de conception et d'ingénierie : architecture et finalité des systèmes, standards, interfaces, langages, protocoles, etc.;
- Les cadres d'intégration de l'ingénierie simultanée au sein des processus d'affaires : modélisation des processus et de l'organisation, gestion de projets, intégration organisationnelle, etc.

De nombreux travaux ont notamment porté sur le développement de standards, modèles, interfaces et architectures, lesquels ont permis l'essor d'outils et systèmes de conception et d'ingénierie. Adapté de Molina et al. (1995), le tableau 2.2 présenté ci-après, donne un éventail des standards, modèles, interfaces et architectures développés depuis près de 30 ans, ainsi que les domaines d'applications et les caractéristiques correspondantes.

Tableau 2.2 : Domaines d'applications et caractéristiques générales de standards, modèles, interfaces et architectures développés pour la conception d'outils logiciels d'aide à la conception et d'ingénierie
(Adapté de Molina et al., 1995)

Modèle, standard, interface, architecture	Domaine d'application	Caractéristiques
GALILEO3-based systems	Conception de cartes à circuits imprimés	Usager unique, description des contraintes
Design Fusion	Conception mécanique	Usager unique, interface graphique, extraction des attributs utilisant une grammaire graphique, raisonnement sur les contraintes utilisant des méthodes de partitionnement
HyperDesign/Service, HyperQ/Process, HyperDesign/Plastics	Conception pour entretien, conception pour fiabilité, sélection de matériaux et procédés pour fabrication,	Usager unique, interface graphique utilisant des analyses de compatibilité
SPARK based systems	Sélection des procédés pour des pièces rotatives, conception de cartes à circuits imprimés, de pales de turbines	Usager unique, description des contraintes
PACT	Varié	Conception du travail d'équipes, interface graphique, intégration d'applications, intégration des connaissances, modélisation, simulation
CIM-OSA IMPPACT CMSO CAD*I et CADEX	Cadre pour la fabrication assistée par commandes numériques, intégration de l'information entre la conception et les procédés, environnement de communication de données DAO	Modèle de référence pour la conception et l'intégration des systèmes fabrication assistée par commandes numériques, conception du travail d'équipes, interface graphique, modèles et systèmes d'information basés sur des modèles de produit et procédé, standardisation en vue de STEP
D-IDEA	Varié	Outil de traitement des connaissances distribuées, intégration d'outils d'intelligence artificielle
SWIFT	Varié	Système d'intégration pour équipes de conception, outils de traitement et de calcul distribués
AIMS	Varié	Intégration de l'apprentissage et optimisation algorithmique pour des systèmes de support à la décision basés sur des modèles
CE Testbed (Architecture DICE)	Varié	Architecture et système d'information basés sur des modèles de produit, procédé et de l'organisation, intégration d'applications : DAO/CAO, tableurs, bases de données, textes, éditeurs graphiques, interface basée sur format Windows
Et CCAD		
MONET	Varié	Interface multimédia (voix, texte, vidéo, graphique), coordination de projet, gestion des contraintes et des ressources

Tableau 2.2 : Domaines d'applications et caractéristiques générales de standards, modèles, interfaces et architectures développés pour la conception d'outils logiciels d'aide à la conception et d'ingénierie (Adapté de Molina et al., 1995) (suite et fin)

Modèle, standard, interface, architecture	Domaine d'application	Caractéristiques
CE Testbed (Architecture DICE) Et CCAD	Varié	Architecture et système d'information basés sur des modèles de produit, procédé et de l'organisation, intégration d'applications : DAO/CAO, tableurs, bases de données, textes, éditeurs graphiques, interface basée sur format Windows
MONET	Varié	Interface multimédia (voix, texte, vidéo, graphique), coordination de projet, gestion des contraintes et des ressources

De concert avec l'industrie, des organismes comme le NIST (*National Institute of Standards and Technology*) aux États-Unis et l'ISO (*International Organisation for Standardization*) située à Genève, ont également mis sur pied des initiatives de standardisation à partir des années 1980. Les standards développés sont utilisés aujourd'hui par les firmes qui développent des outils: *Initial Graphics Exchange Specification (IGES)*, *Product Data Exchange Specification (PDES)*, *(STEP)*, *Electronic Design Interchange Format (EDIF)*, *CALS/CE Procedural interface*, etc. Des modèles, standards ou protocoles, comme ceux donnés ci-devant, constituent l'assise technologique grâce à laquelle les outils et systèmes d'aide à la conception et à l'ingénierie sont conçus. Ils constituent en outre les pré-requis à l'interopérabilité entre les divers systèmes.

Par ailleurs, pour accélérer le processus de conception et d'ingénierie de systèmes logiciels, des outils d'aide à la conception de logiciel apparaissent également durant les années 1970, lesquels ont été regroupés sous l'appellation de CASE (*Computer Aided Software Engineering*). Ce terme générique est utilisé aujourd'hui pour décrire une génération d'outils qui appliquent des principes rigoureux à la conception logicielle. Par ailleurs, les

avancées en matière de programmation de systèmes ont permis au fil du temps de réaliser le développement d'applications d'une manière hautement interactive (McCombie et Penman, 2001). En effet, l'utilisation efficiente de divers langages de programmation comme FORTRAN, Visual Basic, C++, JAVA, XML et incluant la programmation orientée-objet, permettent aujourd'hui la conception d'outils et systèmes robustes et polyvalents (Li, 2005).

En bref, bien que des améliorations importantes aient été apportées à l'assise technologique supportant l'environnement de conception et d'ingénierie, il reste encore beaucoup de chemin à accomplir. C'est dans cette optique que se poursuivent des travaux portant notamment sur les approches intégrées de conception de systèmes complexes (Daberkow et Kreuzer, 1999), les plates-formes Web multi-usagers de conception collaborative (Ramani et al., 2003; Ando et al., 1998; Nam, 2001), les langages de représentation de données (Szykman et al., 2000), les environnements distribués de programmation orienté-objet (Wallace et al., 2003), l'intelligence artificielle maximisant l'utilisation des connaissances (Rodgers et al., 1999), etc. Tous ces travaux contribuent au développement de l'assise scientifique et technologique et à une augmentation de l'usage des outils et systèmes d'aide à la conception et à l'ingénierie.

2.2 Gestion stratégique

En dépit des éclairages apportés par de nombreux travaux, des questions restent présentes quant aux relations entre les actions portant sur la conception et l'ingénierie et le dynamisme dans la stratégie. Quelques auteurs comme Cool et Dierickx (1993) et Brown et Eisenhardt (1997) ont contribué à l'étude des environnements à haute vitesse de changements technologiques en suggérant, comme D'Aveni (1994), que ceux-ci étaient marqués par une concurrence effrénée (*Hypercompetition*). D'Aveni suggère

notamment que ces environnements sont continuellement perturbés par les repositionnements des firmes et que de ce fait, les conditions du marché sont imprévisibles et ne peuvent pas être prédéfinies.

Bien que des discontinuités et des points de rupture surviennent, nous croyons que nous serions induits en erreur en réduisant la description de ces environnements à des conditions non définies et imprévisibles. Par exemple, l'environnement à l'étude peut être décrit comme un environnement à haute vitesse de changements technologiques. Cependant, nous suggérons qu'une logique spécifique d'innovation prévaut et que les firmes y développent des stratégies correspondantes, sans utiliser le déséquilibre constant comme façon principale de rivaliser. À titre d'exemple, une firme comme Dassault Systèmes met en œuvre des stratégies qui tendent à réduire les chocs qu'entraînent les changements de version de logiciels, tant pour ses clients que pour son réseau de développeurs. Elle n'adopte pas d'emblée les comportements caractéristiques d'un environnement de concurrence effrénée, tel que décrit par D'Aveni. En fait, elle développe davantage des stratégies pour dynamiser et structurer l'écosystème d'innovation et non le déstabiliser constamment.

D'un point de vue théorique, de nombreuses approches ont essayé d'identifier et d'expliquer les dimensions constituant les sources d'avantages concurrentiels des firmes. Les contributions majeures du domaine de la gestion stratégique peuvent être regroupées au sein de trois (3) courants principaux :

i) théories économiques et de positionnement (Porter, 1980, 1985 ; Dosi et al. 1997; Klein, 1977; Williamson, 1981, 1985, Hoskisson, 1987; Mahoney, 1992), théorie des jeux (Camerer, 1985, 1991); Saloner, 1991), théorie de l'agence (Fama et Jensen, 1983; Hoskisson et Hitt, 1990);

- ii) théorie basée sur les ressources et les approches portant sur les compétences et autres actifs internes des firmes comme sources d'avantages concurrentiels (Barney, 1991; Prahalad et Hamel, 1990, 1994; Wernerfelt, 1984; Penrose, 1959 ; Nelson and Winter, 1982), et enfin;
- iii) théories organisationnelles et sociales (Cyert et March 1963; Pfeffer et Salancik, 1978; Miles and Snow, 1978; (Hannan et Freeman, 1977; March et Simon, 1958; Tushman et Anderson, 1986).

L'examen de la recherche dans le domaine de la gestion stratégique nous amène à couvrir une période s'étendant au moins de la moitié du 20^e siècle jusqu'à aujourd'hui (Pettigrew et al., 2002). Durant toutes ces années, le travail des chercheurs a donné naissance à de nombreuses écoles de pensée qui laissent aujourd'hui un héritage très diversifié en termes d'approches possibles pour guider la gestion stratégique des firmes. Il est à noter également que la diversité des intérêts de recherche a amené les chercheurs du domaine et les praticiens à utiliser des approches méthodologiques assez diversifiées, soit des études de cas, des études économétriques, longitudinales, etc. Néanmoins, la capacité des différentes théories et approches à prévoir la performance des firmes dans les environnements concurrentiels d'aujourd'hui reste très limitée parce qu'aucune d'entre elles, seule, n'est applicable à tous les environnements technologiques et économiques. En effet, les divers environnements concurrentiels ne montrent pas toutes les mêmes caractéristiques dominantes; certains secteurs sont assez stables d'un point de vue de l'évolution technologique alors qu'ils peuvent être ponctués de changements rapides et fréquents en ce qui a trait aux modèles d'affaires.

De plus, lorsque nous examinons l'évolution de la recherche dans ce domaine, nous pouvons remarquer que l'attention des chercheurs a été portée sur des logiques dominantes parfois opposées. En effet, durant les

décennies des années 1950 et 1960, l'analyse a surtout porté sur des problématiques internes à la firme (structure, ressources, etc.) tel que souligné par Spanos et Lioukas (2001). Les décennies des années 1970 et 1980 ont quant à elles été marquées par des travaux examinant davantage des facteurs industriels et contextuels à l'aide d'études économétriques. Enfin, la décennie des années 1990 a marqué le retour en force de travaux portant sur des facteurs internes (compétences, etc.) pour expliquer les avantages et la performance des firmes.

Dans ce contexte, comment se réconcilient au plan théorique et pratique, des perspectives qui mettent tantôt l'accent sur l'importance des actifs internes des firmes ou sur des dimensions contextuelles externes à celles-ci? Comment rendre opérationnelles et pratiques au sein des firmes des dimensions internes et externes alors qu'elles apparaissent intégrées d'une manière limitée au plan théorique? De surcroit, les multiples perspectives ont suscité de nombreux débats universitaires entre les protagonistes d'écoles de pensée différentes. Ces débats, selon Markides (2001), ont entraîné beaucoup de confusion et une certaine désillusion, notamment chez les praticiens. De plus, des limitations se posent quant à la capacité prédictive des perspectives théoriques et de leur applicabilité générale comme dans des secteurs à haute vitesse de changements technologiques (Eisenhardt, 1989).

De plus, les explications fournies par les perspectives théoriques quant à la façon dont le dynamisme est déclenché et survient dans le processus de mise en œuvre de la stratégie, suggèrent qu'il soit plus ou moins associé avec des conditions contextuelles ou des actifs spécifiques de la firme. Dans certains des modèles proposés, la dimension « dynamique » de la stratégie est décrite comme : i) un état suggérant que les stratégies sont dans un mode dynamique au sein d'un processus continu de formulation-exécution-reformulation (Chakravarty et White, 2002) ou ii) qu'elle est liée à la stratégie

elle-même ou encore aux « capacités dynamiques » de la firme (Eisenhardt et Martin, 2000).

Bien qu'Eisenhardt et Martin (2000) aient fait une contribution notable au concept de dynamique stratégique en étudiant des firmes œuvrant dans des environnements à haute vitesse de changements technologiques, plusieurs limitations demeurent néanmoins présentes. Ils ont notamment démontré l'importance des capacités dynamiques des firmes dans ces environnements. Ils décrivent les capacités dynamiques de la firme comme un ensemble de processus et de routines spécifiques et reconnaissables dans la firme comme le processus de développement de produit et le processus décisionnel, notamment.

Nous croyons que ces affirmations méritent d'être réexaminées. D'abord, des processus de développement de produit ou décisionnels ne peuvent pas être par définition décrits comme « dynamique ». Ces processus sont complexes et varient selon la taille des entreprises et les exigences des secteurs, notamment. De plus, nous estimons qu'il est confondant d'avoir plusieurs définitions de capacités dynamiques variant selon la vitesse des changements technologiques des secteurs et incidemment, des processus correspondants. Par conséquent, ces explications nous suggèrent l'interrogation suivante : « La dimension dynamique de la stratégie est-elle associée au dynamisme du processus de formulation de la stratégie, une caractéristique inhérente aux stratégies déployées ou encore reliée à certaines capacités et processus de la firme? »

Enfin, quelques chercheurs ont étudié le processus de changement stratégique (Garud et Kumaraswamy, 1993 et Van de Ven et Poole, 1995). Bien qu'ils fournissent certaines explications relatives au processus de changement, il est permis d'affirmer que ces contributions sont davantage

orientées vers des classifications qu'à établir et expliquer les facteurs de changement proprement dit.

2.3 Gestion de l'innovation

La recherche dans le domaine de la gestion de l'innovation jouit d'une solide tradition et le dynamisme de nombreux chercheurs nous permet de mieux comprendre le rôle et l'impact de l'innovation sur les firmes et l'économie. C'est un domaine en évolution constante, fortifié par la contribution de nombreuses disciplines et stimulé par les changements socio-économiques et technologiques des dernières décennies. Ce domaine de recherche est caractérisé par une variété d'approches développées par des chercheurs issus de domaines aussi variés que l'économie, la stratégie, la sociologie, l'ingénierie, les sciences politiques, etc. Ces chercheurs ont utilisé des approches méthodologiques variées comme l'analyse longitudinale, l'étude historique et industrielle, l'étude de cas et diverses enquêtes basées sur des méthodes quantitatives. La recherche dans le domaine de la gestion de l'innovation peut être regroupée sous quatre (4) thèmes principaux:

- i) modèles développant des concepts associés à la maturité et la dé-maturité du cycle de vie;
- ii) approche conceptuelle de l'innovation basée sur l'architecture de produit;
- iii) modèles de gestion de l'impulsion de l'innovation, et;
- iv) systèmes nationaux et approches collectives.

Une synthèse de ces thèmes est présentée brièvement ci-après et la perspective théorique des joutes d'innovation est par la suite succinctement présentée.

2.3.1 Modèles de maturité dé-maturité du cycle de vie

Ce thème rassemble des contributions touchant de nombreux concepts associés au cycle de vie d'une industrie ou d'une technologie. Selon ce courant, industrie et technologie suivent un modèle comprenant des phases de création, de croissance et de maturité, suivies d'une phase de déclin où le système, industrie ou technologie, se renouvelle et parfois se détruit, créant ainsi un nouveau cycle. Les auteurs dominant ce courant ont souligné l'importance des cycles d'innovation industrielle (Abernathy et Clark, 1985; Abernathy et Utterback, 1978; Afuah et Utterback, 1997; Utterback, 1994), des défis systémiques et particuliers relatifs à la diffusion technologique (Abrahamson, 1991; Moore, 1991), des trajectoires technologiques (Christensen et Rosenbloom, 1995; Dosi et al., 1997; Dosi, 1982) et de la réponse des firmes par rapport aux discontinuités et technologies radicales (Schumpeter, 1947; Christensen, 1997; Christensen et al., 1998; Rosenbloom et Christensen, 1994; Tushman et Anderson, 1986, 1990). Sur le plan managérial, le fait marquant de ce courant souligne que pour avoir du succès, une firme doit comprendre l'évolution des technologies et des forces du marché, de manière à s'adapter et développer des technologies, stratégies et modèles organisationnels appropriés aux phases du cycle de vie d'une technologie ou de l'industrie.

Certes, ces perspectives ont contribué de manière significative à une compréhension du cycle de vie et des modèles de diffusion des technologies ainsi qu'aux effets induits par les discontinuités sur les firmes. Cependant, la compréhension reste incomplète en ce qui a trait à l'essence de la logique d'innovation aussi bien que des rapports entre celle-ci, la gestion stratégique des firmes et les stratégies associées à la conception et l'ingénierie des produits. Les modèles de maturité dé-maturité du cycle de vie sont très déterministes par nature et s'appuie sur une logique uniforme; nous savons qu'une technologie sera remplacée par une nouvelle, toutefois les modèles

sont moins explicatifs et prédictifs quant à la logique d'innovation qui gouverne l'évolution et les changements dans le temps.

2.3.2 Approche conceptuelle de l'innovation basée sur l'architecture de produit et la modularité

Les travaux regroupés sous ce thème soulignent que les dimensions se rapportant à la hiérarchie des composants d'un produit, à la modularité et à l'architecture, si comprises et gérées correctement par une firme, engendreront pour cette dernière leadership technologique et performance supérieure. Dans cette perspective, la gestion intelligente des concepts d'architecture de produit et de la modularité est cruciale pour la création et la capture de valeur, celles-ci découlant de l'exploitation optimale de l'architecture elle-même et de la diversification des modèles d'affaires associés. Les auteurs qui ont contribué à cette perspective ont notamment étudié les concepts de plate-forme technologique, d'architecture de produit et de modularité (Baldwin et Clark, 1997; Cusumano et Gawer, 2002), l'ouverture des systèmes et les réseaux (Chesbrough, 2003b; Schilling, 2000), la flexibilité stratégique des firmes et l'établissement d'un design dominant (Henderson et Clark, 1990; Sanchez, 1995; Utterback et Suarez, 1995) ainsi que le rôle des clients dans l'innovation de produits (Von Hippel, 1986).

Ces approches offrent un puissant moyen d'articuler comment divers savoir-faire spécialisés contribuent à une initiative de développement de produit. Elles montrent également comment les firmes maîtrisant les effets de réseaux associés à l'adoption d'une plate-forme de produit peuvent réussir. Cependant, ces approches ont tendance à restreindre à priori la vision sur des aspects liés à l'architecture d'un système ou d'un produit. Par conséquent, nous croyons nécessaire de mieux comprendre comment les dimensions reliées à ces approches sont associées avec la logique

d'innovation de l'environnement concurrentiel à l'étude et la gestion stratégique des firmes y œuvrant.

2.3.3 Modèles de gestion de l'innovation en tant que processus

Dans cette perspective, on voit l'innovation comme un processus à gérer et comme le résultat du processus. Les travaux regroupés sous ce thème suggèrent que l'innovation est le résultat d'une gestion avisée de programmes de R&D, d'un processus efficace de développement de produit, de l'intégration optimale des fonctions, de la mise en œuvre des meilleures pratiques au sein de l'organisation, etc. Des chercheurs appartenant à ce thème ont abordé des questions manifestement organisationnelles liées à l'innovation (Chesbrough et Teece, 1996), des dimensions concernant des impératifs tactiques et processuels du développement de produit (Cooper, 1994, 1999, 2001; MacCormack et al. 2001; Schilling et Hill, 1998) ou encore, de l'intégration des technologies dans les projets de développement de produits (Iansiti et West, 1997), notamment.

Par ailleurs, depuis les travaux de Burns et Stalker en 1961, la logique d'optimisation de la R&D en gestion se traduit essentiellement par une sophistication des structures organisationnelles de la firme afin d'engendrer l'innovation. Par contre, il apparaît difficile d'arrimer ces principes de gestion avec les travaux de Schumpeter (1947) et Baumol (2002), lesquels ont fait de l'entrepreneur et de sa motivation à innover, l'élément essentiel de la dynamique de l'innovation dans une économie de marché.

De plus, même si des méthodes et pratiques sophistiquées ont été développées pour gérer le processus d'innovation, il y a encore beaucoup d'incertitudes qui s'immiscent dans le processus. En effet, en dépit de l'implantation de plus en plus répandue de pratiques de développement de nouveaux produits en industrie, le taux d'échec est encore très élevé. En

effet, quelles pratiques d'innovation une firme doit-elle mettre en place pour garantir son succès? Il nous apparaît pertinent d'examiner plus à fond comment ces processus, méthodologies et capacités de conception et d'ingénierie sont reliés avec la logique d'innovation de l'environnement et la gestion stratégique des firmes.

2.3.4 Systèmes nationaux et approches collectives

Dans cette perspective, on considère notamment l'innovation comme un regroupement d'intervenants différents contribuant dans un système collectif, une grappe industrielle, un groupe stratégique ou un réseau de firmes. Cette vision présume la mise en place d'arrangements collectifs aux points de vue macro et méso pour maximiser la production et l'exploitation des connaissances. Des auteurs comme Barney et Hoskisson (1990), Baum et al. (2000) et Cool et Dierickx (1993), ont montré l'importance des réseaux et des groupes stratégiques alors que d'autres comme Edquist (1997), ont étudié les mécanismes de fonctionnement des systèmes nationaux d'innovation. Enfin, d'autres auteurs comme Teece (1986) et Branderburger et Nalebuff (1998) ont souligné le rôle des actifs complémentaires requis et de la collaboration pour assurer le succès d'une innovation.

Certes, ces perspectives permettent de positionner les divers intervenants importants, voire critiques dans l'évolution des secteurs industriels et des firmes. Toutefois, ces approches expliquent d'une façon très limitée les relations entre les enjeux nationaux et collectifs et les logiques d'innovation existantes au sein d'environnements industriels distincts. De plus, elles ne permettent pas d'examiner finement les relations entre la logique d'innovation, la gestion stratégique et les approches de conception et d'ingénierie mises de l'avant par les firmes.

En résumé, les approches et modèles de gestion de l'innovation apportent une explication riche sur des éléments précis et représentatifs de l'innovation. Toutefois, nous devons constater que chacun d'entre eux apporte une explication limitée quant aux relations entre les niveaux micro (firme), méso (environnement d'affaires) et macro (systèmes nationaux et internationaux). En effet, chacun focalise son attention sur des niveaux spécifiques d'analyse (l'individu, l'équipe, le projet, le processus, la technologie, le système national, etc.). Soit elles sous-évaluent le contexte social d'innovation et ainsi les réseaux de collaboration dans le processus d'innovation, soit elles amplifient l'importance des technologies perturbatrices et les difficultés des firmes à faire face aux changements. Pour les firmes, cette variété d'approches et de modèles crée un ensemble complexe, fragmenté et inadéquat au plan opérationnel et ces niveaux d'analyse ne peuvent plus être traités isolément.

En examinant comment peuvent s'appliquer dans divers secteurs industriels les perspectives théoriques développées jusqu'à ce jour, on ne peut que constater les limitations découlant de leur applicabilité générale. En effet, on observe une assez grande variabilité de cas; au sein de certains secteurs, des clients exigeants et peu nombreux ont un rôle important alors que dans d'autres, les clients sont beaucoup plus nombreux et généralement moins experts. De telles différences limitent la possibilité d'appliquer systématiquement des modèles et pratiques d'innovation pouvant être appropriées qu'à certains contextes et encore, sous des conditions particulières.

2.3.5 Perspective théorique des joutes d'innovation

La perspective des joutes d'innovation vise à attaquer des questions auxquelles les approches traditionnelles de gestion de l'innovation n'ont pu répondre d'une façon complète et globale car s'adressant à des niveaux

d'analyse différents et peu intégrés. Ainsi, la perspective des joutes d'innovation proposée par Floricel et Miller (2003a, 2003b) et Miller et Floricel (2004, 2007), Miller et Olleros (2007) et Miller et al. (2008), tente de réconcilier plusieurs approches des domaines de la gestion de l'innovation et de la gestion stratégique. Mentionnons que cette nouvelle perspective se situe néanmoins en continuité avec les travaux présentés dans la présente revue de littérature.

Une joute d'innovation est un modèle inter organisationnel d'activités d'innovation caractérisées par un accent spécifique envers des activités de création et de capture de valeur, une configuration distincte des organisations et des rôles, des stratégies adaptées, des flux de ressources et de connaissances et finalement, une structure de gouvernance qui est particulière. Ce modèle suggère une dynamique et une logique spécifiques d'innovation ainsi qu'une distribution structurée des rôles, risques et récompenses. Le tableau 2.3 montre les différentes joutes d'innovation suggérées par Miller et al 2008.

Tableau 2.3 : Joutes d'innovation (Miller et al., 2008)

Offer	Stand-alone product	Integrated closed systems	Open modular product
Market			
Market creation	Patent-driven discovery	System integration	Platform orchestration
Market evolution	Cost-based search for efficiency	Strategic consulting and system engineering	Customized mass production

L'examen des contextes spécifiques des diverses joutes ont amené Miller et Floricel (2003a, 2003b) et Miller et al. (2008) à conclure que des approches basées sur les meilleures pratiques ne peuvent pas corrélées à une performance supérieure des firmes et ne peuvent être applicables de façon générale à toutes les joutes. La perspective théorique des joutes d'innovation suggère d'envisager les environnements concurrentiels avec un regard à la fois systémique et singulier. Elle vise à expliquer et à rendre compte de la logique d'innovation qui prévaut au sein d'une joute d'innovation et des stratégies, pratiques et mécanismes initiés, coordonnés et mis en œuvre par les firmes et participants.

La joute d'innovation à laquelle s'associent les firmes de l'environnement à l'étude est appelée «*System Integration*». Les firmes de cette joute se distinguent nettement des autres firmes composant l'échantillon analysé par Miller et al. (2008). Elles se caractérisent notamment par un taux d'investissement en R&D assez élevé, soit de 32% sur les ventes, des stratégies de création de valeur basées sur la supériorité technologique et une intimité très grande avec des clients experts au prise avec des problèmes d'ingénierie complexes. La présente thèse, basée sur une approche qualitative, vise à fournir des éléments qui pourront contribuer à approfondir la compréhension de la logique d'innovation au sein de la joute *System Integration*.

2.4 Résumé de la revue de littérature

Plusieurs approches et modèles ont été proposés depuis plus de 50 ans en vue d'expliquer les modèles d'innovation, les pratiques dominantes des firmes, le rôle des entrepreneurs, l'influence des technologies radicales, le rôle des réseaux d'innovation, etc. Le résultat est qu'aujourd'hui nous savons que l'on doit considérer l'innovation comme un processus complexe, distribué et collectif impliquant de nombreux intervenants.

Par ailleurs, le processus de conception et de développement de produits est au cœur de l'innovation. En soi, la conception est l'activité définissant l'architecture, les composants, les interfaces et les caractéristiques d'un produit et les services le soutenant tout au long de son cycle de vie. Elle est l'activité intégrant la science, les technologies et les méthodologies requises pour créer un artefact. La recherche de la science de la conception a couvert des questions spécifiques aux tâches de conception et d'ingénierie, mais malgré le fait que ces questions soient centrales dans le processus d'innovation, les relations entre ces concepts et ceux étudiés dans le domaine de la gestion de l'innovation restent néanmoins modestes. Il y a des interdépendances étroites entre la gestion de l'innovation et les activités de conception en tant que telles et elles méritent d'être explorées plus à fond.

De plus, comme nous l'avons souligné, les relations entre les concepts étudiés dans le domaine de la conception et de l'ingénierie et ceux étudiés en gestion stratégique souffrent aussi de limitations significatives. En effet, la théorisation développée dans chacun des domaines a entraîné les communautés de recherche dans des univers d'interrogations n'ayant que peu de relations véritablement intégrées et opérationnalisées aux plans théorique et pratique.

Dans la présente thèse, nous tentons de combler cette déficience en examinant des relations possibles et déterminantes entre ces trois (3) domaines de recherche, grâce à trente-cinq (35) études de cas d'entreprises. Notre objectif est de comprendre la logique d'innovation et la dynamique compétitive qui prévalent dans la joute «*System Integration*».

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1 Champ d'études

Nous considérons dans l'environnement à l'étude, les développeurs d'outils et de solutions informatiques offrant des espaces d'exploration scientifique de concepts basés sur des capacités avancées de modélisation et de simulation, dans le but d'assister l'ingénierie de nouveaux produits. Plus largement, il s'agit de firmes développant des outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. De tels outils offrent notamment des capacités d'abstraction qui permettent aux scientifiques et concepteurs d'isoler mentalement un phénomène pour mieux le considérer, le comprendre et en prédire le comportement au sein d'un système complexe.

D'un point de vue économique, cet environnement d'affaires peut-être partiellement décrit comme le marché des solutions de gestion du cycle de vie de produit, incluant une gamme étendue d'outils et de systèmes associée à la conception de produit. La valeur de ce marché en 2004 représentait plus de 9 milliards de dollars américains avec une augmentation de 12 % par rapport à 2003 (Daratech, 2005a). Une liste non exhaustive de développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement est donnée à l'annexe I. Nous devons également considérer dans le champ d'études des firmes développant une gamme très étendue d'outils plus spécifiques à la R&D dans les domaines de la nanotechnologie et des sciences de la vie, notamment ainsi que des firmes concevant des systèmes spécialisés sur les processus (ERP : *Enterprise Resource Planning*, etc.).

Le tableau 3.1 donne quelques exemples d'outils logiciels d'aide à l'exploration scientifique, à la conception et à l'ingénierie commercialisés par certaines firmes.

Tableau 3.1 : Exemples d'outils logiciels d'aide à l'exploration scientifique, à la conception et à l'ingénierie commercialisés

Firme	Outils commercialisés
Dassault/IBM	CATIA, Enovia, Delmia, SmartTeam, SolidWorks, ABAQUS
Autodesk	Autocad
NanoTitan	NanoXplorer
Atomistix	Virtual NanoLab
SoftMEMS	MemsPro
IntelliSense Software	Intellisuite
PTC	Pro/Engineer/Windchill
UGS	NX Unigraphics, TeamCenter
Comsol	FEMLAB
MSC.Software	SimOffice, SimDesigner, MSC.SimManager
Fluent	GAMBIT, G/Turbo, TGrid, PolyFlow
Altair Engineering	Optistruct
LMS	LMS Virtual.Lab
Imagine	AMESim
ESI	SYSPLY, PAM-Form, EASi-Crash
Ansys inc.	ANSYS
Agile Software	Agile Suite
Accelrys	Material studio
FlowScience	Flow3D
SAP	PLM xApplication

3.2 Cadre méthodologique

Étant donné le besoin d'examiner en profondeur des relations entre des concepts traditionnellement étudiés dans des cadres théoriques distincts, la méthodologie de recherche employée s'appuie sur une approche inductive impliquant l'étude de trente-cinq (35) cas d'entreprise. Cette approche permet une réplication logique d'analyse où chacun des cas sert à infirmer ou confirmer les inférences émanant des autres cas (Yin, 1984). Tel que suggérée par Leonard-Barton (1990), l'utilisation de plusieurs cas augmente

la validité externe, contribue à prévenir des biais et permet une plus grande généralisation possible des résultats ainsi qu'une meilleure capacité de les appliquer à d'autres domaines (Lincoln et Guba, 1985).

L'approche par études de cas a aussi l'avantage de prendre étroitement connaissance avec des réalités vécues par des gestionnaires. Elle nous aide à mettre en évidence des relations entre des concepts sous-jacents à la problématique à l'étude et de mieux comprendre comment les gestionnaires des firmes conceptualisent l'innovation. Elle permet en outre d'approfondir et d'enrichir la compréhension de l'environnement d'affaires en conférant un fort ancrage « terrain » à la théorisation, celle-ci étant guidée par l'approche « *Grounded Theory* », selon Eisenhardt (2002), Langley (1999), Glaser (1992) et Strauss et Corbin (1994).

3.2.1 Cadre d'échantillonnage des firmes

Pour assurer une diversité de notre échantillon, une attention particulière a été mise dans la sélection des firmes. Compte tenu de nos objectifs de recherche, nous avons été initialement guidés par l'échantillon du projet IRI discuté au chapitre 1. Nous avons toutefois pris soin de diversifier et d'élargir notre échantillon selon divers critères. Nous étions désireux d'assurer une stratification des cas en sélectionnant des firmes :

- i) de tailles variables ;
- ii) à des phases distinctes de développement (démarrage, maturité, etc.) ;
- iii) ayant des places d'affaires situées dans des territoires géographiques différents, etc ;
- iv) desservant des clientèles associées à des domaines industriels différents car ceux-ci ont des caractéristiques d'innovation qui varient.

Les firmes ont été sélectionnées au moyen d'une recherche dans des bases de données publiques (gouvernements, regroupements industriels, parcs technologiques, etc.) et dans l'édition 2005 de la base de données de la société Daratech pour le secteur *Mechanical CAD/CAM, DM/PM, CAE*. Les principaux mots clés utilisés dans les moteurs de recherche publics disponibles sur Internet sont :

tools, systems, engineering, research, development, R&D, biosciences, modelling, simulation, design, software, automobile, microelectronics, nanotechnology, aerospace, MEMS, industries, CAD, CAE, PLM, PDM, North America, Europe.

Les firmes ont été sélectionnées en fonction de ce qu'elles font en affichant publiquement leurs domaines d'expertise et d'intervention. Il s'agit à priori de firmes similaires et concurrentes sur le marché des outils logiciels et des services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Mentionnons que plusieurs firmes sélectionnées pour l'échantillon de la présente recherche font partie de l'échantillon de 54 firmes ayant fait l'objet de l'analyse comparative des données discutées au chapitre 1. La diversité engendrée par l'application des critères de sélection nous permet d'assurer une représentativité de l'échantillon et une généralisation des résultats.

3.2.2 Caractéristiques des firmes sélectionnées

Les trente-cinq (35) firmes sélectionnées ayant fait l'objet d'études de cas dans la présente recherche sont présentées au tableau 3.2 ci-après. Les domaines principaux desservis, les traits dominants et les particularités de l'offre des firmes de l'échantillon sont données au tableau 3.3.

Tableau 3.2 : Firmes ayant fait l'objet d'étude de cas dans la présente recherche

Firme (n=35)	Localisation du siège social	Profil¹	Personne interviewée (n=52)
Accelys	États-Unis	A 375 B 100 (2007) C 2001	Bill Taylor Vice President Marketing Stephen J. Mumby Senior Account Director Materials Science Nic Austin Vice President R&D
Agile	États-Unis	A 527 (2004-2005) B 117 (2005) C n.d.	Chris Wong EVP & Chief Product Officer Terri Pruett Director, Corporate Marketing Tal Ball Sr. VP Agile Labs & CTO
ARTVPS	Angleterre	A 60 (2006) B n.d. C 2002	Brian Tyler CEO
Atomistix	Danemark	A 50 (2007) B 50 (2005-2007) C 2003	Sune Rastad Bahn Software Application Manager Christian W. Rhee Vice President Director of Sales & Marketing
Autodesk	États-Unis	A 5169 B 1234 (2005) C 1982	Jon H. Pittman Senior Director Strategic Research
Barco	Belgique	A 3,800 (2006) B 950 (2006) C 1934	Johan Remmerie Vice President Technology
Bricsnet	États-Unis	A 15 (2005) B n.d. C 1986	Ethan Farid Jinian CEO Hal M. Spitz Vice President Engineering
Cadence	États-Unis	A 5,300 (2007) B 1620 (2007) C 1988	Melinda Blair Intern Program Manager University Partner Program Aki Fujimura CTO, New Business Incubation Spencer Clark Vice President Chief Learning Officer Cadence University
Cambridge Consultants	Angleterre	A 280 (2007) B 60 (2007) C 1960	Eric Wilkinson Programme Director & Business Unit Manager, Products & Systems

**Tableau 3.2 : Firmes ayant fait l'objet d'étude de cas
dans la présente recherche
(suite)**

Firme (n=35)	Localisation du siège social	Profil¹	Personne interviewée (n=52)
CD-Adapco	Angleterre	A 300 (2005) B 16 (2004) C 1980	Steve Feldman Director, Pre & Post Processing Development Peter S. MacDonald President
Dassault Systèmes	France	A 7255 (2007) B 1500 (2006) C 1981	Gérard Lecina Director, Research & Development Simulation Strategy Pierre-Jacques Bauer Worldwide Academic Relations Manager Bernard Charlès Président et chef de la direction
Dynasim	Suède	A 12 (2006) B n.d. C 1992	Hilding Elqvist CEO and Chief Architect
Elan	France	A 1,734 (2006) B 500 (2006) C n.d.	Jean-Jacques Rigoni PDG
ESI Group	France	A 600 B 86 (2007) C 1973	Tomasz Kisielewicz EVP, Field Operations and Engineering Services Alain De Rouvray, CEO
FlowScience	Etats-Unis	A 20 (2005) B n.d. C 1970	Thomas S. Jensen President
Flowmaster	Angleterre	A 85 (2006) B n.d. C 1984	Richard Tickle CEO
Imagine	France	A 60 (2004-2005) B 7 (2006) C 1986	David Gagne Directeur produit
ImpactXoft	États-Unis	A 12 (2005) B 10 (2002-2003) C 1999	Gian Paolo Bassi Vice President &Chief Technology Officer Andrea Nassisi Director of Product Management
Intellisense Software	États-Unis	A n.d. B n.d. C 1991	David B. Harris Vice President Strategic Sales
Invitrogen	États-Unis	A 4,700 B 1300 (2007) C 1987	Claude D. Benchimol Senior Vice President, R&D Karen S. Gibson Senior Vice President, IT
LMS International	Belgique	A 810 B 140 (2006) C 1983	Jan Leuridan EVP and CTO

**Tableau 3.2 : Firmes ayant fait l'objet d'étude de cas
dans la présente recherche
(suite et fin)**

Firme (n=35)	Localisation du siège social	Profil¹	Personne interviewée (n=52)
Lurgi	Allemagne	A 17 595 (2005) B 5850 (2005) C 1897	Henning Buchold Director of Research and Development
MSC Software	États-Unis	A 1200 B 260 (2006) C 1963	Todd Evans Corporate Communications
Nanostellar	États-Unis	A 20 B 3 (2003-2004) C 2003	Noel Park Vice president of Business Development
NanoTitan	États-Unis	A 20 (2005) B n.d. C 2001	Vic Pena CEO
Phoenix	Pays-Bas	A 322 B 61 (2006) C 1979	Alan C.G. Nutt Vice President Marketing & Sales
Polyplan	Canada	A n.d. B n.d. C 2001	Clément Fortin Président
Prevas	Suède	A 440 (2005) B 40 (2006) C 1985	Mats Lundberg Sr. Vice President Products Development
SAP	Allemagne	A 39 300 (2006) B 11 000 (2005) C 1972	Paul Hofmann Director SAP Inspire SAP Research Dennis Moore Sr. Vice President, xApps Foad Vafael, Senior Product Manager, Emerging Solutions. SAP
Seemage	États-Unis	A 15 (2005) B n.d. C 2002	Jean-Jacques Grimaud Director of Business Development
Silex Microsystems	Suède	A 119 (2006-2007) B 23 (2006) C 2000	Henrik Hellqvist Sales Medical Specialist
SmartOrg	Etats-Unis	A n.d. B n.d. C 2000	Don Creswell Vice President Sales & Marketing
SoftMEMS	États-Unis	A 18 B n.d. C 2004	Mary Ann Maher CEO
Telelogic	Suède	A 1200 B 240 (2007) C 1983	Ingemar Ljungdalh CTO
UGS	Etats-Unis	A 7 750 B 1 218 (2006) C 2001	Dave Primrose Vice President PLM Product Marketing
			Marouf-Marc Dwaikat European CAE Consultant

Notes : 1 : A Nombre d'employés, B Chiffres d'affaires (millions de \$US), C Date de création de la firme. Données obtenues des entretiens, sites Web, rapports annuels des firmes. 2 : n.d. : donnée non disponible.

Tableau 3.3 : Domaines principaux desservis, traits dominants et particularités de l'offre des firmes de l'échantillon

Firme	Domaines principaux desservis	Trait dominant de la firme	Particularités de l'offre
Accelrys	Science de la vie	Créateur de consortium de développement	Suite de 100 modules d'application
Agile	Micro électronique	Spécialiste des processus	Cible l'automatisation des processus d'innovation
ARTVPS	Auto-aéro-équip ind	Spécialiste en création de photo numérisées 3D	Ensemble technologique logiciel et matériel
Atomistix	MEMS/nano technologie	Spécialiste	Outils de modélisation et simulation
Autodesk	Auto-aéro-équip ind	Intention stratégique visant une large diffusion des produits	Outils simples et spécialisés selon des domaines d'application
Barco	Militaire	Développeur de produits finis de niche	Solutions avancées de visualisation
Bricsnet	Immobilier	Développeur de système de gestion	Tableaux de bord pour soutenir l'exploitation
Cadence	Micro électronique	Intention stratégique à résoudre les problèmes d'un éco système client	Plates-formes, outils de vérification, assemblages technologiques
Cambridge Consultants	Micro électronique	Consultant spécialisé en méthodologie de développement de produit	Méthodologie et haut savoir accumulé
CD-Adapco	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé	Outils de simulation
Dassault	Auto-aéro-équip ind	Capacités d'exploiter les ressources disponibles du marché	Plate-forme, espaces collaboratifs, suite d'outils
Dynasim	Auto-aéro-équip ind	Promoteur d'un nouveau langage de représentation de données	Outil intégré dans l'offre de Dassault
Elan	Science de la vie	Développeur d'outils dans des marchés très réglementés	Système de gestion des données de fabrication
ESI	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé	Suite d'outils spécialisés dans les tests d'intégrité structurale
Flow Science	Hydrologie	Consultant spécialisé en conception d'ouvrages	Etudes et expertises de conception
Flowmaster	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé	Suite d'outils de modélisation et de simulation
Imagine	Auto-aéro-équip ind	Connaissances limitées des domaines d'application	Limitée sur le plan de l'inter opérabilité des outils
Impactsoft	Auto-aéro-équip ind	Promoteur de l'ingénierie fonctionnelle	Outil intégré dans l'offre de Dassault

Tableau 3.3 : Domaines principaux desservis, traits dominants et particularités de l'offre des firmes de l'échantillon (suite et fin)

Firme	Domaines principaux desservis	Trait dominant de la firme	Particularités de l'offre
IntelliSense	MEMS/nano technologie	Développeur spécialisé	Suite d'outils de modélisation et de simulation
Invitrogen	Science de la vie	Développe et intègre des connaissances pour les imbriquer dans des produits	Ensembles technologiques, kits, marqueurs, etc.
LMS	Auto-aéro-équip ind	Éditeur d'outils, développement méthodologique	Solutions informatiques et services d'essai
Lurgi	Chimie, pétrole	Ingénierie de procédés	Plus de 100 ans de savoir accumulé et imbriqué dans des procédés brevetés
MSC Software	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé	Suite d'outils de modélisation et de simulation
Nanostellar	MEMS/nano technologie	Spécialiste	Outils de modélisation et simulation
NanoTitan	MEMS/nano technologie	Spécialiste	Outils de modélisation et simulation
Phoenix	MEMS/nano technologie	Spécialiste	Outils de modélisation et simulation
Polyplan	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé dans les processus de fabrication	Outil intégré dans l'offre de Dassault puis PTC
Prevas	MEMS/nano technologie	Consultant spécialisé en méthodologie de développement de produit	Méthodologie et haut savoir accumulés
SAP	Auto-aéro-équip ind	Intégrateur de processus d'affaires	Globale et intégrée
Seemage	Auto-aéro-équip ind	Développeur spécialisé	Suite d'outils de modélisation et de simulation
Silex	MEMS/nano technologie	Positionnement stratégique dans le processus de développement	Laboratoire et infrastructure d'essais
SmartOrg	Micro électronique	Spécialiste en évaluation de la valeur	Outils spécifiques et complémentaires
Softmems	MEMS/nano technologie	Spécialiste	Outils de modélisation et simulation
Telelogic	Logiciel	Vision du processus de développement logiciel	Gamme d'outils d'aide à la conception logicielle
UGS	Auto-aéro-équip ind	Capacités d'exploiter les ressources disponibles du marché	Plate-forme, espaces collaboratifs

3.2.3 Sélection des personnes interviewées

Lors de la sélection des firmes, nous avons pris soin d'identifier et choisir des répondants impliqués dans le développement stratégique et occupant des niveaux de responsabilité différents au sein de celles-ci : direction générale des firmes, cadres responsables de l'élaboration et de la mise en œuvre des stratégies d'innovation, responsables de la R&D et de l'ingénierie ou encore de la commercialisation, spécialistes et ingénieurs de projets, etc. Tel que spécifiées au tableau 3.2 présenté précédemment, ces répondants occupent différentes fonctions : président, chef de la direction, chef du développement technologique, directeur de la recherche et de l'innovation, directeur commercial, chef de produits, ingénieur spécialiste, etc. Au moins deux appels téléphoniques (parfois jusqu'à quatre) ont été fait à chacun des répondants pour présenter le projet de recherche, le cadre d'entrevue et solliciter une rencontre. Un sommaire du projet et le questionnaire d'entrevue ont été transmis au préalable à chacun des répondants pour qu'ils en prennent connaissance.

3.2.4 Choix des questions posées

Le cadre des questions utilisées lors des entrevues a évolué au cours des phases d'échantillonnage. Le cadre de référence pour tous les entretiens a été préparé par l'équipe du projet MINE, lequel comporte un certain nombre de questions servant à comprendre les grands enjeux et la dynamique d'innovation. Le cadre de référence utilisé pour les études de cas menées dans la présente recherche est donné au tableau 3.4. Par ailleurs, selon les particularités des firmes rencontrées, leurs domaines de spécialité ou encore les contextes, les questions posées étaient plus centrées sur des dimensions inhérentes au cas concerné.

Tableau 3.4 : Cadre de référence des questions pour les entrevues semi dirigées

Issue 1: Innovation context and business environment

Related issues:

- Description of business environment and innovation in the sector
- Major changes or events that occurred in the business environment in the past 10 years
- Drivers of innovation in the sector
- Types of players involved
- Major activities to create value for customers
- Major risks, challenges and key success factors

Issue 2: Corporate and business strategies for value creation

Related issues:

- Strategic positioning of the firm
- Position / role of firm in the industry value chain
- Major thrusts of corporate strategy for innovation
- External factors that have helped or constrained firm's innovation efforts
- Major strategic transformations or turnaround firm has experienced
- Decision making process at corporate level vs efforts for innovation

Issue 3: Organization for innovation (internal, networks, etc.)

Related issues:

- Organisation of innovation effort in the firm
- Structure of innovation function (central labs, divisions...)
- Resources allocation to innovation projects
- Key organizational policies for innovation
- Relevant sources of knowledge for innovation
- Main stakeholders that influence firm's innovation efforts

Issue 4: Key capabilities and practices

Related issues:

- Key capabilities required for innovating in the sector
- Practices for managing innovation projects

Issue 5: Performance

Related issues:

- Annual revenues
- Annual R&D investment
- Annual investment in innovation capability development

3.2.5 Sources de données

Les données utilisées pour la réalisation des études de cas sont de natures rétrospectives et traduisent l'expérience des gestionnaires dans leur environnement. L'unité d'analyse est la firme et sa gestion de l'innovation. Les sources de données qui sont utilisées pour la réalisation des études de cas sont les suivantes:

1. Données primaires : 52 entretiens individuels semi-dirigés d'une durée de 60 à 90 minutes ont été réalisés entre Octobre 2004 et Novembre 2006 avec des gestionnaires œuvrant au sein de trente-cinq (35) firmes situées au Canada, en Europe et aux États-Unis. Les entretiens individuels sont la principale source de données ayant servi pour la présente thèse. Des transcriptions reconstituant le plus intégralement le verbatim des entretiens ont été produites à partir des données brutes. Ces transcriptions constituent le principal *corpus* de textes sur lequel a porté notre analyse.
2. Données d'archives : rapports annuels, sites Web dossiers de presse, documents techniques et promotionnels et autres articles afférents aux firmes concernées dans des revues professionnelles.

L'échantillonnage des données s'est déroulé en six (6) phases réalisées entre Octobre 2004 et Novembre 2006, tel que montré au tableau 3.5 ci-après. La première phase a permis d'échantillonner neuf (9) firmes. De ce nombre, six (6) desservent principalement les domaines automobile et aérospatial, une (1) le domaine pétrochimique, une (1) le pharmaceutique et une (1) plusieurs domaines. La seconde phase a permis d'échantillonner cinq (5) firmes spécialisées dans les domaines automobile et aérospatial. L'objectif de la troisième phase était d'échantillonner des firmes dont les

activités sont concentrées dans les domaines de la nanotechnologie et de la micro-électronique avancée (5 firmes), un (1) éditeur de logiciel en gestion de la valeur et une (1) firme de consultation spécialisée en simulation. La quatrième phase visait à diversifier davantage l'échantillon en interviewant des répondants dans huit (8) firmes réparties dans au moins 6 domaines : une (1) desservant principalement le domaine pharmaceutique, une (1) la nanotechnologie, une (1) la micro-électronique, deux (2) l'automobile et l'aérospatial, une (1) l'immobilier et deux (2) plusieurs domaines. Une seule firme spécialisée dans les domaines automobile, aéronautique et industriel a fait l'objet de la phase 5. La dernière phase, réalisée en novembre 2006, a consisté à compléter l'échantillon en recueillant des données au sein de neuf (9) firmes dont trois (3) spécialisées dans les domaines des équipements industriels, l'automobile et l'aérospatial, une (1) dans le logiciel, une (1) en nanotechnologie, une (1) en micro-électronique avancée et finalement, deux (2) firmes de services spécialisées dans l'ingénierie de nouveaux produits.

Tableau 3.5 : Phases d'échantillonnage des données

Période	Firmes échantillonnées	Territoire
Novembre 2006	Flowmaster, ARTVPS, Cambridge Consultants, PREVAS, Telelogic, Dynasim, Atomistix, Silex	Angleterre, Suède, Danemark
Janvier 2006	Polyplan	Canada
Octobre 2005	Invitrogen, Accelrys, SAP, Autodesk, Impacxoft, Bricsnet, Agile, Cadence	États-Unis
Mai 2005	FlowScience, IntellisSense, Nanostellar, NanoTitan, Phoenix, SmartOrg, Softmems	États-Unis
Février 2005	Dassault, UGS, CD-Adapco, MSC.Software, Seemage,	États-Unis
Octobre 2004	Dassault, ESI, Imagine, LMS, Barco, SAP, Lurgi, Elan, UGS	France, Belgique, Allemagne

3.2.6 Analyse des données

Lors de la rédaction des cas, une attention importante a été portée sur une triangulation entre les données primaires brutes consignées lors des entretiens et les autres sources de données telles les données d'archives. L'analyse des données a suivi la séquence d'étapes donnée au tableau 3.6 ci-après.

Tableau 3.6 : Étapes d'analyse des données

1. Synthèse des données primaires brutes;
2. Transcription, mise en forme et codage manuel;
3. 1^{er} codage Nvivo7 : émergence de concepts;
4. Premiers thèmes émergents en lien avec les questions posées en entrevue;
5. 2^e codage Nvivo7 : création d'une arborescence des thèmes émergents en lien avec les questions posées en entrevue;
6. Analyse des cas en fonction des concepts émergents;
7. 3^e codage Nvivo7 : thématisation détaillée des cas (node thématique);
8. Création d'une arborescence ordonnée et détaillée des concepts (node thématique) pour tous les cas;
9. 4^e codage des cas en fonction de l'arborescence ordonnée;
10. Analyse du contenu de chaque node;
11. Révision, fusion, ajout et élimination de nodes;
12. 5^e codage à partir des nodes;
13. Analyse finale, saturation des catégories et production de matrices.

Pour mettre en ordre les données brutes recueillies à partir des entretiens semi-dirigés et soutenir l'analyse, le logiciel NVivo 7 a été utilisé pour traiter

les données des 35 cas. Un spécialiste de NVivo 7 a été consulté pour raffiner la stratégie de condensation et traitement de données. Tous les cas ont été codés dans NVivo 7. Alors que le codage initial était plutôt exploratoire et descriptif dans un but de repérage et de classement des données, les étapes subséquentes de codage et d'analyse ont graduellement fait émerger des concepts riches. À titre d'exemple, une liste des premiers grands thèmes émergents en lien avec les questions spécifiques posées en entrevue (étape 4) est donnée à l'annexe II. L'arborescence dans NVivo 7 des thèmes émergents en lien avec les questions posées en entrevue (étape 5) est présentée à l'annexe III. La liste des nodes thématiques non classées émergents de la thématisation détaillée des cas (étape 7) et l'arborescence ordonnée et détaillée des concepts (nodes thématiques) pour tous les cas (étape 8) sont données à l'annexe IV. Des exemples de transcription de cas codés dans NVivo 7 sont donnés à l'annexe V.

L'arborescence ordonnée et détaillé des concepts montrent comment ils sont reliés entre eux de manière cohérente dans une structure émergeant des données. Cette séquence d'analyse a été ponctuée de plusieurs rencontres et discussions avec le directeur du projet MINE ainsi que d'autres collaborateurs du projet et du département de mathématiques et de génie industriel de l'École Polytechnique.

Le découpage ainsi obtenu des informations permet de décontextualiser les parties de transcription constituant des mesures, lesquelles représentent des évidences d'un phénomène, d'un événement, d'une décision ou de relations. L'analyse de chacun des cas a permis l'émergence de concepts, construits et de relations à partir des données et en utilisant de façon itérative des techniques standards d'analyse inter cas (Eisenhardt, 2002; Miles et Huberman, 2003), nous avons comparé et exploré les points de similitudes et de différences entre les cas.

De cette séquence d'analyse, des concepts déterminants ont émergé. Dans le but de distinguer les relations entre les concepts émergents des entretiens et leur importance dans l'examen de la question de recherche, chacun a été approfondi. Nous avons clarifié les relations émergentes en analysant de façon itérative les données des cas pour à approfondir l'examen des similitudes et différences au moyen de tableaux tel que suggéré par Miles et Huberman (2003). Cette approche de raisonnement structuré nous a permis d'assurer une validité interne et de confronter les concepts avec la question de recherche et des perspectives théoriques discutées dans la revue de la littérature pour saisir :

- i. leur degré d'évidence et de cohérence quant aux relations qu'ils expriment;
- ii. vérifiez leur applicabilité et leur capacité à expliquer le problème à l'étude et;
- iii. considérer s'ils ont le pouvoir de se révéler explicatifs et prédictifs dans de nombreux cas.

De ce processus de réplication logique d'analyse émerge des concepts qui nous permettent d'examiner et comprendre des relations qui soutiennent la logique et la dynamique d'innovation à l'œuvre.

Des critères de haute qualité ont été utilisés pour la réalisation des études de cas. La recherche est basée sur une collecte méticuleuse de données de qualité et une analyse approfondie des données. Une attention a été apportée à la préservation de l'authenticité de l'information recueillie, de manière à éviter les altérations de la réalité communiquée par les gestionnaires rencontrés. Nous soulignons que notre attention n'était pas portée la véracité des informations en tant que telle mais bien sur l'information transmise en cours d'entrevue.

Les données recueillies pour les différentes études de cas ont néanmoins été triangulées, comparées et confrontées entre elles afin d'en vérifier la stabilité et la robustesse. Comme décrit précédemment, nous nous sommes assurés d'une analyse rigoureuse et détaillée des cas afin de bien apprécier la culture, le climat et le contexte de chacun d'entre eux. Nous avons porté notre attention sur l'observation des phénomènes en tant que tels, sans les interpréter, de manière à préserver une distance entre ceux-ci et le chercheur. Nous nous sommes également assurés de la confidentialité des données recueillies tout au long du projet. Les données recueillies ont été traitées selon les principes applicables en matière de propriété et probité intellectuelles et selon des ententes relatives à la confidentialité et à la publication des résultats, lorsqu'applicables.

PARTIE II – OBSERVATIONS ET RÉSULTATS

Nous voulons au cours de la deuxième partie de cette thèse, présenter les observations et résultats montrant pourquoi les développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement, présentent un profil d'innovation si distinctement caractérisé par un haut niveau d'interdépendance et la présence d'interrelations fortes avec des clients experts. Nous tenterons également de montrer l'importance pour ces firmes des initiatives stratégiques axées sur l'atteinte d'une supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la notion d'architecture.

Le cadre conceptuel émergent des études de cas réalisées est présenté au chapitre 4. Les concepts et construits émergents y sont présentés ainsi que la compilation des indices d'intensité faisant ressortir les différences et les similitudes entre les firmes de l'échantillon. Le chapitre se conclue par la présentation succincte d'une typologie des rôles adoptés par les firmes.

Le chapitre 5 permet de montrer l'hétérogénéité des cas et la spécificité de l'innovation en fonction des principaux domaines d'application couverts par les développeurs étudiés. Il présente de manière approfondie les observations et résultats d'analyse des cas pour les domaines d'applications industrielles couverts.

Nos observations sur les modèles d'affaires déployés par les développeurs d'outils pour la création et la capture de valeur sont données au chapitre 6. Y est également présenté de façon détaillée, une typologie des rôles adoptés par les firmes et les organisations dans le marché de développeurs d'outils. Nous illustrerons les modèles d'affaires déployés liés à l'intensité d'intégration et de structuration des ressources dont elles font preuve.

CHAPITRE 4

CADRE CONCEPTUEL ÉMERGENT

4.1 Concepts et construits émergents

L'analyse des transcriptions a permis de faire émerger des données trois (3) construits lesquels regroupent des quinze (15) concepts qui sont fortement associés entre eux. Ces concepts sont regroupés dans les construits suivants :

- Forces de marché dominantes (6 concepts);
- Systèmes stratégiques (5 concepts) et;
- Règles de gouvernance de l'innovation (4 concepts).

Les construits et les concepts émergents ainsi que les dimensions associées sont donnés aux tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 présentés dans les sections subséquentes.

4.1.1 Forces de marché dominantes

L'analyse des données montre qu'à l'égard des contextes dans lesquels les firmes évoluent, six (6) forces de marché dominent dans la perception qu'ont celles-ci de leurs environnements concurrentiels. Ces forces de marché dominantes représentent des variables s'exprimant différemment chez les firmes. Les forces de marché dominantes perçues par les firmes et leurs dimensions associées sont présentées au tableau 4.1 et discutées ci-après.

Tableau 4.1 : Forces de marché dominantes

Force	Dimensions associées
Interdépendance des firmes	Degré de complémentarité et d'interdépendance des outils et des firmes, de co développement, de sous-traitance, de combinaisons de solutions, d'inter opérabilité, d'innovation ouverte, co-opération
Système de conception	Degré de maturité des chaînes de création et des systèmes de tâches de conception, niveau intégration du système de conception dans les modèles d'affaires des clients, vision systémique du cycle de vie du produit
Paradigme d'innovation	Effervescence et rythme d'évolution technologique et industrielle, ruptures et équilibre des trajectoires technologiques, intensité de transformation, d'organisation et de division du travail dans les écosystèmes d'innovation
Spécificité des connaissances	Degré de spécificité des domaines, des connaissances, processus, pratiques, méthodes et règles, de spécialisation en fonction des tâches, d'expériences accumulées
Concurrence et risques	Intensité et pression d'innovation, globalisation, niveau de consolidation industrielle, niveaux d'incertitudes, de complexité et risques d'affaires, niveau de contrôle de la propriété intellectuelle, importance des réglementations et normes
Exigences spécifiques des clients	Niveau d'exigences et de spécificité des clients experts, caractéristiques des déclencheurs et des dimensions de valeur, critères de performance et de qualité, rythme d'évolution des besoins

Interdépendance des firmes

Les dimensions associées à cette force se réfèrent au degré de complémentarité et d'interdépendance des outils et des firmes. Les firmes à l'étude font face à un contexte d'innovation ouverte où les voies de diffusion et d'intégration technologique débordent les frontières traditionnelles de la firme (Chesbrough, 2003b). La majorité des firmes étudiées souhaitent rendre complémentaires leurs solutions avec des composants développés par d'autres et profiter de cette interdépendance et l'innovation ouverte. Pour les plus petites firmes comme Seemage, le concept d'interdépendance constitue parfois leur seule possibilité d'atteindre le marché et capturer de la valeur. Toutefois, elles peinent à intégrer pleinement cette force et le degré de complémentarité de leurs outils en souffrent. Les grandes firmes rallient quant à elles des communautés de partenaires autour d'une architecture logicielle et des méthodologies dans le but d'inciter des développeurs à y intégrer leur propriété intellectuelle (PI). Les grandes firmes proposent de plus des certifications et d'autres services, enfin tout ce qui concourt à un échange de connaissances, de compétences en somme, de savoirs. La mise en œuvre de telles initiatives augmente le degré d'interdépendances entre les firmes ainsi que des relations de co-opération. Certaines voudront capitaliser sur cette force alors que d'autres la percevront comme moins dominante.

Comme les activités de recherche, de conception et d'ingénierie se réalisent désormais à l'aide d'outils logiciels dans la plupart des domaines d'applications, l'inter opérabilité logicielle nous apparaît comme un pré requis à l'interdépendance entre les firmes. Sans inter opérabilité logicielle, les développeurs d'outils et leurs clients ne peuvent profiter de la complémentarité des outils et d'une innovation ouverte sur les réseaux. En bénéficiant de réseaux composés entre autres de logiciels complémentaires

inter opérables, une firme comme ESI ainsi que ses partenaires et clients peuvent profiter d'une innovation ouverte. Autodesk pourra par exemple combiner sa solution Maya avec un système de visualisation développé par une autre firme comme ARTVPS en Angleterre et ainsi profiter dans son offre de cet apport externe de PI. Un autre exemple probant de la complémentarité des outils et composants dans l'environnement à l'étude concerne le modeleur 3D ACIS commercialisé dans 14 secteurs industriels par le subsidiaire Spatial de la compagnie Dassault, lequel est intégré dans de nombreuses solutions de concurrents de cette dernière alors qu'il ne l'est pas dans toutes ses applications.

Par ailleurs, une innovation plus ouverte impose aux firmes de considérer les risques associés à des modèles de gestion de la propriété intellectuelle plus raffinés, comme le montrent de nombreux cas. Le succès des firmes dépend entre autres de leurs technologies propriétaires ainsi que sur l'apport de partenaires dans le développement de leurs offres de solutions. Ces stratégies de partenariat créent des interdépendances importantes entre les firmes. Dépendant des partenariats établis dans le contexte concurrentiel, le degré d'interdépendance des firmes pourra varier.

Des applications logicielles complémentaires permettent aussi aux clients des firmes à l'étude de profiter de plus grandes possibilités de combiner des solutions. De fait, des fabricants comme P&W, GE, Ford et Hitachi sont les premiers requérants d'une complémentarité accrue et d'une innovation ouverte. Avec des modèles d'entreprises étendues, ces fabricants œuvrant dans des secteurs matures souhaitent intégrer et partager avec leurs partenaires les dernières technologies, idées, plates-formes de produit, etc. Grâce à des réseaux d'applications inter opérables, des modèles virtuels de produits peuvent être rapidement explorés, partagés et intégrés dans leurs chaînes de valeur.

On constate bien la puissance de la notion d'interdépendance des firmes référée ici étroitement à des solutions complémentaires, parfois co développées et inter opérables soutenant une innovation ouverte. Toutefois, l'inter opérabilité permet à des applications logicielles complémentaires plus que de simplement communiquer entre elles; elle permet d'élargir le cercle d'utilisateurs dans la chaîne d'approvisionnement et de créer des interdépendances basées sur le partage de données techniques entre les firmes. La notion d'interdépendance des firmes agit comme une force de marché dominante et un catalyseur de l'évolution technologique et des systèmes de conception.

La mesure du concept dans les données recueillies varie selon les firmes : la présence ou l'absence d'affirmation exprimant le concept dans les données de chacun des cas, constitue la mesure de la variable. Ainsi, des firmes perçoivent cette force comme dominante auquel cas des affirmations sont présentes dans les données. L'absence d'affirmation se rapportant à cette force de marché dans les données d'une firme signifie que la perception de cette dernière à cet égard est minimum, voir nulle.

Système de conception

Les systèmes de conception n'ont pas tous le même degré de maturité et ne sont pas également organisés. Ainsi, les dimensions associées à cette force de marché dominante concernent le degré de maturité des chaînes de création et des systèmes de tâches de conception. Des domaines d'applications industrielles sont plus matures (automobile, aérospatial) alors que d'autres (nanotechnologies) sont plus émergents. La mission des développeurs d'outils est orientée à soutenir des activités complexes de recherche et développement, de conception et d'ingénierie de produit dans des environnements clients évolutifs et de maturité différente. Ces clients s'acharnent à innover tant sur le plan des produits comme tel que sur la

façon dont l'organisation manufacturière exploite toutes les facettes associées au développement de produit. Il en découle des besoins de la part des clients de considérer leurs processus de création (R&D et conception) comme un système complexe où l'exécution de chacune des tâches reliées à la conception s'intègre dans une vision systémique du cycle de vie du produit à créer.

Les systèmes de conception, stimulant et constituant le cœur des capacités d'innovation, occupent une place stratégique dans le modèle d'affaires des clients des firmes à l'étude. C'est au profit de l'amélioration de la maturité et du degré d'efficience des systèmes que les firmes à l'étude développent leurs outils. Elles doivent répondre aux exigences particulières de ces systèmes et contribuer à les améliorer ainsi qu'à les faire évoluer de la manière la plus systémique possible. Toutefois, les firmes voient leurs contributions de façon différentes à l'égard de cette force de marché car leurs degrés de perception varient. Le système de conception d'application détermine les environnements scientifique, technologique et d'affaires qui influent sur les développeurs exigeant de ces derniers d'étroites interactions avec les clients. Le degré de maturité du système de conception déterminera la nature des interactions.

Paradigme d'innovation

L'émergence des bassins de création de nouveaux savoirs comme la Chine, l'Asie du Sud-est et l'Inde, engendre des changements drastiques au niveau de l'organisation industrielle et de la gestion des projets de développement de produit. La spécialisation, la division du travail et la mobilité des travailleurs imposent aux développeurs d'outils comme à leurs clients, de recourir à des équipes distribuées au sein d'une chaîne d'approvisionnement de plus en plus étendue. Les sites de production de savoir et de fabrication des pays industrialisés évoluent désormais de concert avec ceux situés dans

des économies émergentes. Tous ces facteurs induisent une effervescence du paradigme d'innovation qui s'exprime de façon variable chez les firmes, selon l'intensité du phénomène dans les domaines d'applications industrielles qu'elles desservent ou encore, l'importance qu'elles y accordent. Ainsi, l'effervescence et le rythme d'évolution technologique et industrielle, les ruptures et le niveau d'équilibre des trajectoires technologiques, l'intensité de transformation, d'organisation et de division du travail dans les écosystèmes d'innovation, sont des dimensions associées au paradigme d'innovation.

Depuis au moins 30 ans des investissements massifs en recherche et développement jumelés à une globalisation accrue de l'économie, ont engendré une augmentation rapide du rythme de production et de diffusion des connaissances. Le secteur des sciences de la numérisation (sciences informatiques, ingénierie logicielle et technologies de l'information et des communications) a créé de nouvelles forces techniques et économiques avec lesquelles les firmes à l'étude doivent composer pour se doter d'avantages concurrentiels durables. Des avancées scientifiques, technologiques et industrielles dans tous les domaines ont créé des ruptures dans les trajectoires des bases technologiques et ont entraîné des firmes vers des transformations dans l'organisation du travail des écosystèmes d'innovation. En outre, non seulement cette évolution impose désormais aux fabricants un renouvellement constant de leurs connaissances, mais exige aussi d'eux qu'ils renouvellent avec soin leurs investissements technologiques en tenant compte de considérations telles que la modularité, la compatibilité, la standardisation, l'intégration, etc.

Malgré les changements majeurs apportés par les sciences de la numérisation, l'environnement à l'étude connaît néanmoins une relative stabilité depuis ses débuts, soit depuis la décennie des années 1970. Quelques technologies plus radicales ont certes modifié à l'occasion les

compétences et les relations des firmes avec les marchés, mais les innovations au sein de l'environnement à l'étude sont néanmoins majoritairement incrémentales. Les outils logiciels de dessin 3D s'appuient toujours sur une philosophie Euclidienne mettant en cause des modèles géométriques (modélisation paramétrique) servant de support à la conception d'artefacts. Ainsi, en dépit d'une évolution continue de l'industrie les fondements du dessin assisté à l'ordinateur restent en équilibre depuis 30 ans.

Par ailleurs, notre but n'est pas de faire ici une liste exhaustive et une description détaillée des forces techniques et économiques influençant les firmes de l'environnement à l'étude, mais plutôt dégager certains facteurs affectant le paradigme d'innovation auquel elles sont soumises. Parmi ceux-ci, mentionnons :

- L'accélération d'un commerce globalisé facilité par l'adoption par les entreprises de chaînes d'approvisionnement plus virtuelles;
- Un environnement réglementaire et institutionnel plus contraignant (Sarbanes-Oxley, protocole de Kyoto, etc.);
- Une convergence scientifique accentuée donnant lieu à de nouveaux domaines d'applications technologiques (biosciences et matériaux, nano médecine, etc.);
- Une pression accrue pour l'inter opérabilité et l'intégration des systèmes informatiques;
- Une complexité croissante des problèmes de recherche et de conception découlant de la miniaturisation, la mixité des technologies employées, d'une modularité accrue et incidemment, de la résolution des interdépendances associées;
- Un degré d'expertise amplifié des clients grâce à l'accessibilité à de multiples flux d'information;
- Une innovation de plus en plus distribuée et une mobilité accrue des scientifiques et des ingénieurs, etc.

Ces facteurs techniques et économiques caractérisent le degré d'effervescence du paradigme d'innovation et les configurations d'actions des firmes à l'étude. Le paradigme d'innovation sera perçu de façon variable par les firmes considérant le degré d'effervescence qui le caractérise ou le degré d'importance qu'elles accordent aux dimensions associées. En face des enjeux globaux, les firmes doivent néanmoins développer des configurations adaptées de technologies et stratégies au paradigme d'innovation auquel elles sont soumises ainsi qu'à son évolution.

Spécificité des connaissances

Les dimensions associées à cette force concernent le degré de spécificité des connaissances (processus, pratiques, méthodes et règles) en fonction de la spécialisation des tâches de conception à accomplir dans des domaines d'applications.

Les systèmes de conception des manufacturiers sont orientés pour répondre aux spécificités des domaines d'application qu'ils investissent. Chaque domaine exploite des bases scientifiques et technologiques génériques ainsi que des bases spécifiques. Les connaissances requises ainsi que les processus de conception d'un microprocesseur sont très différents de ceux requis pour développer un médicament. Les connaissances, processus, règles, pratiques et méthodes sont très différentes et incidemment, très spécifiques au domaine d'application. Cette spécificité des connaissances, combinée à une spécialisation des tâches, renforce la notion de système de conception devant être adapté au domaine de l'application à concevoir. Par conséquent, les firmes développant des outils logiciels s'intégrant dans de tels systèmes, doivent répondre à la spécificité des connaissances requises par le système concerné. Comme leur mission est de soutenir la conception, l'ingénierie et la recherche et développement en offrant des outils logiciels performants, ils doivent impérativement répondre à la spécificité des

connaissances propre au système de conception auquel les outils sont destinés. Selon le degré de spécialisation des tâches et de formalisation des connaissances et des règles dans les domaines d'application desservis, cette force pourra être perçue de façon variable par les firmes.

Concurrence et risques

Les dimensions suivantes sont associées à cette force de marché : Intensité et pression d'innovation, globalisation, niveau de consolidation industrielle, niveaux d'incertitudes, de complexité et risques d'affaires, niveau de contrôle de la propriété intellectuelle, importance des réglementations et normes

Les firmes à l'étude épousent et soutiennent le modèle économique dominant, soit la création et l'exploitation de la PI (idées, des biens tangibles et intangibles des organisations) comme moteur de création de richesse. Toutes les firmes sont motivées par l'acquisition de profits dérivés des droits d'accès aux fonctions et savoirs imbriqués dans les logiciels, droits octroyés aux utilisateurs en échange de paiement. Dans un contexte de concurrence vive et globale, les firmes doivent innover constamment et lancer de nouvelles versions de leurs solutions logicielles à chaque année ou presque. La gestion de la PI constitue ainsi une dimension importante du paradigme actuel d'innovation au sein de l'environnement étudié. Cette assertion est manifestement soutenue par de nombreux cas dont celui de Dassault, firme française leader du développement de solutions d'aide à la conception et à l'ingénierie :

« ... The source code of our products is protected as a trade secret and an unpublished copyright work and in certain instances with a patent. » Gérard Lecina, Director, Research & Development, Simulation Strategy

L'importance de la PI s'exprime également pour Accelrys, une firme américaine qui développe et commercialise des logiciels d'aide à la

découverte et au développement de nouveaux produits dans les domaines pharmaceutique et biotechnologique, notamment. En plus d'être détentrice de 19 brevets en 2005, Accelrys utilise aussi une combinaison de moyens pour protéger sa propriété intellectuelle, soit les droits d'auteurs, les marques de commerce, le secret industriel et diverses dispositions contractuelles.

Pour une firme comme Autodesk, la PI représente un enjeu fondamental dont elle doit tenir compte. Incorporée en 1982 et située en Californie aux États-Unis, Autodesk est l'un des chefs de file du secteur des logiciels d'aide à la conception. Elle offre notamment des solutions à des clients dans les marchés du bâtiment, de la fabrication, des infrastructures et des médias numériques. Autodesk protège aussi sa PI au moyen d'une combinaison de mesures mais malgré ces efforts, la gestion de la PI reste un risque constant.

Pour les utilisateurs exigeants que sont des compagnies comme Volvo, Philips et Sony, le même modèle s'applique; secrets industriels ou nouveaux concepts de produit constituent des moyens pour créer de la valeur et concurrencer. De plus, les données de recherche, de conception et d'ingénierie sont sensibles et requièrent une grande expertise pour les produire; on protège donc chèrement sa PI. Le système économique du libre marché s'appuie entièrement sur la PI, cette dernière étant notamment utilisée par les financiers comme sûreté pour garantir leurs investissements.

Le modèle d'affaires et de concurrence dominant des développeurs d'outils s'appuie sur des contraintes technologiques artificielles imposant une « fermeture » des applications logicielles et ainsi, un contrôle de l'accès au code source, aux transferts de données, etc. Toutefois, les firmes vivent de façon variable ces contraintes. Leur perception des risques et des effets de ces contraintes diffèrent.

Les développeurs d'outils ont développé des formats propriétaires de données qui ont amené au fil des années les utilisateurs à rencontrer des contraintes de partage des données. Des efforts significatifs ont été faits au chapitre de la normalisation et aujourd'hui, des standards sont généralement adoptés par l'industrie. Cependant, leur utilisation seule dans certains domaines comme dans celui de l'automobile par exemple, entraîne des pertes d'information lors de l'échange de données. Des joueurs dominants comme Dassault, UGS, PTC et Autodesk, participent aux efforts de normalisation, mais s'assurent d'ajouter des caractéristiques telles qu'elles modifient constamment les bases de la concurrence. Les firmes programment leurs systèmes de telle manière que les utilisateurs et développeurs aient besoin d'interfaces de programmation (*API : Application Programming Interface*) spécifiques à leurs logiciels pour garantir un échange efficace de données et un certain inter opérabilité avec d'autres outils. En procédant ainsi, des firmes assurent leur position de concurrence dans le marché. Comme les utilisateurs veulent préserver 100% de l'information de conception produite, ceux-ci sont forcés d'acheter des licences de plusieurs systèmes. Des firmes offrant des outils plus spécialisés subissent également ces contraintes. Leur perception de la concurrence et des risques diffèrent.

Toutefois, l'inter opérabilité des systèmes et l'unification des divers standards sont pour des clients comme Ford, Peugeot et Pratt & Whitney des critères aussi importants sinon plus que ceux concernant les performances de base des outils. Des alliances d'affaires entre développeurs et intégrateurs de systèmes comme celles conclues entre UGS, HP et Cap Gemini répondent en partie à ces besoins et sont jugées favorables par les clients. Ces exigences motivent aussi des développeurs à créer des alliances technologiques pour réduire les risques en unifiant des standards tels que ceux d'UGS (*JTOpen*) et Autodesk (*DWF*). Malgré tout, la concurrence de

plusieurs infrastructures informatiques engendre néanmoins une forme de bataille des formats de données et des incertitudes (Day, 2006).

À titre d'exemple, les besoins d'échanges de données ont engendré, pour les outils destinés surtout aux domaines de l'automobile, des équipements industriels et de l'aérospatiale, deux types d'initiatives de « normalisation » :

- Développement de normes industrielles : STEP (*Standard for Exchange of product model data*), série ISO 10303-20x, etc. Normes établies par l'effort de participants de l'industrie et des gouvernements;
- Développement de normes propriétaires : JTOpen (UGS), DWF (Autodesk), etc., soit des normes qui s'implantent par les actions des firmes au profit de leurs communautés d'utilisateurs;

Dans d'autres domaines comme dans ceux des sciences de la vie et des nano technologies, la problématique des normes est tout autre. On y note un faible degré de normalisation concernant la représentation de données notamment sur le plan des matériaux et de la chimie. Ces facteurs influencent l'intensité de concurrence et le niveau de risque.

Ainsi, le secteur des développeurs d'outils a connu une évolution qui l'a mené à développer des applications logicielles qui tout en conservant des noyaux fermés, offrent d'une façon très contrôlée, des interfaces assurant une certaine communication des données. Bien que davantage d'outils soient plus inter opérables, nous retrouvons au sein de l'environnement à l'étude des systèmes fermés dont l'inter opérabilité est fortement contrôlé. Cette façon de faire constitue la base de concurrence et bien que le besoin d'inter opérabilité dans les systèmes de conception des fabricants de produits force une fluidité des échanges de données techniques, elle contribue à augmenter la complexité d'intégration des systèmes et des risques d'affaires. Cette situation accentue notamment la pression

d'innovation et alimente la consolidation industrielle. En effet, une consolidation importante est survenue dans le secteur depuis 20 ans. Cette consolidation résulte entre autres de l'obsolescence de technologies, de la disparition de certaines firmes et d'un fort mouvement d'acquisitions par d'autres. Toutefois, l'acquisition d'un portefeuille de solutions entraîne une problématique fréquemment rencontrée par les acquéreurs, soit l'intégration logicielle des solutions acquises. Les firmes doivent intégrer des noyaux logiciels fermés et en restreindre l'accès, tout en contrôlant l'inter opérabilité avec les tierces parties. Plusieurs firmes nous ont confirmé que l'intégration des logiciels acquis nécessitait des efforts de reprogrammation importants et qu'il s'agissait d'un risque d'affaires significatif.

Ce concept de concurrence et risques est très riche et intègre de nombreuses dimensions. Celles-ci pourront affecter les firmes étudiées de façon variable et parfois opposée, considérant leur rôle dans le contexte et les impacts sur elles.

Exigences spécifiques des clients

Les dimensions associées à cette force sont le niveau d'exigences et de spécificité des clients experts, les caractéristiques des déclencheurs et des dimensions de valeur, critères de performance et de qualité des clients ainsi que le rythme d'évolution des besoins de ces derniers.

Le client industriel typique desservi par les développeurs d'outils est un intervenant dominant pour plusieurs raisons; il est un expert de son domaine d'applications industrielles, doit gérer de nombreux risques et finalement, se situe toujours au sein d'une cascade de pression concurrentielle (le client exige plus car les *clients-des-clients-des clients* désirent plus). Lorsque l'on demande aux firmes rencontrées d'identifier les dimensions de valeur

recherchées par les clients, elles nous répondent le plus fréquemment les éléments suivants :

- Augmenter la qualité des produits finis;
- Réduire les coûts et le temps de cycle de développement de produit;
- Augmenter la flexibilité opérationnelle;
- Se distinguer de la concurrence;
- Réduire les inefficiences dans les processus;
- Augmenter la coordination des équipes de développement;
- Etc.

Aux plans de la R&D et de la conception, les buts poursuivis par des fabricants comme Boeing, GM, Lucent et Toyota sont :

- D'explorer des phénomènes scientifiques qui détermineront le comportement de matériaux, sous-composants et composants de leur produit;
- Définir l'arrangement optimal de pièces et de matériaux qui permet de créer des composants;
- Prédire la performance de composants et des systèmes;
- Définir, selon une architecture, l'organisation logique et physique optimales des interrelations entre les composants ou modules, de manière à ce que l'artefact accomplisse la fonction souhaitée.

Les clients ont donc des exigences spécifiques, élevées ainsi que des dimensions de valeur précises lorsqu'ils souhaitent acquérir un outil ou un service de conception. Selon les divers domaines d'applications industrielles ces exigences pourront varier. Nous pouvons néanmoins regrouper en trois (3) catégories les principaux critères utilisés par une entreprise qui désire acquérir un outil ou un service d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement. Ces catégories concernent :

- Les caractéristiques du produit offert;
- Les stratégies d'affaires du vendeur;

- L'intégration du produit dans l'environnement du client.

Les particularités et l'importance relative de ces trois (3) catégories de critères sont discutées ci-après.

Caractéristiques du produit offert

Le premier critère concerne les caractéristiques de base du produit, c'est-à-dire ce qu'il offre aux plans des capacités, attributs, modules et modèles disponibles, etc. Les entreprises manufacturières et particulièrement celles à haute intensité technologique (microélectronique, aérospatiale, instrumentation médicale, etc.), souhaitent compter sur des systèmes et outils logiciels fiables, sécuritaires et surtout intégrant les avancées scientifiques et techniques les plus récentes. Les outils doivent intégrer les modèles mathématiques spécifiques les plus puissants et offrir un ensemble d'attributs avancés (visualisation, algorithmes de calcul, interfaces graphiques unifiées, intelligence artificielle, automatisation, gestion des processus, etc.).

Un client portera ainsi naturellement son appréciation sur un ensemble de caractéristiques techniques propres aux capacités de l'outil à résoudre des classes spécifiques de problèmes. Ce critère est important, car c'est sur cette base que l'outil logiciel se qualifie en premier lieu. Les clients souhaitent réaliser la conception de produits innovateurs de manière à se différencier et garantir une qualité supérieure à leurs propres clients tout en contrôlant et réduisant leurs coûts.

Les divers domaines industriels imposent donc aux fournisseurs d'outils de répondre à des exigences élevées et très spécifiques. Ainsi, les assises scientifiques, technologiques et méthodologiques étant différentes, les

caractéristiques de base des outils entraîneront des variations entre les firmes.

Stratégies d'affaires du vendeur

Selon des données recueillies lors de contacts personnels auprès de fabricants tels Boeing et Siemens, nous suggérons que sur l'ensemble de tous les critères discutés ici, le retour sur l'investissement est le plus important pour des clients dans des secteurs industriels matures. Celui-ci se mesure de différente manière et tiendra compte des particularités de la chaîne de création de produit du manufacturier. En somme, les clients veulent plus de solutions durables et moins de mises à niveau (Foundyler, 2005). Ils veulent des cas d'affaires solides, sont très concernés par le retour sur l'investissement et les coûts cachés d'une implantation (délais, erreurs, difficultés d'inter opérabilité, etc.). Les clients veulent réduire leurs coûts et la durée du cycle de développement tout en augmentant la qualité des produits et ils choisiront des outils et des firmes qui démontreront une réelle capacité à réaliser rapidement ces objectifs.

Dans les domaines émergents comme la nanotechnologie ou la biopharmaceutique, l'attention est davantage mise sur la capacité des développeurs à offrir des outils sophistiqués d'exploration scientifique. Les exigences spécifiques des clients de ces domaines d'applications moins matures sont donc dirigées vers cet enjeu. Ces facteurs induisent donc une différentiation entre les développeurs d'outils.

D'une façon générale, les critères relatifs au modèle d'affaires du vendeur sont importants pour le client. Ce dernier appréciera de la part d'un développeur une approche focalisée sur ses besoins spécifiques, une ouverture au partenariat de co développement pour profiter d'une nouvelle opportunité, au partage des risques, etc. Les clients souhaitent voir chez les développeurs des capacités éprouvées d'établir des partenariats avec

d'autres développeurs et d'autres clients dans le même domaine que lui et jugeront celles-ci comme des engagements envers leur système de conception.

En ce qui a trait aux services, nous devons mentionner que les clients jugent très importantes l'expertise et la capacité des développeurs à résoudre sur demande des problèmes complexes qui sont susceptibles d'avoir un impact important sur le développement d'un produit innovateur. C'est la raison pour laquelle plusieurs firmes retirent jusqu'à 20% de leurs revenus en activité de consultation (ex. : Dassault = 15% pour 2002-2004 ; Telelogic = 20% pour 2005).

Intégration du produit dans l'environnement du client

Même si les caractéristiques spécifiques de base mentionnées précédemment sont essentielles, on peut affirmer que les considérations reliées à l'architecture du produit, à sa capacité d'évolution et à son interopérabilité, ont une influence tout aussi importante pour le client. Ceci et surtout observable dans des domaines d'applications plus matures comme l'automobile, l'aérospatial et la microélectronique. Les clients sont confrontés à de nombreux développements et doivent faire des choix technologiques stratégiques qui ont un impact direct sur leur profitabilité. Les clients veulent par-dessus tout des solutions pratiques pour lesquelles ils perçoivent clairement une valeur dans leur environnement spécifique d'entreprise. Par conséquent, même si l'on peut améliorer un modèle mathématique d'un facteur de 10%, les enjeux reliés à l'intégration des outils de conception et d'ingénierie dans l'environnement d'innovation du client sont aujourd'hui critiques et primordiaux.

En outre, l'implantation de systèmes implique parfois des changements importants au niveau des pratiques et de processus des organisations. Pour

des fabricants, les coûts de développement de produit sont dorénavant des coûts appelés à baisser avec la réalisation de ces activités en Inde, notamment. Elles estiment donc grandement l'expertise des développeurs à les aider dans l'élaboration de cartes routières technologiques et d'un plan d'amélioration de leurs pratiques et processus spécifiques de développement de produits. Par conséquent, le succès des développeurs dépend de leur habileté à comprendre les besoins et les processus des clients, améliorer leurs solutions et les introduire de manière efficace. Leurs performances pourront varier selon leur capacité à accompagner les clients dans les changements de paradigme tant au niveau des pratiques que celui de l'écosystème d'innovation. Cette capacité découlera en bonne partie de la perception qu'elles accordent aux critères discutés ici et de la manière qu'elles réagissent.

Un des critères les plus importants pour le client concerne la connaissance que détient le développeur des processus d'affaires et des applications maîtresses du domaine d'applications. Cela signifie que les clients jugent très importante l'imbrication dans les outils, de méthodologies et modules spécialisés adaptés à des applications de leur domaine. De plus, les outils doivent également permettre une intégration des systèmes plus anciens (*Legacy Systems*). Ceci est d'autant plus critique lorsque la chaîne de valeur du client est composée de nombreux partenaires de cultures différentes, d'anciens concurrents, etc.

La figure 4.1 donne un résumé des dimensions associées aux exigences spécifiques des clients.

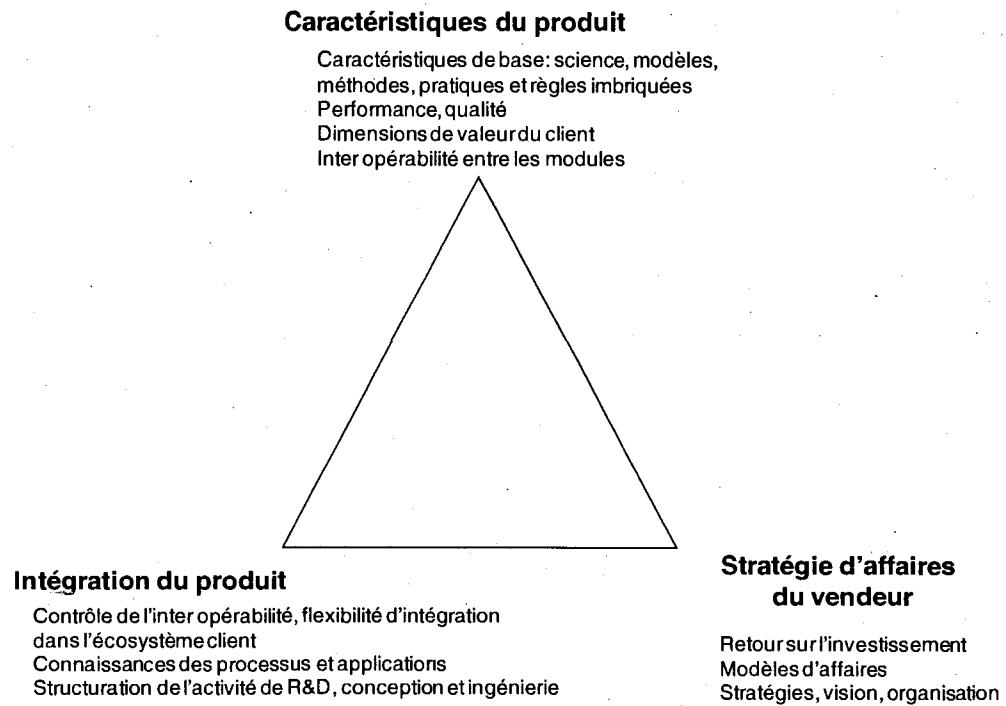


Figure 4.1: Dimensions associées aux exigences spécifiques des clients

4.1.2 Systèmes stratégiques

Une analyse approfondie des données révèle que les firmes déploient des ensembles cohérents de stratégies qui sont orientées sur des objectifs précis. Ces ensembles représentent des familles organisées de stratégies qui se soutiennent mutuellement dans le but d'atteindre des objectifs stratégiques pour la firme. Ces ensembles constituent des systèmes stratégiques qui sont définis, pilotés et déployés de façon variable par les firmes en fonction de leurs environnements concurrentiels. La mesure du concept dans les données recueillies varie selon les firmes : la présence ou l'absence d'affirmation exprimant le concept dans les données de chacun des cas, constitue la mesure de la variable. Le tableau 4.2 présente ces systèmes stratégiques lesquels sont discutés à la suite de celui-ci.

Tableau 4.2 : Systèmes stratégiques

Système stratégique	Dimensions associées
Structuration de l'écosystème client	Niveau d'Intégration et architecture au plan matériel et logiciel, intensité des efforts de structuration : étendue et visée structurante de l'offre, intensité des acquisitions, alliances et partenariats, consortium; création et soutien à une communauté d'usagers, un réseau de développeurs; structuration d'un environnement ouvert de conception, de programme de certification, centre de compétences
Plates-formes technologiques	Intensité de proposition d'architectures, d'ensembles et d'actifs technologiques, niveau de maîtrise des sciences informatiques et d'ingénierie logicielle industrielle, effort d'exploitation de la modularité, niveau de leadership
Productivité et résolution de problèmes	Degré d'amélioration de la productivité, des capacités de R&D, de résolution de problèmes de conception et des processus d'innovation; niveaux de performance des technologies de modélisation, simulation, visualisation
Intégration des connaissances	Degré de formalisation, intensité d'unification et de partage des connaissances, pratiques, méthodologies, intensité de développement de règles spécifiques, intégration des interactions clients; niveau d'accumulation des expériences
Inter opérabilité	Intensité des stratégies de contrôle et de normalisation, publications d'interfaces de programmation, efforts de développement et partage de langages évolués de programmation, degré d'inter opérabilité et de connectivité sur les réseaux

Structuration de l'écosystème client

Le premier système stratégique émergent des données est celui concernant un ensemble cohérent de stratégies ayant pour but de structurer l'écosystème de travail du client et stimuler l'innovation. Le déploiement de ce système stratégique par une firme nécessite une vision éco systémique des tâches de conception, d'ingénierie et de recherche et développement à exécuter, pour créer un artefact dans un système de conception. Il requiert donc des firmes une compréhension globale et approfondie des forces de marché dominantes et de leurs interrelations ainsi qu'une intention stratégique de les influencer. Ce système stratégique vise une intégration et une exploitation optimales des ressources présentes dans l'écosystème client de manière à le structurer ainsi qu'à gouverner le développement et l'offre de solutions. Plus des actions dans ce sens sont mises en œuvre, plus ce système stratégique pourra être déployé au maximum. Les dimensions associées à ce système stratégique sont par conséquent orientées vers le niveau d'intégration des ressources, intensité des efforts de structuration de l'écosystème.

Les firmes déployant ce système au maximum, dont les effets se font sentir à l'échelle de l'industrie, sont par conséquent caractérisées par des offres étendues et complexes de solutions qu'elles développent et qu'elles acquièrent. Mobilisant des compétences et des ressources organisationnelles importantes de la part des firmes qui le déploie à son maximum, ce système regroupe des actions majeures portant par exemple sur l'acquisition de technologies et d'entreprises, la formation de consortium de développement, la mise en œuvre d'alliances et de partenariats structurants, la création et le soutien à une communauté de développeurs et d'usagers, la gestion de programmes de certification, de formation, de

centres de compétences et d'universités, la proposition d'environnements collaboratifs de développement logiciel, de langages et normes, etc.

À l'opposé, l'absence dans les données des firmes d'évidences d'actions orientées vers la structuration de l'écosystème client, illustre un déploiement minimum de ce système stratégique, voire nul.

Places-formes technologiques

Les dimensions associées à ce système se réfèrent à l'intensité de la firme à proposer des architectures logicielles et plates-formes, des ensembles et des actifs technologiques, ainsi qu'au niveau leadership sur le plan des sciences informatiques et d'une ingénierie logicielle de calibre industriel.

Bien que de nombreuses ressources soient disponibles sur le marché, les données recueillies lors des entrevues réalisées nous suggèrent que les méthodologies d'ingénierie et outils de développement logiciel sont utilisés de façon variable; beaucoup de firmes s'en inspirent, un certain nombre les utilisent mais de façon sous optimale et enfin, un très petit nombre les emploient d'une façon rigoureuse. Au niveau actuel de concurrence, les développeurs d'outils ont réellement besoin de maîtriser l'ingénierie logicielle pour produire à un rythme industriel. De ce fait, la maîtrise de l'ingénierie logicielle à un niveau de production industrielle est une dimension cruciale pour la création de plates-formes technologiques robustes et évolutives. Plus elle est maîtrisée, plus la firme pourra maximiser le déploiement de ce système stratégique.

Dans certains cas, des firmes nous disent que le processus peut être qualifié d'artisanal. Dans d'autres cas, le processus est considéré mesurable et optimisable. Les études de cas réalisées révèlent que les firmes qui ont développé plusieurs générations d'outils maîtrisent mieux l'ingénierie logicielle et l'utilisent comme levier de création et capture de valeur. En

outre, les firmes qui ont des capacités de développement logiciel à un niveau industriel sont plus en mesure de proposer des architectures et des plates-formes plus évoluées et répondant davantage aux besoins spécifiques et changeants des clients. Ces firmes exploitent pour leur développement logiciel de nombreux guides de pratiques et normes (*Capacity Maturity Model* (CMM), etc.), des outils d'aide à la conception logicielle (générateurs de code, de modèle, de diagramme, de configuration, outil de test, etc.), la modularité, etc.

À l'opposé, les firmes qui maîtrisent moins bien l'ingénierie logicielle où n'assurent pas l'alignement de leurs pratiques d'ingénierie logicielle avec leurs systèmes stratégiques ne sont pas en mesure d'assurer un tel leadership technologique.

Dans le secteur à l'étude, soulignons que beaucoup de firmes sont dérivées d'activités de recherche effectuées au sein d'universités, de départements de mathématiques appliquées, de génie, de sciences informatiques ou encore de biologie. La majorité des développeurs d'outils ont été créés sur des idées novatrices au plan scientifique (nouveau modèle, algorithme de calcul, méthodologie de résolution de problème, interfaces, etc.). Toutefois, dans un contexte où une firme doit commercialiser rapidement de nouvelles versions améliorées et s'intégrer dans un environnement logiciel complexe, elle doit non seulement maîtriser les connaissances qui permettront aux clients d'être plus innovateurs en utilisant les solutions proposées, mais également, le processus de conception et d'ingénierie logicielle lui-même.

Par conséquent, nous suggérons que le niveau de maîtrise et d'utilisation de pratiques avancées d'ingénierie logicielle pour la conception d'outils d'aide à la conception contribue à maximiser le déploiement du système stratégique discuté. De telles firmes sont plus en mesure de proposer des plates-formes logicielles tenant des changements de paradigme dans les systèmes de

conception de produits des fabricants. L'environnement à l'étude est un secteur industriel au sein duquel une firme ne peut avoir de succès sans l'adoption de pratiques innovatrices et éprouvées d'ingénierie logicielle. Ce sont par conséquent des actions stratégiques orientées vers le développement et l'exploitation d'outils, méthodologies et pratiques avancés d'ingénierie logicielle qui permettent à des firmes de développer et proposer au marché des plates-formes contribuant à « architecturer » l'évolution des outils d'aide à la conception dans un domaine spécifique. Par extension, ce système stratégique inclue également d'autres actifs technologiques clés dans le système de conception considéré comme par exemple des infrastructures d'essais et de laboratoire développés par certaines firmes. Ces actifs agissent comme plates-formes technologiques soutenant des systèmes de conception de produits des fabricants et requièrent la mise en œuvre de stratégies ciblées et cohérentes (investissements, formation, intégration de pratiques avancées, etc.). Le déploiement de ce système stratégique exige des firmes un leadership technologique, un apprentissage continu et un renouvellement constant des compétences.

Productivité et résolution de problèmes

Ce système stratégique concerne les actions essentielles de la firme qui souhaite œuvrer dans le marché à l'étude et fournir une valeur ajoutée minimale aux clients. Les dimensions associées concernent par conséquent les degrés d'amélioration de la productivité, des capacités de R&D, de résolution de problèmes de conception et des processus d'innovation.

C'est par le biais de ce système stratégique que les développeurs se distinguent en premier lieu sur le plan de leur offre; les technologies intégrées devant offrir une amélioration de la productivité de la conception et des capacités d'innovation des clients. Ces derniers souhaitent augmenter la productivité de leur processus de développement de produit et pour y arriver

doivent avoir accès aux meilleurs outils pour augmenter leur productivité et résoudre des classes de problèmes spécifiques.

Les développeurs déploient des stratégies pour développer des solutions logicielles intégrant les technologies de modélisation, de simulation, de visualisation et de calcul les plus performants et les mieux adaptés aux exigences spécifiques des clients qu'ils desservent. Plus le niveau de performance des technologies est élevé, plus l'offre est spécifique, plus la firme sera en mesure de déployer ce système. Ce dernier comprend aussi des stratégies pour fournir aux clients des capacités et modèles d'affaires supérieurs pour améliorer les processus de travail dans les réseaux de tâches. Le développement de telles technologies nécessitent de la part des développeurs des investissements significatifs en R&D et des engagements importants en temps pour comprendre lesdits problèmes et processus des clients. Ces engagements les entraînent à interagir étroitement avec des clients experts et ces interactions primordiales sont au centre de ce système.

Intégration des connaissances

Ce système stratégique, étroitement lié au précédent, constitue le noyau d'activités visant à formaliser les connaissances scientifiques, technologiques et méthodologiques requises pour soutenir la conception de produit dans des domaines d'application spécifiques. Il comprend des stratégies et activités d'intégration, d'assemblage et de formalisation des connaissances (modèles, équations, bases de données, catalogues de solutions, archives, etc.) et tout ce qui touche aux pratiques, méthodologies, processus et expériences accumulées se rapportant au domaine d'application visé. Plus les engagements d'une firme sont intenses envers les dimensions associées, plus ce système sera déployé au maximum.

La portée de ce système stratégique a une influence considérable sur les fondements de la conception et représente pour le développeur d'outils, la base des actifs qui lui permet de concurrencer dans le marché. Compte tenu des avancées scientifiques et technologiques et des pressions concurrentielles, le déploiement d'un tel système stratégique exige pour les firmes d'investir annuellement des proportions importantes de leurs ressources pour renouveler les connaissances qui soutiennent le développement de leurs outils, ainsi que celles reliées spécifiquement au domaine d'application auxquels ceux-ci sont destinés. Ce système s'appuie également sur des programmes d'interactions continues avec les clients, leurs écosystèmes de partenaires ainsi que d'autres organisations développant des connaissances comme les universités.

Inter opérabilité

Les dimensions associées au système stratégique portant sur l'inter opérabilité se rapportent à l'intensité des stratégies de contrôle et de normalisation entreprises par les développeurs envers la publication d'interfaces de programmation, les efforts de développement et de partage de langage évolué de programmation, le degré d'inter opérabilité et de connectivité établis sur les réseaux, etc.

Le concept d'inter opérabilité tend à être utilisé de manière parfois confondante tant par les firmes et les utilisateurs que par des observateurs du domaine. Le terme « ouverture » est utilisé pour discuter indifféremment de concepts distincts comme l'inter opérabilité logicielle et l'innovation ouverte et cela crée une confusion quant à sa juste applicabilité dans le secteur à l'étude. Nous devons distinguer d'une part le logiciel à code source ouvert et le logiciel dit gratuit lequel est non modifiable et offrant des possibilités d'utilisation permanente. Le logiciel dit gratuit ne signifie pas que le code source est ouvert et public; la décision de la firme ou de l'organisation de le rendre disponible gratuitement est liée à un modèle

d'affaires qui lui est propre. Quant au logiciel à code source ouvert, il est généralement gratuit. Un bon nombre des logiciels à code source ouvert développés sont des outils de programmation et d'autres applications logicielles liées au domaine informatique et des télécommunications, tels le navigateur Web Mozilla et le système d'exploitation Linux. Des logiciels à code source ouvert sont aussi développés dans d'autres domaines comme dans celui du graphisme (Blender, Krita, etc.), mais leur diffusion demeure néanmoins limitée sur le plan commercial.

Dès ses débuts, le mouvement des logiciels à code source ouvert et des logiciels dits gratuits a eu des impacts significatifs sur les firmes à l'étude ainsi que sur leurs clients. Ces derniers se sont questionnés sur cette notion d'accès libre et une pression « d'ouverture » a commencé à s'exercer sur les développeurs. Le mouvement des logiciels à code source ouvert exerce une influence certaine sur les stratégies des développeurs d'outils et a éveillé ceux-ci à de nouvelles réalités et dans certains cas, à de nouvelles opportunités. Toutefois, les exigences des clients tout comme la vive concurrence obligent les firmes à préserver le modèle économique dominant, soit celui de l'exploitation de la propriété intellectuelle comme moteur de création de valeur et de richesse.

En général, les développeurs présentent leurs logiciels comme des systèmes « ouverts » alors qu'en fait ils sont des systèmes propriétaires présentant des caractéristiques d'inter opérabilité et d'évolution (Day, 2006). Le *National Institute of Standards and Technology* des États-Unis a estimé que l'industrie automobile dépense inutilement environ un milliard de dollars américains sur des problématiques reliées à l'interopérabilité des systèmes (Daratech, 2005b). Ce qui contribue à la confusion évoquée c'est que les firmes soutiennent des stratégies de communication visant à faire valoir « l'ouverture » de leurs solutions. Elles promeuvent un message d'ouverture alors qu'en fait, elles contrôlent rigoureusement l'inter opérabilité de leurs

solutions. Elles tentent donc de gérer l'évolution de cette pression d'ouverture. L'inter opérabilité logiciel doit donc être compris dans la présente étude comme la capacité d'un logiciel d'évoluer et d'être inter opérable avec d'autres logiciels ou composants à l'aide d'interfaces de programmation et de formats de données compatibles.

Ainsi, tout le système de gestion de la propriété intellectuelle et les modèles d'affaires des développeurs d'outils soutiennent le développement de logiciel à code source fermé et propriétaire, avec une gestion contrôlée de l'inter opérabilité. Ce contexte nécessite de la part des firmes la mise en œuvre d'actions précises de protection et de divulgation de la propriété intellectuelle de manière à maximiser la capture la valeur.

Généralement, quatre (4) niveaux d'inter opérabilité sont observables dans l'environnement à l'étude au niveau de l'échange des données entre applications :

- Une application A ne peut lire les données générées par une application B. On dira que les formats de données ne sont pas compatibles et les applications non inter opérables;
- Une application A peut seulement lire et mesurer exactement les données (modèle solide, maquette numérique) générées par une application B;
- Une application A peut lire, mesurer exactement et annoter les données générées par une application B;
- Une application A peut modifier entièrement les données générées par une application B et vice versa. On dira que les formats de données sont compatibles et les applications inter opérables.

L'évolution des méthodologies de conception et d'ingénierie logicielle ainsi que les pressions des clients pour des applications plus inter opérables, ont

contribué à positionner le concept d'inter opérabilité comme un catalyseur de l'évolution technologique et de la pensée. En effet, l'inter opérabilité logicielle est aujourd'hui au centre des stratégies de création et de capture de valeur des développeurs d'outils. Le degré d'inter opérabilité d'un logiciel est une décision d'affaires purement stratégique et si une firme est pionnière avec un nouveau produit, elle aura tendance à offrir une solution moins inter opérable pour tenter de rendre captif des clients et ainsi capturer le plus grand marché possible. Lorsque des produits concurrents apparaissent sur le marché, la réponse typique des leaders est « d'ouvrir » plus ou moins, assurant ainsi un inter opérabilité minimal de manière à réduire les incertitudes. Un développeur dans cette position contribuera alors à des travaux de standardisation, au partage contrôlé de langages de programmation et d'interfaces, etc. Quant aux firmes de plus petite taille, elles auront des stratégies davantage orientées vers un alignement sur des normes et règles propriétaires promues par des fournisseurs de plates-formes logicielles ayant pris une position dominante. Dans cette optique, la pression d'inter opérabilité des logiciels influence les modèles d'affaires.

L'inter opérabilité exige une grande flexibilité stratégique de la part des firmes tel que le montre les études de cas réalisées. Les dimensions associées à ce système stratégique mobilisent constamment l'attention des dirigeants et des ressources importantes de la part des firmes car les décisions qui y sont liées, engagent celles-ci sur des trajectoires où elles peuvent gagner ou perdre beaucoup.

4.1.3 Règles de gouvernance de l'innovation

L'examen des données nous révèle que les firmes sont susceptibles de suivre des règles de gouvernance de l'innovation correspondantes à des cadres cognitifs auxquels celles-ci se réfèrent. Ces règles fournissent des cadres pour appréhender l'environnement concurrentiel dans lesquelles les

firmes se développent, structurer leurs actions et apportent la stabilité dans le paradigme d'innovation existant et pour l'évolution de celui-ci. En mettant en œuvre des systèmes stratégiques, en prenant des décisions et en développant des compétences, pratiques et structures organisationnelles compatibles à ces règles, les firmes maîtrisent les leviers de création et de capture de valeur associés. C'est seulement en comprenant comment s'articulent et évoluent ces règles avec les forces de marché dominantes et les systèmes stratégiques qu'elles peuvent gouverner l'innovation.

L'analyse des données montrent qu'elles les utilisent de façon variable. Présentées au tableau 4.3, ces règles de gouvernance de l'innovation sont décrites ci-après.

Tableau 4.3 : Règles de gouvernance de l'innovation

Règle de gouvernance de l'innovation	Dimensions associées
Intégration et architecture au plan matériel et logiciel	Degré d'intégration et niveau d'efforts pour architecturer et aligner les ressources, les mettre en réseaux des communautés dans l'écosystème client; intensité d'exploitation de l'inter opérabilité; étendue de la vision et niveau de leadership vis-à-vis un design dominant de l'offre en fonction de l'écosystème TI spécifique client
Virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion	Niveau d'efforts vis-à-vis les exigences et besoins de : virtualité et d'immersion, d'expérimentation scientifique et de résolution de problèmes (créativités individuelle et collective), mobilité, spécialisation et division du travail, d'ubiquité, d'interactivité, d'accessibilité; degré de richesse et étendue des connaissances, pratiques et méthodologies fournies, niveau de leadership vis-à-vis un design dominant de l'offre en fonction des défis scientifiques et techniques du domaine
Formalisation et numérisation des processus	Degré de modélisation, d'unification et de synchronisation des processus avec les autres modèles d'affaires de l'écosystème client, niveau d'interactivité et de simultanéité fourni, degré de maturité de la formalisation des processus et tâches; niveau d'effort vis-à-vis la transformation et la stabilisation sociale du travail
Accessibilité de l'information technique	Étendue de la gamme de solutions, degré d'accessibilité, intensité de pénétration dans les chaînes de valeur, diversification des marchés, degré d'intention de simplification (assemblages (kits), partage des informations) degré d'innovation vis-à-vis de nouvelles plates-formes d'accès

Intégration et architecture au plan matériel et logiciel

Les dimensions associées à cette première règle se réfèrent au degré d'intégration et au niveau d'efforts pour architecturer et aligner les ressources et mettre en réseaux des communautés dans l'écosystème client.

Tous les développeurs d'outils font face au défi d'intégrer leurs applications dans un environnement matériel et logiciel. Les avancées des sciences de la numérisation et de l'ingénierie logicielle offrent des opportunités extraordinaires au plan de l'intégration et l'architecture des systèmes. Des firmes comme Dassault et Cadence ont résolu de profiter de ces opportunités. Elles comprennent qu'elles peuvent capturer des opportunités de telle façon qu'elles engendrent de la valeur pour elles-mêmes, pour les clients et pour l'écosystème. Concrètement, cette règle de gouvernance de l'innovation consiste pour la firme à « intégrer et architecturer » ses applications au plan matériel et logiciel. Pour un développeur de « plate-forme » comme Cadence, ceci consiste à concevoir ses applications en fonction d'une offre logicielle systémique et inter opérable qu'elle souhaite créer et promouvoir au sein d'un ensemble d'équipements informatiques, de réseaux, etc. au profit d'un écosystème client. Appliquer cette règle consiste pour les firmes à assurer aux participants de l'écosystème, une interactivité, une connectivité et une accessibilité logicielle accrues aux ressources requises pour la conception de produits dans un domaine d'application.

Cette règle a pour effet de déterminer la séquence d'actions et de décisions des firmes en plus d'établir les compétences à maîtriser pour gouverner l'innovation au plan de l'intégration et de l'architecture informatique. Ce n'est qu'en alignant des systèmes stratégiques et des capacités appropriées que des firmes peuvent gouverner l'innovation selon cette règle. Gouverner l'innovation signifie assurer un leadership technologique au plan matériel et logiciel et posséder des ressources financières et humaines importantes pour proposer et structurer, en partenariat avec des fournisseurs comme Microsoft, SUN, Oracle, un modèle de « design dominant » d'une offre de matériels et logiciels en fonction d'un ensemble spécifique de technologies de l'information et de télécommunications existant dans les systèmes de conception des clients desservis.

Comme les firmes n'ont pas toutes les mêmes capacités, l'utilisation de cette règle est variable. Les firmes possédant des ressources importantes pourront appliquer au maximum cette règle alors que les firmes avec des ressources plus modestes ne le pourront pas.

L'application de cette règle s'illustre bien par les actions concrètes de Dassault à proposer une architecture logicielle adaptable en fonction des besoins de chaque client. En effet, ceux-ci requièrent d'adapter l'offre de solutions et de la rendre évolutive en facilitant l'intégration de composants. À titre d'exemple, le programme CAAV5 a été mis en place en 2001 pour permettre aux développeurs de logiciel de créer et vendre leurs propres applications en utilisant l'architecture V5. En janvier 2005, plus de 270 produits basés sur CAAV5 avaient déjà été introduits sur le marché par plus de 100 partenaires. Gouverner l'innovation selon cette règle correspond notamment pour la firme Accelrys à créer des systèmes et environnements collaboratifs (Pipeline Pilot, Discovery Studio®, Material Studio®, and Pipeline Pilot™) et à développer une communauté de développeurs qui adhéreront à la plate-forme et qui développeront eux-mêmes des outils. Pour arriver à ses fins, elle doit maintenir un leadership technologique, poursuivre un niveau d'investissement important en développement de produits tout en pilotant des acquisitions, partenariats et programmes de développement collaboratifs.

Une illustration pour la firme Cadence d'« intégrer et architecturer » signifie :

« Our systems are closed but opened for components able of being integrated. »
Spencer Clark, VP Chief Learning Officer,
Cadence University

Pour concurrencer selon cette règle Cadence doit identifier, développer ou acquérir des technologies, les intégrer sur des plates-formes inter opérables

et les commercialiser au moment opportun. Elle doit aussi s'assurer de faire accepter ses plates-formes par le marché. Pour Autodesk, une de ses stratégies est de maintenir une architecture dite inter opérable de manière à faciliter le développement par des tiers de produits complémentaires et de solutions spécifiques à des secteurs. Cela se traduit par l'offre d'Autodesk en 2005 d'outils de programmation et de support à plus de 2500 développeurs agréés. Cette plate-forme de développement lancée sous le nom d'AutoCAD OEM 2000, permet aux usagers de développer des applications complémentaires en y intégrant des fonctionnalités d'AutoCAD, moyennant paiement d'un abonnement annuel et de droits de licence.

Virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion

Nous nous référons ici à la qualité et à la profondeur de la science et des technologies intégrées dans les outils et rendus disponibles par des réseaux (richesse des bases de données et modèles scientifiques disponibles, méthodes, pratiques, capacités accessibles de calcul, etc.). L'engagement des développeurs d'outils à répondre à cette virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion est un pré requis pour concurrencer dans l'environnement et ce, peu importe les domaines d'application desservis.

Tel que mentionné à la section 4.1.1, des forces économiques et techniques influencent fortement le travail des scientifiques et ingénieurs impliqués dans les projets de développement de produits. Les concepteurs sont mobiles, ont des tâches spécialisées à accomplir, interagissent globalement avec des partenaires et sont confrontés à des contraintes de développement toujours plus exigeantes. Pour exécuter leur travail, ces utilisateurs experts et exigeants ont besoin d'outils offrant des capacités d'ubiquité, d'interactivité, d'accessibilité et surtout, de virtualité. Les scientifiques et ingénieurs ont besoin d'outils qui leur permettent d'exploiter au maximum leurs créativité et capacités. Ils doivent pouvoir compter en tout temps pour réaliser leurs

tâches, sur les connaissances les plus avancées et les capacités de résolution de problèmes les plus sophistiquées. En donnant accès à des capacités enrichies d'expérimentation scientifique et de résolution de problème, les outils des firmes comme LMS permettent une « virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion ». Les concepteurs recherchent l'immersion dans les problèmes à résoudre. Ils veulent en être absorbés pour concevoir un artefact et en valider virtuellement la performance.

Les outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement visent à soutenir de nombreuses tâches : dessiner, représenter des concepts, explorer, isoler, simuler un phénomène, lier des éléments physiques et fonctionnels entre eux et enfin, prédire la performance d'un produit vis-à-vis des objectifs de qualité souhaités. Ces outils sont des logiciels proposant des représentations cognitives permettant d'appréhender des phénomènes pour la conception d'artefact dans divers domaines d'application. En plus d'intégrer des capacités avancées de simulation et d'optimisation, ils constituent aussi des systèmes de gestion des connaissances soutenant la prise de décisions (Raphael et Smith, 2003).

L'utilisation des outils permet de produire des artefacts virtuels servant à fabriquer des artefacts physiques ou numérisés. Le tableau 4.4 ci-après donne un aperçu des artefacts virtuels produits au moyen d'outils d'aide à la conception pour quelques domaines d'application industrielle.

Tableau 4.4 : Artefacts virtuels types produits au moyen d'outils d'aide à la conception dans quelques domaines d'application

Domaines d'application	Artefacts virtuels types
Automobile, aérospatiale, équipements industriels, produits divers, etc.	Modèles 2D et 3D, notations et règles d'ingénierie
Micro électronique	Modèles 2D et 3D, diagrammes et architecture logique, données
Nanotechnologie, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)	Modèles 2D et 3D, diagrammes et architecture logique, données
Sciences de la vie	Modèles thérapeutiques, bases de données, modèles 3D
Informatique, logiciel	Documents, diagrammes structurés, codes, notations, modèles, etc.

De façon générale, on peut distinguer deux grandes familles d'outils actuellement sur le marché, soit :

- i. Des outils d'amélioration de la performance du produit, focalisés sur la conception et l'ingénierie de composants, sous-systèmes et systèmes du produit en tant que tel. (Ce type d'outil est associé à la présente règle);
- ii. Des outils d'amélioration des processus d'affaires soutenant la gestion de l'information dans un but d'unification et de synchronisation des processus. (Ce type d'outil est en lien avec la règle de gouvernance de l'innovation suivante).

Pour chacun des développeurs d'outils à l'étude, l'application de cette règle représente d'investir des sommes importants en R&D. Par exemple pour Cadence, ses investissements en 2005 totalisaient 370 millions de dollars américains, soit près de 29% de ses revenus. Pour la firme Telelogic cela correspond à un investissement de près de 50 millions de dollars canadiens en 2005, soit plus de 15% de la valeur de ses ventes. L'engagement de ses 210 employés en R&D a contribué à mettre sur le marché des outils offrant

des capacités de modélisation, de simulation et de visualisation toujours améliorées. La virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion est capitale pour les clients de la firme ESI laquelle développe des logiciels de simulation de destruction structurale (*crash test*), notamment pour le secteur automobile. Elle investit aujourd'hui environ 35% de ses revenus en R&D pour arriver à bien gérer une conception basée sur la simulation. Pour développer des outils qui répondent aux besoins des clients, ESI doit posséder une compréhension complète de la science et des technologies requises (domaines scientifiques concernés, théories par discipline, modèles, etc.). Les outils d'ESI offrent des capacités de modélisation, des méthodologies rigoureuses et enfin, des processus robustes pour une innovation en mode collaboratif. Au niveau des logiciels de bioinformatique, Accelrys fournit par exemple un éventail de plus de 130 programmes pour les chercheurs : des modules de tri, des extraits de bases de données publiques dans des formats pratiques, des bibliothèques de modèles, etc.

Comme nous pouvons le constater, cette règle de gouvernance de l'innovation est celle qui commande aux firmes de constamment ajouter des raffinements sur les connaissances scientifiques imbriquées dans les outils pour offrir un « design dominant » de solution en fonction des défis scientifiques et techniques du domaine d'application visé. Selon cette règle, la priorité est donnée à la science pour garantir la virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion. Par conséquent, elle exige des firmes qu'elles alignent des stratégies, connaissances, capacités et compétences appropriées pour pouvoir y gouverner l'innovation avec succès.

Formalisation et numérisation des processus

Nous faisons référence ici au degré de modélisation et d'unification des processus scientifiques et d'ingénierie et de leur synchronisation avec les autres modèles d'affaires de l'écosystème client ainsi qu'au degré de

maturité de la formalisation des processus soutenant la transformation et la stabilisation sociale du travail. L'implantation de systèmes et d'outils d'aide à la conception et à l'ingénierie a un impact important sur l'organisation des fabricants. Un fabricant d'automobile comme Volvo exige que les outils répondent non seulement comme nous venons de le voir aux besoins scientifiques des groupes de spécialistes, mais aussi, qu'ils soutiennent les processus d'affaires de l'entreprise. En implantant des outils, des processus d'affaires sont transformés et cette implantation doit être coordonnée avec parfois de nombreuses unités d'affaires et partenaires. Les fabricants exigent donc des outils qu'ils répondent à des besoins d'interactivité, de simultanéité et de synchronicité dans un réseau de processus et de tâches.

La mise en œuvre par certaines firmes de réseaux de logiciels d'aide à la conception contribue à une formalisation et une numérisation collective des processus de recherche, de conception et d'ingénierie dans le développement de produits. La mise en réseau des multiples tâches et processus, d'abord scientifiques et techniques, permet de synchroniser l'effort collectif d'innovation des partenaires de l'écosystème d'un fabricant comme Toyota. En proposant des processus de travail soutenant la création et l'ingénierie de produits spécifiques à des domaines d'applications industrielles, les outils développés par des firmes comme Agile et Silex contribuent à « formaliser et numériser » des processus de développement. Ces outils contribuent à accompagner les transformations industrielles et permettent de tirer partie du savoir-faire réparti au sein des entreprises et de leurs réseaux de partenaires. Pour bénéficier de ces avantages, il est toutefois essentiel que les réseaux de logiciels soient basés sur la fluidité des échanges et incidemment, sur l'inter opérabilité. Les bonnes pratiques et les méthodologies éprouvées et reconnues, constituent ici une partie de l'assise des savoirs de R&D, de conception et d'ingénierie mis en processus et intégrés dans les outils. Nous pouvons affirmer que sous cet angle, de tels

logiciels sont des outils de transformation et de stabilisation sociale du travail.

Gouverner l'innovation selon cette règle signifie pour les firmes de comprendre les divers processus impliqués dans un système spécifique de conception de produit et d'en faire l'ingénierie. Œuvrer selon cette règle commande de maîtriser et aligner des connaissances, compétences et capacités spécifiques pour créer et capturer de la valeur par l'unification des processus et des tâches. Les actions de certaines firmes les amèneront à appliquer au maximum cette règle alors que pour d'autres, l'utilisation sera minimum, voire nulle.

Le cas de la firme Agile est manifeste quant à la façon d'exploiter cette règle. Localisée à San Jose en Californie, Agile est spécialisée dans le développement de solutions destinées à soutenir spécifiquement des processus de développement de produits de fabricants dans plusieurs domaines dont surtout ceux en microélectronique. L'important pour Agile est de fournir des capacités aux clients pour qu'ils aient accès en tout temps, au moyen de processus formalisés, aux informations vitales de l'entreprise sur le plan de l'innovation de produits. Les solutions d'Agile contribuent à formaliser et numériser les processus; elles couvrent la gestion de port folio, l'analyse financière, la gestion des exigences et des configurations, les catalogues, la conformité environnementale, les processus d'ingénierie collaborative, etc. Agile unifie les processus pour rendre l'ensemble des efforts de développement de produit plus fluides.

La firme SAP est également un joueur important qui applique à fond cette règle de gouvernance de l'innovation; avec ses outils PLM xApplication elle vise à soutenir la formalisation et la numérisation des processus d'affaires relatifs à la conception et à l'ingénierie :

« Our goal is to close the gap between the bit world and the real world. » Paul Hoffman, Director SAP Inspire.

Accessibilité de l'information technique

Les dimensions associées à cette règle concernent l'étendue de la gamme de solutions, le degré d'accessibilité, l'intensité de pénétration dans les chaînes de valeur, la diversification des marchés, le degré d'intention de simplification (assemblages (kits), partage des informations) et le degré d'innovation vis-à-vis de nouvelles plates-formes d'accès à l'information.

L'évolution technologique et industrielle stimule l'accessibilité de l'information technique et celle-ci s'exprime de différentes façons. La simplification et l'intégration cohérentes d'un outil avec d'autres applications logicielles ou matérielles au sein d'un système de conception contribuent à augmenter son utilisation dans la chaîne d'approvisionnement industriel. Cette plus grande accessibilité de technologies logicielles est très profitable sur le plan de l'innovation, car non seulement elle permet un pluralisme d'idées, mais favorise aussi une plus grande interactivité entre les participants dans la chaîne d'approvisionnement. Ce que nous observons dans l'environnement à l'étude est compatible avec Von Hippel (2005) quant à la démocratisation de l'innovation car l'accessibilité des outils démocratise l'innovation.

Nous souhaitons préciser ici que la règle de l'accessibilité de l'information technique n'engage pas au sens strict les firmes vers une simplification des outils ou l'échange de données techniques d'un outil vers tous les autres outils possibles. Certes, la simplification offre un potentiel, mais ce qui nous apparaît essentiel ici est la capacité des outils à rendre accessible au plus grand nombre possible d'intervenants, une information hautement technique sous un format qu'ils peuvent apprécier, comprendre et auquel ils peuvent contribuer dans un réseau de tâches et de valeur. De plus, ce n'est pas

parce la règle n'est pas appliquée par une firme dans une certaine situation qu'elle n'existe pas sur le plan de l'innovation.

Par exemple, la firme Dassault a une solution sophistiquée (CATIA V5) destinée aux utilisateurs requérant des capacités étendues et une solution plus accessible (SolidWorks), destinée à un marché plus large d'utilisateurs. Alors que typiquement le nombre de licences vendues pour un logiciel scientifique peut se compter en centaine ou en quelques milliers d'unités, mentionnons que plus de 385 000 licences de SolidWorks ont été livrées depuis 1995. Une telle offre contribue à favoriser la pénétration de l'utilisation d'un outil dans les réseaux de tâches. Selon Dassault, nous assistons à une démocratisation imminente et massive de la 3D dans l'entreprise c'est-à-dire une plus grande pénétration dans les processus ainsi que dans la chaîne d'approvisionnement. Des programmes ont été spécifiquement développés en lien avec cette règle comme « *Easy Modeling* », « *Next Generation User Experience* », « *Realistic Simulation* », « *Knowledge-Empowerment Environment* », « *On-demand and Distributed Computing* » et « *True Collaboration Next Practices* ». De telles initiatives ont pour effet d'augmenter le degré d'accessibilité des outils.

Autodesk adopte également des stratégies répondant à cette règle de gouvernance de l'innovation. À partir d'une base de capacité générique d'AutoCAD, déjà plus « accessible » que CATIA V5, Autodesk développe des outils spécifiques destinés à des marchés verticaux comme le divertissement, la construction, etc. En développant des outils plus conviviaux, lesquels génèrent des données pouvant être partagées par un plus grand nombre de participants dans la chaîne de valeur, Autodesk contribue ainsi à augmenter l'« accessibilité de l'information technique ». Autodesk veut être le leader à ce chapitre et vise ouvertement une simplification du processus de conception de manière à permettre à ses clients d'accélérer la commercialisation de leurs produits. Elle mise sur un

leadership de volume basé sur sa capacité à rendre disponible des technologies avancées pour un large marché. Cette stratégie correspond si bien à cette règle de gouvernance de l'innovation qu'elle se traduit par une pénétration sans équivoque du produit Autodesk Inventor, celui-ci étant selon Autodesk le logiciel d'aide à la conception le plus vendu au monde avec plus de 500 000 licences vendues à ce jour. Pour suivre cette règle, Autodesk a développé une grande communauté comprenant 6 millions d'usagers, plus de 1700 partenaires revendeurs, 2500 développeurs et enfin, plus de 1100 centres de formation accrédités. En 2006, Autodesk a de plus élargi son alliance avec Microsoft concernant le format DWf (Design Web Format) dont le but est d'adapter les applications de manière à ce que les clients, tant de Microsoft que d'Autodesk, puissent intégrer et échanger des informations de conception. À terme, ceci favorisera une plus grande accessibilité des outils de conception dans l'environnement Windows.

Une autre illustration de l'application de cette règle est la création par Cadence de « kits » de développement pouvant être utilisés plus facilement par un plus grand nombre d'usagers pour la conception d'applications microélectroniques spécifiques. L'accessibilité de l'information technique se manifeste d'une façon différente dans le cas de la firme ARTVPS basée à Cambridge en Angleterre. L'artefact virtuel développé à l'aide d'un outil d'aide à la conception est typiquement une maquette numérique et cette représentation 3D du produit en cours de conception est éloquente pour les spécialistes, mais l'est toutefois moins pour des non-spécialistes comme des responsables marketing, des financiers ou encore, des clients grands publics. Pour les intervenants en aval dans la chaîne de valeur, la maquette numérique demeure une unité d'information technique qui ne dévoile pas aisément les qualités et les attraits ou encore les enjeux associés à la mise en marché d'un produit. Grâce à un système intégré de caméra 360 degrés, de microprocesseurs rapides et d'interfaces logicielles évoluées développés, la firme ARTVPS produit des photographies virtuelles dans des espaces

physiques réels à partir d'une maquette numérique. En offrant aux fabricants d'automobile par exemple la capacité de générer très tôt dans le processus de conception des photographies virtuelles d'un nouveau modèle de voiture dans un contexte réel, ARTVPS contribue à rendre l'information technique accessible pour les équipes de marketing ainsi que pour le client final.

Cette règle de gouvernance de l'innovation s'exprime également dans le domaine des sciences de la vie comme en témoigne le cas de la firme Accelrys qui travaille à étendre l'utilisation de ses solutions à d'autres scientifiques et ingénieurs en leur offrant des options plus conviviales et moins sophistiquées. La firme SAP déploie aussi des stratégies visant l'accessibilité de l'information technique car elle veut élargir la base d'usagers de ses solutions. Elle travaille spécifiquement sur cet aspect avec Microsoft dans un projet nommé Mendocino dont le but est rendre plus accessibles les données regroupées dans les solutions SAP.

En résumé, sciemment ou non, les firmes suivent à des degrés variables des règles de gouvernance de l'innovation qui déterminent les séquences de décisions, les systèmes stratégiques, les capacités et les compétences requises pour concurrencer. En comprenant et maîtrisant les dimensions propres à chacune de ces règles les firmes influencent et gouvernent l'innovation. Ces règles de gouvernance de l'innovation constituent des options de concurrence, qui intégrées dans leurs systèmes stratégiques, ont pour effet de cristalliser le modèle d'affaires et définir le rôle de la firme au sein d'un réseau de valeur.

4.2 Indices d'intensité

L'analyse effectuée nous a amené à développer des indices d'intensité faisant ressortir des différences et des similitudes entre les firmes de notre échantillon. Pour la présence d'une évidence illustrant un concept dans les données, on attribue une valeur de 1. En l'absence d'évidence d'un concept,

on attribue la valeur 0. La présence d'évidences associées aux concepts des trois (3) construits présentés à la section 4.1 permet de produire pour chacune des firmes et selon les divers domaines d'application :

- **Un indice d'intensité des forces de marché dominantes.** Cet indice représente l'intensité de perception, de compréhension et d'attention portée par les firmes, envers les forces de marché dominantes dans leur contexte concurrentiel. Une firme avec un indice total de 1 montre une intensité minimale de perception (une seule force de marché dominante perçue). Un indice de 6 montre une intensité maximale de perception, de compréhension et d'attention de la firme des forces de marché dominantes présentes.
- **Un indice d'intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes.** Cet indice (maximum=5) caractérise l'envergure de déploiement des systèmes stratégiques par la firme. Un indice de 1 illustre le cas d'une firme recourant à un seul système stratégique. Un indice maximum de 5 témoigne d'une diversité maximale d'engagement et par conséquent, d'une intensité maximale de déploiement des systèmes stratégiques par une firme.
- **Un indice d'intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation.** Cet indice (maximum=4) montre l'intensité d'utilisation par une firme des règles de gouvernance de l'innovation en jeu dans le secteur à l'étude. Un indice d'intensité minimum de 1 illustre le cas d'une firme qui n'utilise qu'une seule règle de gouvernance de l'innovation alors qu'un indice de 4 montre une utilisation maximale par une firme des règles.

Les tableaux de présentation des mesures d'évidences et des indices d'intensité pour chacune des firmes sont présentés en détail au chapitre 5.

4.3 Typologie émergente

Les études de cas réalisées nous montrent que les modèles d'affaires des firmes ainsi que leur rôle dans l'écosystème, reflètent une cohérence entre les indices d'intensité mesurés des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ainsi, la séquence de décisions et d'actions stratégiques déployées par une firme dans le temps contribue à forger et configurer son modèle d'affaires, son rôle et continuellement affermir sa position dans l'écosystème de travail.

En compilant les indices d'intensité, nous obtenons un total qui représente la synthèse des concepts déterminants pour chacune des firmes. Le tableau 4.5 présente cette compilation. La compilation des indices d'intensité nous permet de calculer pour chacune des firmes, un *indice d'intensité d'intégration et de structuration*. Cet indice représente la synthèse de la perception cognitive et des actions mises en œuvre par une firme, ainsi que leur persistance dans le temps.

En reflétant l'indice d'intensité d'intégration et de structuration avec l'ensemble des données recueillies pour chacune des firmes, nous sommes en mesure de distinguer deux types dans notre échantillon :

- i) les architectes intégrateurs, et;
- ii) les spécialistes.

Les données disponibles et notre analyse nous conduisent à établir la frontière entre les deux types à la valeur 10, tel que donné au tableau 4.6. Ces groupes réunissent des firmes qui globalement adoptent le même rôle et ont des caractéristiques similaires tout en montrant des différences significatives avec celles de l'autre groupe.

Tableau 4.5 : Compilation des indices d'intensité des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées, pour chacune des firmes

Firme	Indice d'intensité de perception des forces de marché dominantes (max=6)	Indice d'intensité des systèmes stratégiques déployés (max=5)	Indice d'intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation (max=4)	Total : Indice d'intégration et de structuration (max=15)	Rôle ¹
Accelrys	6	5	4	15	1
Autodesk	6	5	4	15	1
Cadence	6	5	4	15	1
Dassault	6	5	4	15	1
UGS	6	5	4	15	1
SAP	6	5	3	14	1
MSC Software	5	5	3	13	1
Agile	5	3	3	11	1
Phoenix	4	5	2	11	1
Softmems	5	4	2	11	1
Telelogic	2	5	4	11	1
CD-Adapco	4	2	3	9	2
ESI	3	4	2	9	2
IntelliSense	4	3	2	9	2
Silex	4	3	2	9	2
Flowmaster	3	3	2	8	2
Impactsoft	3	3	2	8	2
ARTVPS	3	1	3	7	2
Imagine	3	3	1	7	2
LMS	3	2	2	7	2
Lurgi	4	2	1	7	2
NanoTitan	2	2	3	7	2
Polyplan	3	3	1	7	2
Prevas	1	4	2	7	2
Seemage	3	2	2	7	2
Atomistix	3	2	1	6	2
Barco	3	1	2	6	2
Bricsnet	2	3	1	6	2
Elan	4	1	1	6	2
Nanostellar	3	2	1	6	2
SmartOrg	2	3	1	6	2
Invitrogen	2	1	2	5	2
Cambridge Consultants	2	1	1	4	2
Flow Science	2	1	1	4	2
Dynasim	1	1	1	3	2

Note : 1 : architecte intégrateur; 2 : spécialiste.

Tableau 4.6 : Typologie émergente des rôles des développeurs d'outils en fonction de leur indice d'intensité d'intégration et de structuration

Rôle	Indice d'intensité d'intégration et de structuration
<p>Architecte intégrateur</p> <p>Firme engagée à développer des plates-formes pour architecturer la chaîne de création d'outils et structurer le système de conception des fabricants</p> <p>Ex. : Dassault, UGS, Accelrys, Cadence, Telelogic</p>	Supérieur à 10
<p>Spécialiste</p> <p>Firme qui développe des outils et modules spécialisés, uniques et différenciés au plan scientifique</p> <p>Ex. : Flowmaster, Imagine, ESI, LMS, Cambridge Consultants, Prevas</p>	Inférieur à 10

Les stratégies et caractéristiques dominantes associées à chacun de ces types sont discutées en détail au chapitre 6 en lien avec les modèles d'affaires et les rôles des firmes dans l'écosystème d'innovation des clients desservis.

Cette typologie émergente est intéressante mais ne constitue en soi qu'une classification. Or, l'analyse des données révèle que le système de conception de produit est au cœur de la logique d'innovation des développeurs d'outils. Dans un système de conception de produit, on s'approvisionne en connaissances, méthodologies, techniques et autres capacités spécifiques requises pour les tâches à accomplir, soit créer un

produit dans un domaine d'application spécifique. Les outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement soutiennent d'une façon distinctive les processus de conception des diverses applications industrielles. Ils formalisent des savoirs spécifiques aux domaines d'application et s'intègrent dans des espaces complexes de conception de produits.

Toutes les firmes qui développent des artefacts, y compris les développeurs d'outils, ont des processus spécifiques de développement correspondant aux types d'application qu'elles créent. La figure 4.2 présentée ci-après montre les éléments génériques dominants d'un processus de conception de produit.

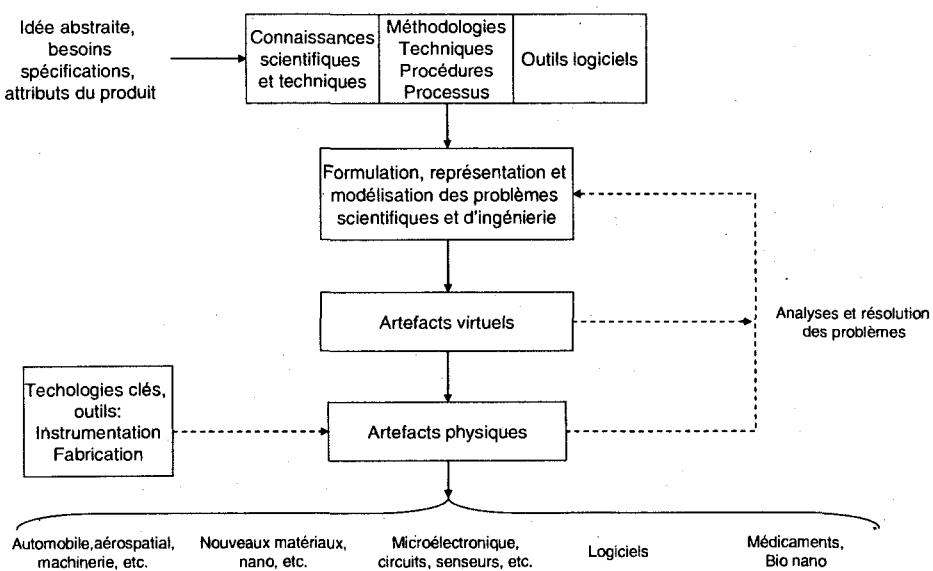


Figure 4.2: Éléments génériques dominants d'un processus de conception de produit

Cependant, il apparaît que la conception de produit est un processus organisationnel et systémique, mais différencié. Une des différences importantes révélées par l'analyse des cas de développeurs desservant des domaines d'application industrielles différents, est donc que pour chaque

domaine d'applications appartient une chaîne de développement d'outils, un système de conception, un réseau de partenaires spécifiques enfin, une organisation de l'innovation. Pour chacun des domaines couverts dans la présente recherche, correspond des particularités qui leur sont propres (approches de découverte et d'exploration, nature des connaissances et savoirs requis, processus d'affaires, etc.).

La spécificité associée aux domaines d'applications établie une différence fondamentale entre les firmes de notre échantillon et nous amène à examiner plus à fond au chapitre 5, pourquoi et comment elle influence les développeurs d'outils.

CHAPITRE 5

HÉTÉROGÉNÉITÉ DES ESPACES DE CONCEPTION DE PRODUIT

5.1 Spécificité de l'innovation

Pour créer de la valeur pour les clients, les développeurs d'outils se modèlent aux particularités du système de conception de produits visé. Les outils développés pour assister la conception automobile répondent à des impératifs différents de ceux développés pour l'ingénierie de composants microélectroniques. Les connaissances accumulées requises, les réseaux, les processus ainsi que les intervenants sont différents. L'outil doit satisfaire aux exigences du domaine spécifique ciblé et à ce titre, il doit rencontrer les critères et dimensions de qualité propres à la chaîne de valeur visée. Comme il s'agit de logiciels spécialisés, ces derniers sont développés en fonction de ces exigences de spécialisation. Les firmes sont donc amenées à développer des stratégies pour émuler le domaine pour lequel leurs logiciels sont développés. Il est crucial pour elles de comprendre la logique de création de valeur des domaines d'application dont leurs outils se destinent à soutenir le développement. Par conséquent, les enjeux d'innovation auxquels font face les firmes sont grandement déterminés par le type d'applications industrielles dont leurs outils visent à soutenir la conception. Cela entraîne une différenciation au niveau des firmes dans l'environnement à l'étude.

La conception d'artefacts distincts nécessite ainsi des connaissances, compétences et des processus différents et incidemment, des outils d'aide à la conception qui fournissent des capacités différentes. De façon générale, les firmes font face à des enjeux génériques (ingénierie logicielle, risques d'affaires, etc.) et des enjeux de différenciation (connaissances, expériences, etc.) spécifiques aux marchés visés.

De plus, il y a des classes différentes de problèmes à résoudre lors de la conception d'un outil en tant que tel. Des individus travaillent sur des classes de problèmes relatives au logiciel (architecture, codes, tests, etc.) alors que d'autres spécialistes se concentrent sur les problèmes relatifs au domaine d'applications industrielles spécifiques visées.

Les exigences propres aux domaines d'application visés entraînent une spécificité des firmes envers ceux-ci et c'est la raison pour laquelle les développeurs d'outils sont d'abord spécialisés dans des domaines spécifiques. Prenons l'exemple de Dassault qui depuis 25 ans a desservi les secteurs du militaire, de l'automobile et de l'aérospatial; en 2004, ces secteurs correspondaient toujours à plus de 80% des revenus de la firme. L'accumulation et l'acquisition de connaissances propres à d'autres domaines, par voie d'acquisition ou développement interne, rendent avec le temps les firmes aptes à développer des outils ciblant d'autres domaines, mais peu réussissent avec succès cette évolution. La majorité demeure spécialisée dans certaines fonctions ou tâches d'ingénierie ou dans des domaines d'application spécifiques.

Compte tenu des exigences spécifiques, le développement d'outils se fait en premier lieu en synergie avec une logique correspondante aux domaines d'applications visés par les développeurs. En second lieu, il se réalise au sein d'un espace de conception alimenté par des ressources développées par de nombreux intervenants spécialisés dont d'autres développeurs d'outils. Ainsi, l'espace de développement des outils constitue une chaîne de création, laquelle se modèle aux impératifs du domaine d'applications visé et les réseaux d'innovation établis se reflètent dans les offres d'outils et les systèmes de conception clients résultants. Dans un tel contexte, de la façon dont des firmes utilisent l'ingénierie logicielle, celle-ci devient un réel levier de création et capture de valeur. Il y a par conséquent des interrelations étroites entre la chaîne de création d'outils d'aide à la conception et le système de

conception spécifique à un domaine d'application. Ainsi, nos résultats nous amènent à considérer deux (2) espaces de conception intimement liés. Afin de les distinguer, nous désignons l'espace de conception d'outils logiciels comme une « chaîne de création d'outils » alors que l'espace de conception d'applications spécifiques dans un domaine est traitée comme le « système de conception client ».

5.2 Sous-ensembles de développeurs associés à des domaines d'application

L'analyse de l'environnement à l'étude et les entrevues réalisées nous révèlent que la spécificité crée des sous-ensembles de firmes associées à des chaînes de création d'outils destinés à des domaines d'application industrielle. Afin de bien illustrer comment la spécificité et l'hétérogénéité s'expriment, nous présentons dans les sections suivantes les particularités propres au contexte de quatre (4) domaines d'application. Nous illustrerons les différences ainsi que les similitudes entre les firmes de l'échantillon, en discutant des enjeux relatifs aux chaînes de création d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement destinés aux systèmes de conception client dans les domaines d'applications suivants :

- Applications variées en mécanique, automobile et aérospatiale;
- Applications en microélectronique;
- Application de type MEMS et nano technologique;
- Applications en sciences de la vie.

Il est à noter que nous avons analysé les données de cinq (5) firmes dont les principaux domaines desservis ne sont pas l'un de ceux mentionnés ci-avant. Ces firmes, desservant divers domaines d'application (pétrochimie, gestion d'actifs immobiliers, hydrologie, militaire et logiciel), sont présentées et discutées à la suite des domaines d'application mentionnés ci-haut. Ces cas

rendent également compte de la spécificité à l'égard des domaines d'application concernés.

La présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour divers domaines d'application et l'illustration de différences et similitudes entre des firmes, sont données au tableau 5.1 présenté ci-après.

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Forces de marché : Interdépendance des firmes	More specifically, CAE tools need to be better linked to geometry modeling environment. CAE embedded tools in CAD or PLM systems are in demand. It is obvious. In fact all tools CAD, CAM, PDM, CIM which were more or less isolated tools before, become more consolidated in a PLM perspective. At least, that is where customers wish to go. CD-Adapco	We must collaborate with all the ecosystem members (manufacturers, mask shops, engineers), implement alliances, programs, support developers, integrate resources, etc. Our aspiration is to solve our customer's-customer's-customer's problems. Cadence	For developing MEMS applications, a significantly different effort must be put on design and experimentation phases. You're in an emerging market requiring new tools and flexibility. SoftMEMS' software can link to mechanical design and automation tools from other firms like Dassault and MSC Software. Our solutions enable engineers to create MEMS chips that integrate with electronic circuits created with EDA tools. Softmems	Pharma is doing modelling in complement to lab experiments. Others applications are used by other groups down the process. Accelys	As engineers, we interact with different professional associations and authorities. At the state level and at the federal level. Depending on the projects, we can interact with the Corps of Engineers, state agencies, district authorities, utility owners, etc. Flowscience

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Système de conception	Our solutions provide integration of the data and processes in the value chain among all of the contributors and stakeholders throughout the lifecycle of the product. UGS	We pursue alignment of specific needs and classes of problems and specific processes in related markets with the development of a suite of tools that answers the needs throughout the life cycle. We have also to build an appropriate business model. Agile	Each MEMS application has its own custom development, so it's a non-scalable effort, which makes it a challenge for customers to reuse what they've done. The initial cost of development is high and the second implementation is not that much cheaper. Softmems	Pharmaceutical, food and cosmetics markets are innovative markets but at the same time very conservative. They need traceability solutions to ensure compliance with authorities and good manufacturing practices. In that respect, there is a lot of documentation and tracking to ensure during design, formulation and manufacturing stages. Our job is to help customers manage the complete life cycle of a drug or a food product. Elan	Customers are still seeing value in experiments and scale-up practices. This is what we do. We build pilot plants, develop and amplify processes and technologies, test them, etc. Lurgi

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Paradigme d'innovation	ImpactXoft introduced a paradigm change in the design of mechanical product. Although it is a better way to work, obstacles and resistance from engineers and market to change the practices finally forced ImpactXoft to find ways to really make money. You know, design practices and routines are well rooted in companies. We were not able to change these resistances alone. ImpactXoft	Modularity of software is a major task. It needs a module design strategy. Overall, there are difficulties to make all those tools interact, also with 3rd parties. With the acquisitions, it is a constant and big challenge. From more or less independent applications our system now evolves as a platform architecture but it is not there yet. Agile	We believe that MEMS and nanotechnology will have dramatic impact on our society. Mass production chips and electronics are well established but MEMS market potential creates the need for new design tools. The rising interest to develop biomedical and life science applications combining physical, chemical and biological phenomenon triggered development of sciences, methodologies and tools. IntelliSense	You know, because of the barriers and obstacles in the information and knowledge flows, teams involved in drug development process needs scientific integration. The goal is to increase the productivity of research processes, identify dead end, discriminate options, select early potential candidates, etc. Accelys	During meetings with lead customers in 1998-1999, we realized that there were increasing pressures to improve software engineering practices and reduce the number of vendors. A more reliable software design environment was required. They needed tools to better manage their software portfolio and development projects. Customers obviously needed leadership in that direction. They required better integration and visibility of processes in software engineering. Telologic

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Spécificité des connaissances	<p>Car manufacturers have huge amount of 3D data. From a 3D model created in CAD, we produce realistic virtual photos. We interface per example with Maya and Autocad. They spend a fortune in brochures, advertising, because styling is important in this business. ARTVPS</p>	<p>The market is segmented by customer's applications. We have horizontal platform technologies on which we develop specific tools for distinct design tasks and application domains.</p> <p>Among is the application of EDA technologies to overcome design hurdles in the wired networking, wireless and personnel entertainment sectors.</p> <p>Cadence</p>	<p>For us, nanotechnology is concerning the design, characterization, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at the nano scale. We need more effort in controlling the science involved and in the engineering of such products. If you talk about nano engineering per say, it is not very well established.</p> <p>Nano Iran</p>	<p>Generally speaking, in bioscience it goes very fast. The advances a firm don't last very long if ideas are not protected. The science turnover is about 3 years. However, combination of solutions is what major players are looking for which means the use of bioinformatics, tools and lab kits and reliable execution techniques for trials. That is what they are looking at. Lots of efforts are targeted to improvement in these respective domains.</p> <p>Invitrogen</p>	<p>It varies by markets. In medical, we develop medical archiving systems, special visualization screens and devices for X-ray and control rooms. In the media sector, we develop different applications used in events, digital cinema environments, and we design broadcasting and media control panels, board presentation equipments, etc. For military, avionics and industrial markets, we develop defence control, traffic control panels and screens, 3D projection, immersion cage systems used for example in mine drilling, maintenance, training, etc. Barco</p>

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Concurrence et risques	PTC, UGS, Autodesk sont les trois dans l'ordre les trois concurrents sérieux du marché PLM. SAP n'a pas la connaissance de base concernant l'environnement manufacturier des clients et les applications (ex.: conception automobile, etc.). Dassault	The growth of the wireless sector got a lot of our attention. Cambridge Consultants	Per example, parametric design for MEMS and micro optics has seen different design generations if you will during the last 20 years. The main evolution concerned the increased complexity of designing such systems. Much more components and more complex configurations are considered and of course, miniaturization is driving everything. Phoenix	Traditionally, pharmaceutical companies were developing chemically based drugs. Now, it is changing slowly to biologically based drugs with the help of the genome. It created a discontinuity in the approaches and techniques. The pressure to reduce the time and cost of the clinical trials is very strong. Everybody is re-thinking the discovery process and the industry is maturing, there are less start ups. Invitrogen	We see an increase regarding environmental pressures and involvement of regulators. Companies have no choice now. Except that, no major change except an increased of the use of software tools for computing, modeling, simulation, etc. in design phases. Lurgi

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Exigences spécifiques clients	<p>Basically, customers need good simulation tools to improve product performance. They want improved performance, ensure safety of final users like car drivers, and enhance user comfort like when you fly. They also need better integration of product performance analysis tasks into product development processes. CD-Adapco</p>	<p>The tools allow customers to manage product records and provide visibility of changes and impacts, portfolio management functions, finance capabilities, etc. Agile</p>	<p>To have the possibility to adjust design to custom fabrication services for customers is key. It is important for custom MEMS design that design and process development engineers work closely together. Intellisense</p>	<p>For them, the value is on IP, their ability to manage the development phases and get FDA approval, and also marketing (branding, distribution, etc). The goal for them is then to optimize the manufacturing system while preserving the innovation practices of the company which is relying on highly qualified personnel (scientists, technicians, operators, etc). Elan</p>	<p>Each customer has its specific operation problems and needs. They need business analysis capabilities to operate their buildings. They need better knowledge out of all the data they collect. They want to use this knowledge as a competitive advantage. Bricsnet</p>

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Système stratégique : Structuration de l'écosystème client	<p>Nous créons des espaces collaboratifs de travail, des solutions puissantes, complètes et intégrées offrant des interfaces entre la conception de produit et les procédés</p> <p>offrant des interfaces entre la conception de produit et les procédés</p> <p>la chaîne d'approvisionnement. De cette façon, nous cultivons et supportons l'écosystème d'innovation. Dassault</p>	<p>Agile provides applications that cover 7 categories of business processes. We bring automation in engineering and innovation practices, in the day to day activities. Our first market was and still is Electronics. They are applications supporting business processes intended to accelerate the new product development projects in a PLM context. Agile</p>	<p>We have a partner training and certification program for users of our technologies. The partner program is offered to companies providing solutions in extension to our products, in particular the database products and simulation software. The certification program validates the new product development projects in a PLM context. Agile</p>	<p>We also offer open access to many of our software development environments, within which customers and third-party licensees can develop, integrate and distribute their own software applications for computational chemistry, biology and material research. Accelrys</p>	<p>Our first tool, TAU, was developed in 1984 for a project with a telecom operator. We worked for quite a few years with International telecom Union to establish the Specification description language (SDL). That was our base of expertise. This language was used and still is by equipment manufacturers like Nokia, AT&T. It was the core of our technology. We did an IPO in 1999 and started to make acquisitions and develop specific tools for requirements, configurations, management. Telelogic</p>

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Plates-formes technologiques	With its offer, UGS provide such a platform or space where design, manufacturing and others teams can share data and make real time decisions. In the customers' value chains, they have other partners involved. We have to make sure they are links.	To compete in these industries, we must identify and develop or acquire innovative and cost competitive EDA products, integrate them into platforms and market them in a timely manner. We combine our design technologies into platforms for four major design activities: functional verification, digital IC design, custom IC design and system interconnect.	We innovated with a specific CAD architecture regrouping advanced MEMS libraries. Our solutions can be linked with EDA systems like those of Cadence, mentor, etc. Intellisense	The Discovery Studio software combines updated infrastructure technology and market leading science acquired and developed by us. This platform allows us to deliver molecular modeling and simulation desktop products to new classes of users, through the advantages of client-server computing. Accelrys	We have modelling tools for specialised applications like embedded systems for various domains. This platform of tools is used for design of enterprise complex systems. Teleglogic

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				Autres
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	
Productivité et résolution de problèmes	L'attention est mise sur l'exploitation d'avancées scientifiques dans des domaines spécifiques à nos clients en développant des modules spécialisés supportant la conception d'applications dans des marchés industriels comme l'automobile, les équipementiers, etc. Nous notre créneau c'est la simulation des essais de collision. ESI	Our products are engineered to improve our customers' design productivity and resulting design quality by providing a comprehensive set of EDA design technology. Our tools work at physical and functional level and they cover chip design, system design and manufacturing functions. Cadence kits are designed to allow companies in these sectors to achieve shorter, more predictable chip design cycles and greater design productivity by greatly simplifying the application and integration of EDA technologies and verification IP. Cadence	To address this situation, we developed a rational catalyst design methodology using fundamental knowledge of a catalyst's structure and properties to guide the creation of new products. Nanostellar	We develop products that increase the productivity of research teams and laboratory personnel in their discovery projects. Our business model is based on accumulated knowledge from repetitive experiments. With that knowledge embedded in kits, we help customers to reduce the time of experiments by providing better control on lab conditions and predictability. The kits are assembled, formalized scientific protocols that deliver repeatable and controllable conditions for experiments. Invitrogen	We are a 100% consulting services company. We are specialized in process design and optimization. We have a port folio of processes and many patents in fine chemical and petrochemical markets. We have design knowledge, experience and expertise in and around the processes. Depending on the needs of the customers, we do financial engineering, risk management control, facility management, etc. Lurgi

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Intégration des connaissances	Depuis 2004, Dassault a créé une unité de développement de méthodologies destinées à aider les clients à optimiser l'utilisation des solutions. Le but est de développer les meilleures pratiques, processus et méthodologies de conception et d'ingénierie et de formaliser tous cela dans les applications. Dassault	The decision advisor tool we sell is a powerful business modeling tool that enables customers to design, build and analyze business models of their projects. It helps to see the all elements, knowledge, functions or capabilities involved in a business model associated with a project or product. It triggers management to make sure everything is developed according to the business model. SmartOrg	To address the needs to get access to the relevant knowledge while designing, we integrated to this design environment knowledge database in the form of libraries. We add too what we call the Nano Titan's nCyclopedia which is a searchable encyclopedia, where a user can find information on many nanotechnology-related topics. NanoTitan	For example, we commercialize a solution which ensures integration and tracking of data from weighing centers in plants. The system gives access to all data pertaining to ingredients, codes that and mate link with compliance. Elan	Barco provides for main stream market or specific niches sophisticated, reliable and safe visualization solutions embedding complex technologies, software and knowledge. We do this by assessing the potential of new technologies from providers, evaluate the feasibility to develop a specific product for critical and high demanding applications such as in medical, military, etc. Good examples are LCD screens without missing pixel for medical use. Barco

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Inter opérabilité	Il y a une tendance à vouloir intégrer des modules d'analyse (acoustique, thermodynamique, vibration, structure, comportement structural, etc.) dans l'environnement CAD et les tâches de dessin. Toutefois, il y un besoin d'équilibre entre les plates formes systèmes propriétaires fermés et les outils spécialisés, orientés sur des besoins précis et plus ouverts. ESI	Promoting a clear architecture is key for integration. We evolve from developing closed system to now more open solutions. The architecture is key to favour inter operability and connectivity. We see that as a service-oriented architecture. If you want to compete in this integration game, you must know the space and learn how the elements are all related. Cadence	Now, we need to address connectivity and inter operability issues because it is needed to bridge more rapidly design with manufacturing and more people for different locations are involved. I see that as a key differentiation element between generations of software. Phoenix	We have pioneered open scientific software architecture such as our Cerius, Insight II and Pipeline Pilot software. Many customers have used our published programming interfaces to incorporate and customize new methods into these software packages. Further, the approach allows data from disparate sources such as databases and flat files to be processed together without first creating and loading a single unifying data management system.	Our solutions provide communication with these systems; they can get data from them, compile it and provide metric analysis for management decisions about procurement or building maintenance. Our solutions are inter operable. Bricsnet

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Règle de gouvernance de l'innovation :				<p>To address the needs to get access to the relevant knowledge while designing, we integrated to this design environment knowledge database in the form of libraries. NanoTitan</p>	<p>Our solution must fit in the mindset of the customers. It must simplify their operations. We engineer this simplification by hiding complexity. Bricsnet</p>
Accessibilité de l'information technique			<p>During 2005, we introduced Cadence Kits to make our products and capabilities easier for customers to adopt and use. Kits reduce customer's time-to-productivity by combining our solutions with reference designs and methodologies to efficiently address typical design challenges encountered in specific applications. Cadence</p>	<p>In addition, we are broadening our user base by enabling straightforward access to these methods by a much larger population of scientists and engineers who do not currently use modeling and simulation software. This also helps expert modellers to connect and communicate more effectively with other research organizations. Accelrys</p>	

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Formalisation des processus	Through the creation of a collaborative environment, a broad range of persons involved in a products lifecycle can share, manage and archive complete data about the product and its production use and maintenance on an integrated information platform. Dassault	We have a formal structured meeting plan with customers, face to face discussions, etc. We do contract design. This is how we get deeply involved with customers and accumulate relevant knowledge to a field of application like in wireless. Cambridge Consultants	They need us to bridge R&D and new product design with mass manufacturing. We address the difficulties to develop MEMS products by providing expertise in R&D, design and fabrication. We provide ramp up capabilities and tailored manufacturing. To do that, we need to adapt methods and practices for each type of application. Silex	Our job is to help customers in pharma and cosmetic markets to build and manage reliable and safe manufacturing chain and manage the flow of information from the manufacturing floor, in order to validate, control and manage the complete life cycle of a drug or a food product. Elan	Although software tools are more used, customers are still seeing value in experiments and scale-up practices. This is what we do. We build pilot plants, develop and amplify processes and technologies, test them, etc. This represents a key element of our know how and added value. Lurgi

Tableau 5.1 : Présentation des concepts émergents en fonction de différentes chaînes de création d'outils pour des domaines d'application et illustration de différences et similitudes entre des firmes (suite et fin)

Concept	Chaîne de création d'outils pour divers domaines d'application				
	Automobile, aérospatiale et équipements industriels	Micro électronique	MEMS et nano technologie	Science de la vie	Autres
Intégration et architecture au plan matériel et logiciel	Using advanced and breakthrough modeling technologies, including highly sophisticated 3D visualization and Internet technology, our products allow engineers, manufacturing teams, financial planners and other participants to simulate product behaviour and manufacturing operations through virtual prototypes rather than actual mock-ups, thereby saving significant time and resources, while increasing innovation and quality.	We are trying to create a link between CAD tools and ERP environment to improve the information flows to assist optimization performance out of engineering decisions. Agile	With our database we provide a flexible and easy-to-use software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back. The platform consists of several modules, tailored to the customer's development environment. Phoenix	Acceleys provides integration of scientific knowledge through application software to assist R&D people, scientists in and pharma sector in their drug, new material and new device development process. The goal of Acceleys is then to provide platforms allowing integration of applications and leading the way as being the IaCto standard. Acceleys	Barco provides sophisticated, reliable and safe solutions embedding complex technologies and knowledge. Barco
Virtualité et immersion	LMS provide simulation and physical testing capacity to support product design and engineering in automobile, aerospace and industrial equipment manufacturers sectors. LMS	Our tool project Navigator brings transparency to evaluating, forecasting and managing the business value of new products, R&D projects, capital investment and other business opportunities. It links business metrics to a project. SmartOrg	In this field, atomic-scale modeling is indispensable when it comes to simulating properties and behavior and analyzing atomic-scale performance of nano scale devices. Atomistix	Combination of solutions is what major players are looking for which means the use of bioinformatics, tools and lab kits and reliable execution techniques for trials. Invitrogen	We add to our generic knowledge and tools, modules and specialised libraries suited to assist software design in application domains like in aerospace, telecom etc. Telegic

5.2.1 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications variées en mécanique, automobile et aérospatiale

La création des premiers outils d'aide à la conception durant la décennie des années 1980 a été stimulée pour soutenir le développement d'application dans les secteurs du militaire, de l'automobile, de l'aérospatiale et des équipements mécaniques industriels. Ces secteurs ont vraiment été des pionniers quant à l'utilisation des outils d'aide à la conception. Les premiers outils répondaient aux besoins des fabricants d'améliorer leur processus de conception et d'ingénierie de manière à le rendre plus en phase avec les nouvelles conditions de concurrence auxquels ils faisaient face.

L'adoption rapide de ces outils par les secteurs sus mentionnés, a contribué au fil du temps non seulement à établir une nouvelle base de connaissances et de pratiques au sein de communautés d'utilisateurs, mais aussi, à transformer graduellement l'organisation industrielle des chaînes d'approvisionnement de ces secteurs. La capacité des entreprises à diviser et distribuer géographiquement grâce aux outils les tâches de conception, d'ingénierie et de fabrication a concrétisé l'ingénierie simultanée et ouvert la porte à l'implantation de chaînes d'approvisionnement d'envergure mondiale.

La figure 5.1 présentée ci-après donne une représentation schématique du processus de conception d'applications variées en mécanique, automobile et aérospatiale.

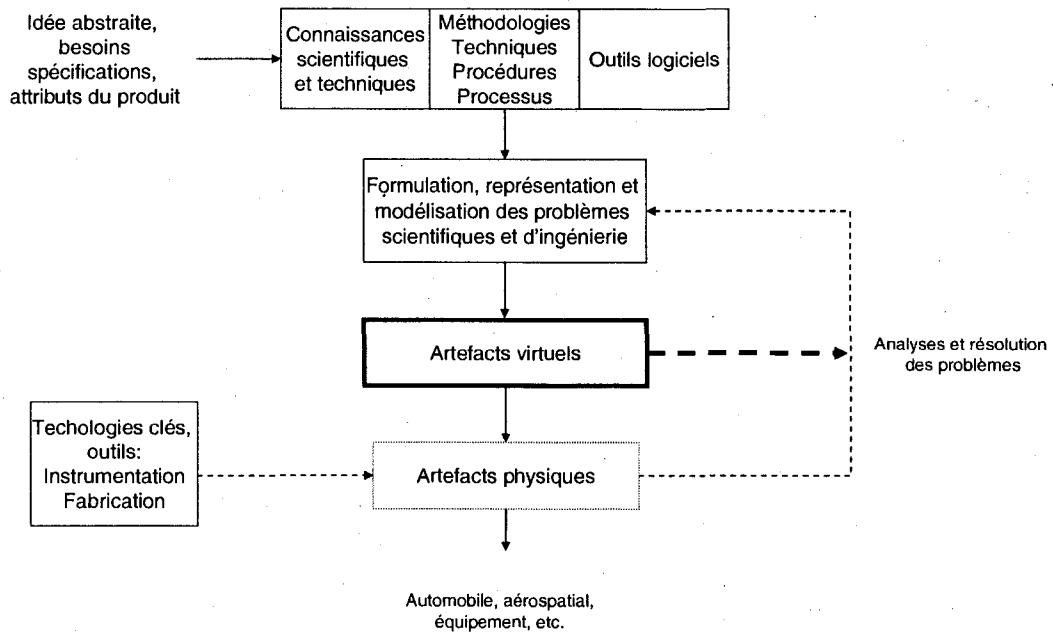


Figure 5.1 : Processus de conception d'applications variées en mécanique, automobile et aérospatiale

Aujourd’hui, les chaînes d’approvisionnement des entreprises de ces secteurs sont le reflet d’entreprises étendues, caractérisées par des frontières organisationnelles flexibles et en lien continu avec un réseau de partenaires, un – écosystème – industriel mondial. Des fabricants comme United Technologies, Siemens Power Train, Black & Decker et Volkswagen, opèrent selon des modèles d’entreprise étendue avec des partenaires de développement localisés partout sur le globe. Ces clients exigent une grande connectivité des processus entre des disciplines variées, préconisent l’ingénierie simultanée et les interrelations des processus d’affaires en interne comme avec leurs partenaires. Pour maintenir ces chaînes d’approvisionnement à un niveau d’efficience élevé, les fabricants requièrent donc des systèmes et outils spécifiques et inter opérables qui peuvent s’exécuter sur plusieurs types de plates formes. Pour certains fabricants comme Daimler Chrysler AG, l’engagement des développeurs envers des architectures logicielles inter opérables et des standards industriels est un pré requis pour être retenu comme fournisseur (Katzenbach, 2005).

L'utilisation d'outils d'aide à la conception et à l'ingénierie est aujourd'hui très largement répandue au sein des secteurs du militaire, de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements mécaniques industriels. Nous observons dans ces secteurs une grande maturité technologique au niveau des outils tant et si bien que les manufacturiers fabriquent presque entièrement leurs produits à partir de données issues d'artefacts virtuels. À titre d'exemple, la compagnie GM possède 19 centres de recherche et développement localisés à différents endroits dans le monde. Avec l'intégration d'autres fabricants et sous-traitants, elle doit gérer des interactions complexes au sein d'un réseau composé d'innombrables partenaires. Comme une des stratégies de l'entreprise est de développer des plates formes de véhicule qui pourront être partagées par plusieurs de ses divisions, elle souhaite donc favoriser la réutilisation et le partage des données de conception. Par conséquent, le développement de produit chez GM requiert une intégration poussée des solutions dans l'architecture technologique du réseau en place et un plan précis au niveau de l'utilisation des systèmes et outils d'aide à la conception. Au plan pratique, ceci représente pour GM en 2005 l'intégration de plus de 15 000 utilisateurs CAD et 30 000 utilisateurs PLM répartis sur cinq (5) continents et la synchronisation de plus de 10 000 fichiers de conception par jour (Jurgens, 2005).

Tel que mentionné précédemment, la conception d'une automobile fait intervenir des savoirs particuliers aux divers systèmes la composant. Les ingénieurs responsables de la conception d'un système d'injection ont des besoins distincts de ceux impliqués dans la conception des éléments structuraux du véhicule. Des concepteurs de turbine de moteur d'avion ont également des besoins distincts de ceux effectuant la conception d'un outillage industriel ou d'un appareil d'éclairage. De plus, les processus impliqués dans la conception diffèrent selon l'application visée. Ainsi, la grande diversité des connaissances requises entraîne une spécialisation des

outils, car ils reposent sur des connaissances distinctes pour la réalisation de tâches de conception reliées à des applications spécifiques.

Les résultats de l'analyse des cas des firmes spécialisées dans la chaîne de création d'outils d'aide à la conception pour ces domaines d'application sont présentés aux tableaux 5.2a, 5.2b et 5.2c ci-après.

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
ARTVPS	<p><i>Spécificité des connaissances :</i> Car manufacturers have huge amount of 3D data. From a 3D model created in CAD, we produce realistic virtual photos. We interface per example with Maya and Autocad. They spend a fortune in brochures, advertising, because styling is important in this business.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> We do also a lot of presentations in advertising firms. At first, existing advertising firms see us as competitors. It is a though sell because it changes their practices.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> With our solution, virtual photos of a non existing model are feasible. We can create variation as required. Customers can test the potential of a new model.</p>	1
Autodesk	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> During a development process, Autodesk is buying a lot of technologies and sometimes companies. Sometimes more development is done by acquisitions than internally. Our partnering strategy creates a dependency on such independent developers.</p> <p><i>Système de conception :</i> Autodesk provides the Web portal Vault that is used as a design space for users. The key is how to keep track of info throughout the life cycle of a product, infrastructure, etc. An another example is the Buzzza solution. Its a data base for storing design data, request for change, etc. in building and infrastructure projects.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> You know there are different approaches regarding PLM concept per example and the software integration required to make it happen. All need integration. Some groups like SAP, Microsoft, Oracle take a top-down approach while others like us and Adobe take bottom-up one. For each, there are software engineering issues. One of them is standards. There are standards like STEP in manufacturing and IFC in building but the industry efforts are insufficient.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> Specific problems require integrative approach and bundling of solutions. There are different divisions because different opportunities exist and require specific approaches and knowledge.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> The risks associated with acquisitions include the difficulty of assimilating the products, operations and personnel of the companies and the failure to realized anticipated revenue and cost projections. The competition varies according to market. Adobe, Microsoft, Oracle, Bentley and others. But nobody is as large as us in different markets.</p>	3

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
CD-Adapco	<p>Exigences spécifiques clients : The triggers for innovation come mainly from customers and partners. They want improvement in their innovation process. So we need to understand their development process and fields of application. I think that in the future, success will come less from pure science but more from a good knowledge of the customer development process.</p> <p>Interdépendance des firmes : More specifically, CAE tools need to be better linked to geometry modeling environment. CAE embedded tools in CAD or PLM systems are in demand. It is obvious. In fact all tools CAD, CAM, PDM, CIM which were more or less isolated tools before, become more consolidated in a PLM perspective. At least, that is where customers wish to go.</p> <p>Spécificité des connaissances : In general, customers want practical solutions on complex engineering problems. They need advanced and specialized analysis capacities to simulate behaviour and performance of shapes, systems, pipes, etc.</p> <p>Concurrence et risques : There is always a pressure on us to really show the benefits of our specialized tools and to make them more integrated in the practices and processes. I should say that industry consolidation and software category consolidation is something that has been increasing. All these acquisitions have changed the competitive landscape.</p> <p>Exigences spécifiques clients : Basically, customers need good simulation tools to improve product performance. They want improved product performance, ensure safety of final users like car drivers, and enhance user comfort like when you fly. They also need better integration of product performance analysis tasks into product development processes.</p>	<p>Total 6</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>
Dassault	<p>Interdépendance des firmes : Nous apportons l'amélioration de la collaboration entre les partenaires des clients. Cette amélioration entraîne une augmentation de leurs revenus en améliorant l'efficience de leur processus de développement de produit et d'innovation.</p> <p>Système de conception : Through the creation of a collaborative environment, a broad range of persons involved in a product's lifecycle can share, manage and archive complete data about the product and its production use and maintenance on an integrated information platform.</p> <p>Paradigme d'innovation : Nous développons des connaissances avancées et des solutions pour la conception et l'ingénierie. Nous créons des espaces collaboratifs de travail, des solutions puissantes, complètes et intégrées offrant des interfaces entre la conception de produit et les procédés.</p> <p>Spécificité des connaissances : Business process optimization can only be achieved by investing time, resources and energy to grasp the underlying customer</p>	<p>Total 4</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
	manufacturing processes. You know, the true benefits for manufacturing industries is not be achieved by only accommodating current practices, but it is achieved by understanding the direction in which their businesses are being driven and defining together the processes that need to be realized.	
	Concurrence et risques : PTC, UGS, Autodesk sont les trois concurrents sévoux du marché PLM. SAP n'a pas la connaissance de base	1
	Exigences spécifiques clients : Nous aidons les fabricants à augmenter le rythme de création de produit: si une entreprise peut développer 6 nouveaux produits en une année parce qu'elle peut gérer plus efficacement et plus rapidement les cycles, c'est plus profitable. Nos solutions offrent aux clients plus de flexibilité, d'ouverture, d'intégration, de stabilité et surtout, une capacité d'évolution.	1
	Total	6
Dynasim	Spécificité des connaissances : From the core language Modelica, we provide specialized libraries of models and simulation capabilities to represent complex dynamic systems. It was and still is a need to represent complex dynamic systems.	1
	Total	1
ESI	Spécificité des connaissances : D'abord, il faut avoir une compréhension complète de la science et des technologies impliquées dans l'environnement client. Cela prend bien entendu une attention particulière sur la fiabilité de certains éléments. Concurrence et risques : Il y a une tendance vers un environnement CAD intégrant des capacités d'analyse. Beaucoup de travail se fait là-dessus. Il y a une tendance à vouloir intégrer des modules d'analyse (acoustique, thermodynamique, structure, vibration, comportement structural, etc.) dans l'environnement CAD et les tâches de dessin. Exigences spécifiques clients : L'attention est mise sur l'exploitation d'avancées scientifiques dans des domaines spécifiques à nos clients en développant des modules spécialisés supportant la conception d'applications dans des marchés industriels comme l'automobile, les équipementiers, etc. Nous notre créneau c'est la simulation des essais de collision.	1
	Total	3
Flowmaster	Spécificité des connaissances : There are complex industrial problems that need fancy maths per example in mix of gases. We must develop specific libraries and models that deliver what designers want. Concurrence et risques : The rate of change is accelerating in the industry. There are a lot of opportunities. It is not sufficient anymore to solve complex engineering problems. Your solutions must fit. We must be very conscious about widening the scope of our activities and actions. We	1
	Total	3

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firm	Force de marché dominante	Intensité
	must integrate in the customer's supply chain.	
	<i>Exigences spécifiques clients :</i> We support customers in fluid mechanics for industrial applications. We have to cover all sorts of engineering problems and scales: from nano to macro.	1
Imagine	<i>Spécificité des connaissances :</i> Nous sommes spécialistes au niveau de l'analyse numérique. Toutefois, Imagine n'est pas spécialiste d'applications et donc poursuit des initiatives et des projets de collaboration pour apprendre et intégrer des connaissances au niveau des applications. <i>Concurrence et risques :</i> Imagine reconnaît que sa situation doit changer; d'outils fermés et isolés, elle doit évoluer vers plus de connectivité, d'ouverture et d'intégration. Les déclencheurs actuels sont la standardisation, l'inter opérabilité, la représentation, l'échange des données, l'interface entre modules, etc. <i>Exigences spécifiques clients :</i> Les outils d'Imagine permettent configurer et re configurer l'architecture d'un système en simulant et prédisant la performance des composants, analyser des scénarios de conception et des options. De cette façon on peut optimiser les fonctions désirées et faire une optimisation globale du concept du client.	1 1 1
ImpactXoft	<i>Paradigme d'innovation :</i> ImpactXoft introduced a paradigm change in the design of mechanical product. Although it is a better way to work, obstacles and resistance from engineers and market to change the practices finally forced ImpactXoft to find ways to really make money. You know, design practices and routines are well rooted in companies. We were not able to change these resistances alone. <i>Spécificité des connaissances :</i> ImpactXoft developed a feature that keeps the function attached to the design. With this, you have a tool that respects the designed function. That is what we call functional design which is a new and for some people revolutionary. <i>Concurrence et risques :</i> The design industry is very slow and there are very stable technologies. Some argue there is a battle on standards, of architecture, PLM, etc. So what? This market needs major technological breakthroughs from combination of hardware and software.	1 1 1
LMS	<i>Interdépendance des firmes :</i> For 20 years or so, operating system choice was clear, now software must run on multiplatform (Unix, Windows, etc.). There is always a	3 1

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
	<p>pressure for standardization, interfaces, data exchange.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> From the customer's perspective, there is definitely a pressure for time reduction in the creation process. So we have to respond to that. We see an increased investment in modelling and simulation tools and a pressure for integration and bundling. That means that interoperability of systems is key. There is a strong consolidation in the business.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> LMS provide simulation and physical testing capacity to support product design and engineering in automobile, aerospace and industrial equipment manufacturers sectors. LMS is a World leader for acoustics, noise and vibration for car design.</p>	1
Total		3
MSC Software	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> Customer's value chain is composed of many teams and subcontractors. In the software they buy from us, they get built-in connectivity to Microsoft applications for information management and real-time collaboration. The goal is to cut development and testing costs.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> Globalization is certainly a big point because now it is not only the customers who are international but we are too.</p> <p><i>Diversité des besoins :</i> Diversity of users needs is also getting more challenging because there are existing scientific problems that needs solution refinement.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> Numerous global manufacturers rest their reputation on MSC Software's Nastran finite-element analysis technology, originally developed for the NASA space program. The aerospace industry recognizes Nastran as the de facto standard in high-end analysis.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> There is always a need for advanced solutions but we also want to serve the untapped markets. There are a lot of people that could use simulation for their jobs. That is why we must develop new user interface that allows users to more quickly communicate and to work faster.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> Our software supports thousands of companies in hundreds of industries. We have been in business for 40 years so we've been involved in many projects with different clients.</p>	1
Total		5
Polyplan	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> Il est inévitable pour une petite firme d'être compatible et d'avoir de bons partenaires. On devait s'intégrer dans un réseau d'entreprises et de solutions technologiques. On devait composer avec cette réalité ce qui n'était pas sans nous créer des obstacles supplémentaires.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> Malgré d'excellentes ressources et expertises en plus de bons contacts avec des joueurs importants de l'industrie comme SAP, Dassault, UGS et PTC, c'était difficile. On s'est aperçu que l'on visait des niches très protégées. Le manque de profondeur des ressources, l'absence de réputation et de crédibilité pénalisait Polyplan face aux concurrents et clients.</p>	1
		5

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
	Exigences spécifiques clients : La valeur de l'outil développé par Polyplian découle des liens qu'il permet de faire entre les fonctions ingénierie et fabrication au sein des manufacturiers. L'outil améliore les processus en connectant les outils CAD, CAO et PDM via la maquette numérique vers le MRP et ultimement les ERP des entreprises.	1
SAP	<i>Interdépendance des firmes :</i> Basically, integration is key for SAP. Standardization of processes, interfaces and architecture are important. Bundling is important too. Take for example CRM systems. CRM as a new application was the result of the combination of already existing components and ideas. <i>Système de conception :</i> The company Zara is a good example. With the view of data from our system, it is able to change completely its offering in 3-4 weeks, based on real-time market information acquisition like change in colours, styles, etc. <i>Paradigme d'innovation :</i> IT innovation is tricky because technology continuously improve, there are change and shifts in architecture and also because market needs are changing. In order to get trapped in a wrong position, SAP must select the appropriate hardware and software components as to develop a system that support maximum deployment of the customer business models. In that respect, SAP is business modelling enabler. <i>Spécificité des connaissances :</i> Understanding the business models of customers is extremely important for SAP. A business model is the aligned activities, systems, products and services to serve specific needs of customers. <i>Concurrence et risques :</i> The pacing of innovation is increasing. The needs of some sectors like Biotech are getting critical. <i>Exigences spécifiques clients :</i> SAP provides systems that automate processes, support best practices and leverage performance in IT systems, adapted to specific needs of customers.	3
Seemage	<i>Système de conception :</i> Seemage provides the necessary engineering tools for all the tasks involved in a product development project. Our philosophy is based on the fact that product information must be available from everywhere. <i>Spécificité des connaissances :</i> Our products are being used by companies such as PSA Peugeot Citroën, Renault F1 and others. We can say automobile engineering is our core business.	6

Tableau 5.2a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite et fin)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
UGS	<p><i>Concurrence et risques :</i> We recognized the need to share product information even when it's only a CAD model or a mockup. That is why we developed publishing applications allowing embeddedness of 3D models in Microsoft Office applications.</p> <p><i>Interdépendance des firmes :</i> The PLM concept is an increasingly important business strategy for many customers and partners. It drives organizations to digitally manage product information from ideation to recycling, extracting more business value from every product throughout its life cycle.</p> <p><i>Système de conception :</i> Our solutions provide integration of the data and processes in the value chain among all of the contributors and stakeholders throughout the lifecycle of the product.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> As our customers' need for digital collaboration between disparate and distant groups increases, we had to create solutions that provide global access to product data, process information and ideas. That meant for us to reorganize our thinking about who need what information and when.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> UGS works collaboratively with clients to deeply understand where they want to go in terms of business improvements. Not only on the product side but also on what drives productivity in their own business. What they are trying to accomplish with their own customers.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> Several years ago, there was a need to establish standards around data communication and to provide support to developers and customers for implementation. We had these standards published and it is now a key element for managing this development program.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> UGS bring to customers enterprise solutions that enable transformation of their innovation process and maximize value throughout all phases of the product lifecycle.</p>	<p>1</p> <p>3</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>6</p>
		Total

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
ARTVPS	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We amplify the value of 3D data. Car manufacturers have huge amount of 3D data. From a 3D model created in CAD, we produce realistic virtual photos. We interface per example with Maya and Autocad. With these virtual photos, a flow of communication is created with marketing people. They can accelerate the marketing execution and over all, accelerate the product development process.</p>	1
Autodesk	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> We are a volume production company. We seek a large market share, i.e. a large number of Autocad seats. We do that now by supporting a large established global network of educators, 3rd party developers (2400), VAR (1200), etc. We have the Autodesk University: we train customers, users, and we organize conferences, etc.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> On a platform technology build in the last 23 years, Autocad, we develop specific solutions.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We provide capacities for them to create a digital model of an artifact. Our tools provide functionalities for communication, data exchange flows, coordination, etc. Our focus is to help customers create, manage and share their data and digital assets more effectively and improve efficiencies across the entire lifecycle management process.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Our aim is to lead democratization of science and technology in our markets. We want to provide better capacities to create a digital model of an artifact, better communication, data exchange flows coordination, etc. The key is how to keep track of information throughout the life cycle of a product or infrastructure.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> When we introduce a product, we have a closed approach. Typically, we have closed core with API provided for data format, etc. We provide capacities for communication and exchange. We retain ownership of software and we develop all software is licensed to users and provided in object code. With time, it is getting more open...</p>	1
CD-Adapco	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> We try to establish long term partnerships with industrial customers. It is important to listen to our customers and to understand their most important engineering challenges. That is important. They need to see that we understand the vision they have of their value chain</p>	1
	Total	5

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> CD-Adapco is a CAE leader with a full spectrum of simulation solutions. Our software solutions provide advanced modelling and simulation capacities. We address many type of engineering problems including thermal, structural and chemical engineering matters.</p>	1
Dassault	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Nous créons des espaces collaboratifs de travail, des solutions puissantes, complètes et intégrées offrant des interfaces entre la conception de produit et les procédés manufacturiers et aussi la chaîne d'approvisionnement. De cette façon, nous cultivons et supportons l'écosystème d'innovation.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> L'intégration des avancées technologiques au niveau des langages de programmation (C++, XML, 3DXML, etc.), des équipements (serveurs 32 à 64 bits), des systèmes d'exploitation (AIX/51 BM, Windows, Unix, etc.), a permis à DS de capitaliser sur ses forces, et concrétiser une vision PLM. On a dû assurer une cohérence et une " architecture " pour l'ensemble. Vous savez l'intégration des applications est une grande valeur ajoutée pour le client.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Nous aidons les fabricants à augmenter le rythme de création de produit: si une entreprise peut développer 6 nouveaux produits en une année parce qu'elle peut gérer plus efficacement et plus rapidement les cycles, c'est plus profitable. Nos solutions offrent aux clients plus de flexibilité, d'ouverture, d'intégration, de stabilité et surtout, une capacité d'évolution.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Depuis 2004, Dassault a créé une unité de développement de méthodologies destinées à aider les clients à optimiser l'utilisation des solutions. Le but est de développer les meilleures pratiques, processus et méthodologies de conception et d'ingénierie et de formaliser tous cela dans les applications.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Dassault offre une intégration de modules d'optimisation, de visualisation, d'interfaces avec le plate-forme V5. On apporte notamment un plus grand soin à l'architecture de nos solutions ainsi qu'à leur inter opérabilité. On parle maintenant d'un processus où l'ingénierie logicielle est appliquée.</p>	2
Dynasim	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> From the core language Modelica, we provide specialized libraries of models and simulation capabilities to represent complex dynamic systems. It was and still is a need to represent complex dynamics systems. With the possibilities to represent these systems, design of</p>	5

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
ESI	<p>complex products is made possible. It allows design of fundamentally different concepts and ideas.</p> <p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> On fait en sorte de créer des groupes de travail et des communautés de pratique qui donnera un environnement flexible et ouvert pour l'innovation. Plus tard, après la démonstration du concept et la faisabilité, ESI forme des alliances avec des clients majeurs pour développer une application.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> L'attention est mise sur l'exploitation d'avances scientifiques dans des domaines spécifiques à nos clients en développant des modules spécialisés supportant la conception d'applications dans des marchés industriels comme l'automobile, les équipementiers, etc. Nous notre crâneau c'est la simulation des essais de collision.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Durant les premières phases de développement, on met en place des centres d'excellence par domaine de connaissance et compétence (ex.: ergonomie, etc.). Des médecins sont impliqués, etc. On met aussi en place des activités d'exploration avec des partenaires Européens et des organismes de financement.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Il y a une tendance à vouloir intégrer des modules d'analyse (acoustique, thermodynamique, structure, vibration, comportement structural, etc.) dans l'environnement CAD et les tâches de dessin. Toutefois, il y un besoin d'équilibre entre les plates formes systèmes propriétaires fermés et les outils spécialisés, orientés sur des besoins précis et plus ouverts.</p>	<p>Total 1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>
Flowmaster	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> There are complex industrial problems that need fancy maths per example in mix of gases. We must develop specific libraries and models that deliver what designers want. We support customers in fluid mechanics analytic processes for design of specific industrial applications.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> There is no secret. We sit with the customers and ask questions. We visit their installations. We get involved with them. We talk with the people involved with the problems. Our sales people are giving inputs. We analyse, discuss, and integrate the right technologies.</p>	<p>Total 4</p> <p>1</p>

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firm	Système stratégique déployé	Intensité
Imagine	<p><i>Inter opérabilité :</i> It is not sufficient anymore to solve complex engineering problems. Your solutions must fit. We must be very conscious about widening the scope of our activities and actions. We must integrate in the customer's supply chain.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Les outils d'Imagine permettent configurer et re configurer l'architecture d'un système en simulant et prédisant la performance des composants, analyser des scénarios de conception et des options. De cette façon on peut optimiser les fonctions désirées et faire une optimisation globale du concept du client.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Par exemple, on a développé une alliance avec un motoriste pour camion qui a une grande expertise dans l'application mais qui a des lacunes au niveau analyse mathématique. Imagine amène l'expertise à ce niveau là et en retire des connaissances. Avec cette stratégie, Imagine entend développer d'autres capacités pour élargir ses marchés.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Imagine reconnaît que sa situation doit changer; d'outils fermés et isolés, elle doit évoluer vers plus de connectivité, d'ouverture et d'intégration. Les déclencheurs actuels sont la standardisation, l'inter opérabilité, la représentation, l'échange des données, l'interface entre modules, etc. Imagine a un choix stratégique à faire pour atteindre l'inter opérabilité.</p>	<p>1</p> <p>Total 3</p>
Impactsoft	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Impactsoft developed a feature that keeps the function attached to the design. With this, you have a tool that respects the designed function. That is what we call functional design which is a new and for some people revolutionary.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> We provide improvement of productivity in the design processes and better reusability of IP. We also embedded in the tools knowledge about manufacturing.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Openness is bull shit. All tools and systems are closed. When you want to do business lets say with Adobe, the contract is complex and restrictive. You get the APIs but at what price.</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>Total 3</p>

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firme	Système stratégique déployé	Intensité
LMS	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> LMS provide simulation and physical testing capacity to support product design and engineering in automobile, aerospace and industrial equipment manufacturers sectors. It offers functional engineering, technology transfer to customers in the areas of acoustics and vibration.</p> <p><i>Intégration opérabilité :</i> For 20 years or so, operating system choice was clear, now software must run on multiplatform (Unix, Windows, etc.). There is always a pressure for standardization, interfaces, data exchange. There is also a strong movement for integration of analysis modules with CAD environment. That means that interoperability of systems is key. Stand alone provider are left aside if they don't provide superior performance.</p>	1
MSC Software	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Our software supports thousands of companies in hundreds of industries. We have been in business for 40 years so we've been involved in many projects with different clients. From our traditional base, we developed industry specific solutions and services to support simulation design..</p> <p><i>Plates-formes technologiques :</i> Built on Microsoft environment, SimOffice platform features an easy-to-use modeling environment with an integrated, multidiscipline solver supporting the needs of design engineers, casual users, and expert analysts.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Connectivity with other productivity tools allows engineers to efficiently gain valuable insight into product performance characteristics and capture and re-use knowledge with automated simulation procedures.</p> <p>MSC Software's suite of core products cover the full spectrum of engineering analysis from linear, nonlinear and explicit nonlinear to computational fluid dynamics, fluid system interaction, etc. to help customers overcome the most challenging product development hurdles.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> With the technology we offer, this provides integration of information, technology, software, services, and systems to enable faster and more efficient development of market-leading products.</p>	2

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firm	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Inter opérabilité :</i> Customer's value chain is composed of many teams and subcontractors. In the software they buy from us, they get built-in connectivity to Microsoft applications for information management and real-time collaboration. The goal is to cut development and testing costs. For example, with SimOffice, engineers can directly import and export 3D solid models from a variety of popular CAD systems, including: CATIA, Unigraphics, SolidWorks, and any software using Parasolids or ACIS geometry.</p>	1
Polyplan	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> L'offre de Polyplan consistait en une solution logicielle pouvant définir des méthodes manufacturières directement à partir des données d'ingénierie. À partir des fichiers des modèles géométriques, l'outil permettait de générer des méthodes, procédures, BOM, etc. C'est un outil interactif permettant l'intégration des données en temps réel.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> La valeur de l'outil développé par Polyplan découle des liens qu'il permet de faire entre les fonctions ingénierie et fabrication au sein des manufacturiers. L'outil améliore les processus en connectant les outils CAD, CAO et PDM via la maquette numérique vers le MRP et ultimement les ERP des entreprises.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Au début, pour développer sa solution Polyplan a obtenu et acheté des interfaces (API) de diverses entreprises. Certaines comme celles de UGS et PTC ont été obtenues sans frais pour un période de temps alors que d'autres ont dû être achetées. Ces coûts pour la firme ont influencé directement sa tarification et son modèle d'affaires. En fait, le degré d'inter opérabilité est une décision d'affaire.</p>	5
SAP	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Understanding the business models of customers is extremely important for SAP. A business model is the aligned activities, systems, products and services to serve specific needs of customers. Basically, integration is key for SAP. Standardization of processes, interfaces and architecture are important. Bundling is important too.</p> <p><i>Plates-formes technologiques :</i> If you look at the different versions of ERP systems we created, there is an evolution. The R/2 system was developed for big firm needs. It was mainly server based. The R/3 version more oriented toward mid size firms with an ASP model. It can also be implemented like a platform for global corporations who want to capture opportunities from globalization of economy.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> SAP provides systems that automate processes, support best practices and leverage performance in IT systems.</p>	3

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firm	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Intégration des connaissances :</i> In order to get trapped in a wrong position, SAP must select the appropriate hardware and software components as to develop a system that support maximum deployment of the customer business models. In that respect, SAP is business modeling enabler.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> We must agree on common set of data and create a metadata repository (data base). We must generate engine to make system/components interact with gateways, APIs, standards, etc. With the systems in place, the information is there. We want to close the gap between the bit world and the real world.</p>	1
Seemage	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Our products are XML-based, CAD-independent architecture solutions helping engineers to design and create products that are delivered faster, with higher quality and at lower cost. With our visualization solutions it is easy to illustrate a product concept and communicate it with other people in the decision process.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Our solutions aim to provide accurate product information and allow manipulation of data from most of the other CAD systems. We had developed capacities to convert, compress and decompress 3D CAD files.</p>	<p>Total 5</p> <p>1</p> <p>Total 2</p>

Tableau 5.2b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite et fin)

Firme	Système stratégique déployé	Intensité
UGS	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Our solutions provide integration of the data and processes in the value chain among all of the contributors and stakeholders throughout the lifecycle of the product. The PLM concept is an increasingly important business strategy for many customers and partners. It drives organizations to digitally manage product information from ideation to recycling, extracting more business value from every product throughout its life cycle.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> With its offer, UGS provide such a platform or space where design, manufacturing and others teams can share data and make real time decisions. In the customers' value chains, they have other partners involved. We have to make sure they are links.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> UGS works collaboratively with clients to deeply understand where they want to go in terms of business improvements. Not only on the product side but also on what drives productivity in their own business. What they are trying to accomplish with their own customers. UGS bring to them enterprise solutions that enable transformation of their innovation process and maximize value throughout all phases of the product lifecycle.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> We see the ecosystem of players around us and in the customers' value chain as global innovation networks that are linked. For UGS, global innovation networks unite global partners, suppliers and customers through a shared base of product and process knowledge.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Several years ago, there was a need to establish standards around data communication and to provide support to developers and customers for implementation. We had these standards published.</p>	1

Tel que montré au tableau 5.2a, les indices d'intensité des forces de marché dominantes perçues nous permettent de définir deux (2) groupes de firmes. Un premier regroupant des firmes dont l'indice d'intensité est de 5 ou plus et un second dont l'indice tend vers 3. Nous remarquons en outre que les forces de marché *Spécificité des connaissances, Concurrence et risques* et *Exigences spécifiques clients* sont perçues de façon similaire par l'ensemble des firmes. Le groupe de firmes dont les indices tendent vers ou égalent 6 se différencient quant à la perception des forces de marché dominantes *Interdépendance des firmes, Système de conception* et *Paradigme d'innovation*.

Le même regroupement s'observe en ce qui a trait aux systèmes stratégiques déployés (tableau 5.2b). Un premier groupe se distingue avec un indice d'intensité de déploiement de système stratégique égal ou supérieur à 4. Ce groupe se différencie d'un second en montrant un déploiement des systèmes stratégiques *Structuration de l'écosystème client* et *Plates-formes technologiques*, alors que le second groupe se caractérise essentiellement par le déploiement des systèmes stratégiques *Productivité et résolution de problèmes, Intégration des connaissances* et *Inter opérabilité*.

Par ailleurs, la figure 5.2 présentée ci-après, donne un exemple du contexte d'inter opérabilité que l'on retrouve pour le cas du secteur des outils spécialisés pour la conception et l'ingénierie automobile. En somme, les développeurs d'outils se procurent les API des solutions avec lesquelles ils souhaitent que leurs outils soient inter opérables. Les API sont spécifiques à une application (API pour CATIA V5, API pour ProE, etc.). Comme les solutions évoluent, les API changent aussi et les développeurs d'applications doivent donc acheter les API qui permettent d'inter opérer avec les nouvelles versions des systèmes dominants. L'interdépendance entre les firmes est donc importante.

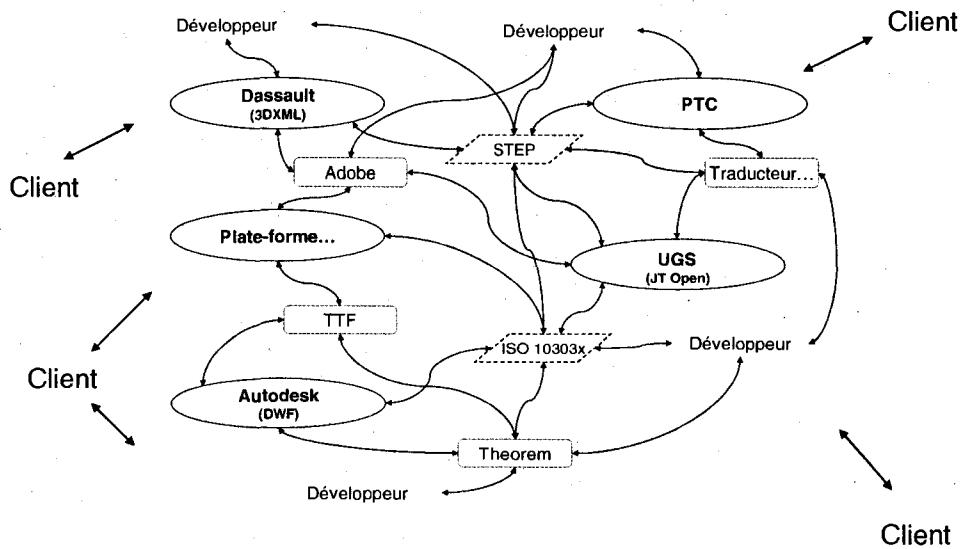


Figure 5.2 : Exemple du contexte d'inter opérabilité au sein de l'environnement à l'étude – Cas du secteur des outils spécialisés pour la conception et l'ingénierie automobile

Ces changements, parfois majeurs comme dans le cas du passage de CATIA V4 à CATIA V5 de Dassault, posent des défis d'alignement constants pour les développeurs qui souhaitent que leurs outils inter opèrent dans tous les environnements. Comme nous pouvons le constater, l'inter opérabilité logicielle est orchestré et contrôlé par divers joueurs. De cette manière, de nouvelles règles de collaboration et de concurrence s'établissent et l'ingénierie logicielle devient un moyen par lequel on organise les interrelations dans l'écosystème. Par exemple, un développeur désireux de promouvoir une « plate-forme » concevra l'architecture de son application logicielle de manière à faciliter l'inter opérabilité de celle-ci avec des applications tierces et d'autres intervenants ou les intégrera par voie d'acquisition. Comme les domaines d'application discutés ici sont matures, les développeurs doivent impérativement répondre aux exigences élevées des clients envers la structuration de l'écosystème, l'évolution équilibrée du paradigme d'innovation, la spécificité des connaissances et la productivité du système de conception.

Les intensités d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes données au tableau 5.2c montrent une corrélation avec les 2 autres types d'indices d'intensité établis. Un premier groupe composé des firmes montrant des indices élevés ou maximum sur le plan des forces de marché dominantes perçues et des systèmes stratégiques déployés, montre également des indices élevés quant aux règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ce groupe se distingue en utilisant les quatre (4) règles de gouvernance de l'innovation définies.

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
ARTVPS	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> From a 3D model created in CAD, we produce realistic virtual photos. With these virtual photos, a flow of communication is created with marketing people. They can use these virtual photos in their marketing campaigns, pre announcements, etc. The images can now be accessible on different media. It fits with the mobility of the people, the Web, etc.</p> <p><i>Formalisation des processus :</i> Our solution allows interactions more quickly in the development process. The advertisers, car companies, etc. everybody can share the new model. It accelerates the process.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> We amplify the value of 3D data. We interface for example with Maya and Autocad. It gives the final customers an immersion in the experience. For technicians and non technicians' people, it is great. Like in the automobile industry. They can see and feel how a prototype can look from a 3D model.</p>	1
Autodesk	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> The tools are low cost, fairly easy to use, etc. so it helps a democratization of science and technology. We believe that our ability to make technology available to mainstream markets is one of our competitive advantages. Just consider the number of AutoCAD and Inventor seats and other tools such as Buzzaw, Vault or Ravit. The tools are low cost, fairly easy to learn and use, that's our approach.</p> <p><i>Formalisation des processus :</i> Now Autodesk focuses on its core competencies to address globalization of business, optimization of the business.</p> <p><i>Intégration et architecture au plans matériel et logiciel :</i> Our goal is to be the world's leading Design software and Services Company for the building, manufacturing, infrastructure, media and entertainment, and wireless location based services industries. Our focus is to help customers create, manage and share their data and digital assets more effectively and improve efficiencies across the entire lifecycle management process.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> We want to provide better capacities to create a digital model of an artifact, better communication, data exchange flows coordination, etc. Our tools provide functionalities for communication, data exchange flows, coordination, etc.</p>	3

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
CD-Adapco	<p>Accessibilité de l'information technique : To maximize the impact of our offer in the customer's environment, we try to provide solutions that offer a good balance of specialized and advanced functionalities and ease of use for less expert people. If we want to increase our market share, this is one way to go. Friendlier graphic user interfaces is also something that the stakeholders is pointing. To make CAE tools accessible to more engineers.</p> <p>Formalisation des processus : More specifically, CAE tools need to be better linked to geometry modeling environment. CAE embedded tools in CAD or PLM systems are in demand. It is obvious. At least, that is where customers wish to go.</p> <p>Virtualité et immersion : CD-Adapco is a CAE leader with a full spectrum of simulation solutions. Our software solutions provide advanced modelling and simulation capacities. We address many type of engineering problems including thermal, structural and chemical engineering matters.</p>	1
Dassault	<p>Accessibilité de l'information technique : In addition to our software solutions for the PLM and Mainstream 3D markets, we also supply software components through our Spatial subsidiary... Software developers in more than 14 industries around the world use our 3D ACIS Modeler, a well-known, 3D modeling engine</p> <p>Formalisation des processus : Through the creation of a collaborative environment, a broad range of persons involved in a products lifecycle can share, manage and archive complete data about the product and its production use and maintenance on an integrated information platform.</p> <p>Intégration et architecture au plans matériel et logiciel : Using advanced and breakthrough modeling technologies, including highly sophisticated 3D visualization and Internet technology, our products allow engineers, manufacturing teams, financial planners and other participants to simulate product behaviour and manufacturing operations through virtual prototypes rather than actual mock-ups, thereby saving significant time and resources, while increasing innovation and quality.</p> <p>Virtualité et immersion : Dassault offre des solutions pour créer des produits innovateurs, simuler le cycle de vie complet du produit, faciliter la communication, la prise de décisions et la compréhension des enjeux avec le 3D.</p>	3

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Dynasim	<p><i>Virtualité et immersion :</i> From the core language Modelica, we provide specialized libraries of models and simulation capabilities to represent complex dynamic systems. With the possibilities to represent these systems, design of complex products is made possible. It allows design of fundamentally different concepts and ideas.</p>	1
ESI	<p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Il y a une tendance vers un environnement CAD intégrant des capacités d'analyse. Beaucoup de travail se fait là-dessus.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> La vision d'ESI et des innovateurs était la même : nos connaissances des applications étaient limitées mais on avait la conviction qu'avec le numérique, c'était possible de fournir des capacités de vérifier virtuellement la performance d'un véhicule lors d'une collision et ainsi sauver des coûts importants.</p>	1
Flowmaster	<p><i>Formalisation des processus :</i> We support customers in fluid mechanics analytic processes for design of specific industrial-applications. We have to cover all sorts of engineering problems and scales: from nano to macro.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> There are complex industrial problems that need fancy maths per example in mix of gases. We must develop specific libraries and models that deliver what designers want.</p>	2
Imagine	<p><i>Virtualité et immersion :</i> Les outils d'Imagine permettent configurer et re configurer l'architecture d'un système en simulant et prédisant la performance des composants, analyser des scénarios de conception et des options. De cette façon on peut optimiser les fonctions désirées et faire une optimisation globale du concept du client.</p>	1

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Impactsoft	<p><i>Formalisation des processus :</i> We provide improvement of productivity in the design processes and better reusability of IP. We developed a tool that really supports concurrent engineering.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> Impactsoft introduced a paradigm change in the design of mechanical product. It is a 3D shape modeller based on functional modelling.</p>	1
LMS	<p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> LMS acquired 5 companies in the last 14 years to broaden its capabilities and provide a more comprehensive platform of integrated solutions.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> LMS provide simulation and physical testing capacity to support product design and engineering in automobile, aerospace and industrial equipment manufacturers sectors.</p>	<p>Total 2</p> <p>1</p>
MSC Software	<p><i>Formalisation des processus :</i> Connectivity with other productivity tools allows engineers to efficiently gain valuable insight into product performance characteristics and capture and re-use knowledge with automated simulation procedures.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Built on Microsoft environment, SimOffice platform features an easy-to-use modeling environment with an integrated, multidiscipline solver supporting the needs of design engineers, casual users, and expert analysts. With the technology we offer, this provides integration of information, technology, software, services, and systems to enable faster and more efficient development of market-leading products.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> First of all, MSC enables companies of any size to reap the benefits of early, accurate design validation using computer simulation. The simple goal is to simulate complex design prior any investment in prototyping.</p>	<p>Total 2</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>3</p>

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Polyplan	<p><i>Formalisation des processus :</i> À partir des fichiers des modèles géométriques, l'outil permettait de générer des méthodes, procédures, BOM, etc. C'est un outil interactif permettant l'intégration des données en temps réel.</p>	1
SAP	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> SAP wants to enlarge its customer base by democratizing SAP. Per example, in a petroleum cie, only 20% of employees have access to SAP's system. The goal is to enlarge the user base. The actual flows of SAP data are creating inefficiencies in cies. The data are not easily accessible.</p> <p><i>Formalisation des processus :</i> SAP provides systems that automate processes, support best practices and leverage performance in IT systems. Understanding the business models of customers is extremely important for SAP. A business model is the aligned activities, systems, products and services to serve specific needs of customers.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Basically, integration is key for SAP. Standardization of processes, interfaces and architecture are important. Bundling is important too. Today, sound business models are based on system parts reliability, proven technology and a solid design supporting evolution of the market needs.</p>	1
Seemage	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> Our philosophy is based on the fact that product information must be available from everywhere. Our solutions aim to provide accurate product information and allow manipulation of data from most of the other CAD systems.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> Seemage provides the necessary engineering tools for all the tasks involved in a product development project. It addresses design and engineering problems that have to be solved but also the need for better communication and faster decision making.</p>	2

Tableau 5.2c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines de l'automobile, l'aérospatiale et des équipements industriels (suite et fin)

Firme	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité	
UGS	<p><i>Accès à l'information technique :</i> As our customers' need for digital collaboration between disparate and distant groups increases, we had to create solutions that provide global access to product data, process information and ideas.</p> <p><i>Formalisation des processus :</i> UGS bring to them enterprise solutions that enable transformation of their innovation process and maximize value throughout all phases of the product lifecycle. The PLM concept is an increasingly important business strategy for many customers and partners. It drives organizations to digitally manage product information from ideation to recycling, extracting more business value from every product throughout its life cycle.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Our solutions provide integration of the data and processes in the value chain among all of the contributors and stakeholders throughout the lifecycle of the product.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> We need to address this complexity by providing advanced solutions helping product managers to see all the time where they stand regarding the new product design and who is working on it.</p>	1	1 1 1 1

Les firmes œuvrant dans cette chaîne de création d'outils montrent des différences et des similitudes. Globalement, elles desservent des clients spécialisés dans des domaines d'application matures caractérisés par une évolution technologique moyennement intense et une formalisation élevée des processus numérisés de création de produits. Outre la spécificité des connaissances requises, les défis et la complexité les systèmes de conception se situent au niveau de l'intégration des systèmes et outils pour assurer la structuration de l'écosystème et la flexibilité des chaînes d'approvisionnement mondiales des clients.

Pour fournir des connaissances particulières à un domaine d'application, une firme doit comprendre le système de conception de produit concernée et maîtriser des savoirs, processus et pratiques spécifiques. C'est ce qui motive les dirigeants de Flowmaster, une firme de soixante-quinze (75) employés basée en Angleterre, à engager prioritairement des spécialistes des domaines d'application pour développer des outils d'analyse en mécanique des fluides. Pour cette firme, les compétences spécialisées en ingénierie d'application sont extrêmement importantes. Les problèmes scientifiques deviennent parfois très complexes.

Une firme doit donc impérativement, pour fournir une quelconque valeur, maîtriser les connaissances des applications industrielles dont son outil souhaite assister la conception. Ceci est éloquemment illustré chez Dassault par la création de centres de compétences. Dassault a créé des centres de compétences basés sur des segments industriels spécifiques pour rassembler de l'information sur les processus des clients et ainsi développer des applications additionnelles conçues sur mesure aux besoins de chaque segment. Ces centres ont entre autres permis de développer des *PLM Best Practices* et des règles d'ingénierie spécifiques aux domaines de l'automobile et de l'aérospatiale par exemple (*Generative Car Solutions, Aerospace Manufacturing Practices*).

Les chefs de file du développement d'outils d'aide à la conception pour ces domaines d'application ont résolu d'adopter des techniques avancées d'ingénierie logicielle pour organiser les savoirs requis par les systèmes de conception des secteurs discutés. Des firmes comme Dassault et UGS ainsi que d'autres orientées vers des tâches plus spécifiques comme ESI et MSC Software, fournissent des logiciels permettant aux clients d'intégrer d'autres solutions et modules pour réaliser la conception désirée. Ces logiciels répondent aux exigences des clients et rallient des réseaux de partenaires, lesquels détiennent des savoirs spécifiques requis par l'écosystème.

La spécificité se traduit pour la firme Autodesk par le développement de produits dédiés à des marchés d'applications spécifiques comme l'électrique, l'architecture, etc. car chaque marché d'application possède sa dynamique et requiert des solutions différentes. Des problèmes spécifiques nécessitent des approches intégrées et l'assemblage de solutions pour améliorer le processus d'innovation des clients. Comme le mentionne Jon Pittman, responsable de la recherche stratégique chez Autodesk :

« I think that in the future, success will come less from pure science but more from a good knowledge of the customer development process. »

En résumé, l'écosystème du client prime résolument; le développement d'un outil d'aide à la conception sera fait en fonction de cet écosystème : fournisseurs, intervenants, collaborateurs, savoirs requis, technologies disponibles, etc. La chaîne de création d'outils des firmes comme CD-Adapco et Autodesk émulent le système de conception de produit de leurs clients et intègrent dans leurs outils des savoirs spécifiques à celui-ci. Pour y arriver, il appert en outre que les firmes mettent en œuvre des stratégies, développent des compétences et utilisent des pratiques spécifiques aux domaines d'applications visés.

Bien qu'elles montrent des similitudes avec des firmes de l'échantillon œuvrant dans d'autres chaînes de création, les firmes présentées aux tableaux 5.2a, 5.2b et 5.2c montrent des différences significatives. De plus, on peut y reconnaître deux (2) groupes formés de firmes possédant des caractéristiques distinctes.

5.2.2 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications en microélectronique

La mondialisation a causé des bouleversements majeurs au sein de l'industrie de la microélectronique. Avec la disponibilité quasi immédiate des meilleures technologies qui soient, les fabricants de composants et produits microélectroniques ne peuvent se permettre d'inclure des composants de second ordre dans leurs produits. Plusieurs des compagnies auparavant verticalement intégrées ont décidé de choisir des créneaux d'excellence et de s'y concentrer en se départissant d'activités. L'effet de cette division et spécialisation accrues du travail a été de répartir l'expertise sur une myriade d'intervenants répartis sur plusieurs continents. Les fabricants se retrouvent ainsi aujourd'hui avec des chaînes d'approvisionnement étendues les obligeant pour concurrencer, à continuellement s'enquérir d'outils plus sophistiqués d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Ces forces technologiques et de marché posent des défis majeurs à la communauté globale des concepteurs et fabricants de produits microélectroniques. Les nouveaux composants offrent un potentiel intéressant sur les plans du prix, la performance, la puissance et la taille. Toutefois, ils sont complexes à concevoir et requiert une intégration poussée d'outils et de méthodologies.

Pour les compagnies concevant des circuits intégrés spécifiques à des applications (*ASICs : Application Specific Integrated Circuits*) et des systèmes intégrés (*SoCs : System-on-a-chip*), la fragmentation du système de conception de produit pose des défis énormes. En outre, des défis

particuliers sont à surmonter pour développer des applications de dimensions nanométriques où des contraintes physiques importantes se posent. Peu de fabricants peuvent s'offrir le luxe de maintenir toutes les variétés d'outils et expertises de conception nécessaires pour concevoir des applications industrielles d'une telle complexité. Les exigences du développement d'applications en microélectronique commandent et imposent donc des exigences très spécifiques à la chaîne de création d'outils d'aide à la conception et à l'ingénierie de telles applications. Ces outils sont très différents de ceux dédiés à d'autres domaines d'applications comme celui de l'automobile.

Les résultats de l'analyse des cas des firmes spécialisées dans la chaîne de création d'outils d'aide à la conception pour ce domaine d'application sont présentés aux tableaux 5.3a, 5.3b et 5.3c ci-après.

Tableau 5.3a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine de la micro électronique

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Agile	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> We focus on business processes and we are very careful about the voice of the customer. In fact, it is critical for because Agile is a dot connector for them a sort of design process enabling contributing to better linkages with all customers' contractors involved in design.</p> <p><i>Système de conception :</i> We pursue alignment of specific needs and classes of problems and specific processes in related markets with the development of a suite of tools that answers the needs throughout the life cycle. We have also to build an appropriate business model.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> Modularity of software is a major task. It needs a module design strategy. Overall, there are difficulties to make all those tools interact, also with 3rd parties. With the acquisitions, it is a constant and big challenge. From more or less independent applications our system now evolves as a platform architecture but it is not there yet.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> There is definitely an increase awareness of fiscal responsibilities of corporations and an increased pressure for NPD success.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> The tools allow customers to manage product records and provide visibility of changes and impacts, port folio management functions, finance capabilities, etc.</p>	1
Cadence	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> We must collaborate with all the ecosystem members (manufacturers, mask shops, engineers), implement alliances, programs, support developers, integrate resources, etc. Our aspiration is to solve our customer's-customer's-customer's problems.</p> <p><i>Système de conception :</i> Our Virtual computer-Aided design, or VCAD, model enables our engineering teams at one or more locations to virtually work side-by-side with our customers' teams located elsewhere during the course of their design and engineering projects through a secure private network infrastructure.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> Because the electronics industry combines rapid innovation with rapidly increasing design and manufacturing complexity, we make significant investments in enhancing our current products, as well as creating new products and technologies and integrating those products and technologies together into segmented solutions. Novel design tools and methodologies must be invented quickly to remain competitive in the design of electronics in the nanometer range.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> The market is segmented by customer's applications. We have horizontal platform technologies on which we develop specific tools for distinct design tasks and application domains. Among is the application of EDA technologies to overcome design hurdles in the wired networking, wireless and personnel entertainment sectors.</p>	5

Tableau 5.3a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine de la micro électronique (suite et fin)

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
	<p><i>Concurrence et risques :</i> To compete successfully, we must keep pace with technological developments and the requirements for products addressing a broad spectrum of designers and designer expertise in our industries. We must also be able to support a range of changing computer software, hardware platforms and customer preferences.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> We are talking to customers continuously in order of matching customer's needs and our competences. These capabilities, our real silicon track record plus our enterprise approach, allow customers to take full advantage of our deep relationships within the global semiconductor ecosystem, in order to meet their business and profitability objectives. Our products are engineered to improve our customers' design productivity and resulting design quality by providing a comprehensive set of EDA design technology.</p>	1
Cambridge Consultant	<p><i>Spécificité des connaissances :</i> Customers need improvement in their idea generation, their front end of innovation processes. They want growth. They need better ways to identify, evaluate product and investment opportunities and get organized to realize them, to implement new product development initiatives.</p>	6
	<p><i>Concurrence et risques :</i> The growth of the wireless sector got a lot of our attention.</p>	1
SmartOrg	<p><i>Spécificité des connaissances :</i> High tech customers and manufacturers use our tools to get a clear picture of the value of their projects and portfolios. It gives information they require to track advancement of projects and identify early which ones will have the most impact on the organisation profitability and which ones to kill.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> Our business focus is on optimizing the economic value created by R&D, new product development, and new business initiatives. They really need capacities to assess each new product idea in terms technical feasibility indicators linked with market potential, shares, margins, returns, etc.</p>	2

Tableau 5.3b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine de la micro électronique

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Agile	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Agile provides applications that cover 7 categories of business processes. We bring automation in engineering and innovation practices, in the day to day activities. Our first market was and still is Electronics. They are applications supporting business processes intended to accelerate the new product development projects in a PLM context.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We provide applications for improved collaboration in new product development projects and score better. The tools allow management of product records and provide visibility of changes and impacts, port folio management functions, finance capabilities, etc. We pursue alignment of specific needs and classes of problems and specific processes in related markets with the development of a suite of tools that answers these needs.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> We are trying to create a link between CAD tools and ERP environment to improve the information and knowledge flows to assist optimization performance out of engineering decisions. We provide links to data base on materials to include data re environmental impacts, cost, history of design etc. and help engineers to make better decisions.</p>	1
Cadence	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> We must collaborate with all the ecosystem members (manufacturers, mask shops, engineers), implement alliances, programs, support developers, integrate resources, etc. We use also our University Program to train users and transfer knowledge into customer's environment.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> To compete in these industries, we must identify and develop or acquire innovative and cost competitive EDA products, integrate them into platforms and market them in a timely manner. We combine our design technologies into platforms for four major design activities: functional verification, digital IC design, custom IC design and system interconnect.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Our products are engineered to improve our customers' design productivity and resulting design quality by providing a comprehensive set of EDA design technology. Our tools work at physical and functional level and they cover chip design, system design and manufacturing functions. Cadence kits are designed to allow companies in these sectors to achieve shorter, more predictable chip design cycles and greater design productivity by greatly simplifying the application and integration of EDA technologies and verification IP.</p>	3

Tableau 5.3b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine de la micro électronique (suite et fin)

Firme	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Intégration des connaissances :</i> We create value by codifying knowledge in software, kits, methodologies, for design and verification purpose, etc.. Our tools work at physical and functional level and they cover chip design, system design and manufacturing functions. In our design and services practices, we leverage cumulative experience and knowledge of design practices across many customers and different design environments to improve our own service teams' and our customers' productivity. We work with customers using outsourcing, consultative and collaborative models depending their projects and needs.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> Promoting a clear architecture is key for integration. We evolve from developing closed system to now more open solutions. The architecture is key to favour inter operability and connectivity. We see that as a service-oriented architecture. If you want to compete in this integration game, you must know the space and learn how the elements are all related.</p>	1
Cambridge Consultant	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> In the last 40 years, Cambridge Consultants developed methodologies and practices to manage innovation and product development projects. We have a proven experience in innovation management that helps companies to get better in innovation.</p>	5
SmartOrg	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> The tools we sell provide a standardized approach to assess the commercial viability of a possible project or product in a comprehensive manner. Our software rapidly screens early stage opportunities and monitors project and portfolio value throughout the development process. It gives direct visibility in the development pipe line. The systems create a quantitative picture of the factors and uncertainties that may influence the economic value of a new product.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> The decision advisor tool we sell is a powerful business modeling tool that enables customers to design, build and analyze business models of their projects. It helps to see the all elements, knowledge, functions or capabilities involved in a business model associated with a project or product. It triggers management to make sure everything is developed according to the business model.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> The tools we sell provide a standardized approach to assess the commercial viability of a possible project or product in a comprehensive manner. When a customer like HP uses our project Navigator tool, it brings team members to focus on value drivers that are relevant to each case. The tool can generate templates with financial indicators and market figures representing a business model for a project.</p>	3

Tel que le montre le tableau 5.3a, les indices d'intensité des forces de marché dominantes perçues nous permettent d'identifier deux (2) groupes de firmes. Un premier regroupant deux firmes dont l'indice d'intensité est de 5 ou plus et un second dont l'indice est de 2. Nous remarquons en outre que les forces de marché *Spécificité des connaissances, Concurrence et risques* et *Exigences spécifiques clients* sont perçues de façon à peu près similaires par l'ensemble des quatre firmes. Les deux firmes dont les indices tendent vers ou égalent 6 se différencient quant à la perception qu'ont celles-ci des forces de marché dominantes *Interdépendance des firmes, Système de conception* et *Paradigme d'innovation*.

Le même regroupement s'observe en ce qui a trait aux systèmes stratégiques déployés (tableau 5.3b). Un premier groupe se distingue avec une firme (Cadence) avec un indice d'intensité de déploiement de système stratégique égal à 5, soit le maximum. Cadence se différencie en montrant un déploiement des systèmes stratégiques *Structuration de l'écosystème client* et *Plates-formes technologiques* alors que le second groupe se caractérise essentiellement par le déploiement des systèmes stratégiques *Productivité et résolution de problèmes, Intégration des connaissances* ou *Inter opérabilité*.

Les intensités d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes données au tableau 5.3c montrent aussi une certaine corrélation avec les 2 autres types d'indices d'intensité établis. Un premier groupe composé des firmes montrant des indices élevés ou maximum sur le plan des forces de marché dominantes perçues (Cadence et Agile) et des systèmes stratégiques déployés (Cadence), montre également des indices élevés quant aux règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ce groupe composé des firmes Cadence et Agile se distingue en utilisant respectivement quatre (4) et trois (3) règles de gouvernance de l'innovation définies.

Tableau 5.3c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant le domaine de la micro électronique

Firme	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Agile	<p><i>Formalisation des processus :</i> We focus on business processes and we are very careful about the voice of the customer. They are applications supporting business processes intended to accelerate the new product development projects in a PLM context.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> We are trying to create a link between CAD tools and ERP environment to improve the information flows to assist optimization performance out of engineering decisions.</p> <p><i>Vérité et immersion :</i> We provide links to data base on materials to include data re environmental impacts, cost, history of design etc. and help engineers to make better decisions</p>	1
Cadence	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> During 2005, we introduced Cadence Kits to make our products and capabilities easier for customers to adopt and use. Kits reduce customer's time-to-productivity by combining our solutions with reference designs and methodologies to efficiently address typical design challenges encountered in specific applications.</p> <p><i>Formalisation des processus :</i> Our products are engineered to improve our customers' design productivity and resulting design quality by providing a comprehensive set of EDA design technology.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Promoting a clear architecture is key for integration. We went through 3 stages relating to software design architecture: first the file level with the use of standards for file exchanges, integration of data, etc. then the software level with the use of modules, components and an architectural approach and today, a plug in level which mean providing a Web platform of services. Cadence integrates all of these capabilities to provide an end-to-end solution.</p>	3

Tableau 5.3c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant le domaine de la micro électronique (suite et fin)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
	<i>Virtualité et immersion :</i> Our Virtual computer-Aided design, or VCAD, model enables our engineering teams at one or more locations to virtually work side-by-side with our customers' teams located elsewhere during the course of their design and engineering projects through a secure private network infrastructure	1 Total 4
Cambridge Consultant	<i>Formalisation des processus :</i> We have a formal structured meeting plan with customers, face to face discussions, etc. We do contract design. This is how we get deeply involved with customers and accumulate relevant knowledge to a field of application like in wireless.	1 Total 1
SmartOrg	<i>Virtualité et immersion :</i> Our tool project Navigator brings transparency to evaluating, forecasting and managing the business value of new products, R&D projects, capital investment and other business opportunities. It links business metrics to a project.	1 Total 1

Les firmes œuvrant dans cette chaîne de création d'outils et de services d'aide à la conception montrent des similitudes et des différences entre elles ainsi qu'avec les autres firmes de l'échantillon. Nous pouvons affirmer qu'elles desservent des clients très spécialisés dans un domaine d'application plutôt mature caractérisé par une évolution technologique intense, une formalisation élevée des processus numérisés de création de produits et un rythme très rapide d'introduction de nouveaux produits. Outre la spécificité, les défis et la complexité dans le système de conception se situent au niveau de la conception et de la fabrication d'application toujours plus complexes.

Des outils d'aide à la conception et à l'ingénierie de composants microélectronique (*EDA tools: Electronic Design Automation Tools*) sont développés depuis plus de 20 ans. Une firme comme Cadence s'est imposée comme un leader du secteur. Les clients de Cadence conçoivent et fabriquent des circuits intégrés (*integrated circuits-IC*) et des circuits imprimés (*printed circuits boards-PCB*) d'une complexité grandissante, lesquels sont présents dans une variété très large de produits électroniques. Fondée en 1987, la société Cadence est le plus important fournisseur de solutions logicielles de type EDA (*Electronic Design Automation*), d'équipements et de services destinés à soutenir la conception et le développement de circuits intégrés, de circuits imprimés et de systèmes électroniques commerciaux. En 2005, elle comptait environ 5000 employés dont 50% en développement de produit et enregistrait des revenus de 1,3 milliards de dollars américains. Les solutions de Cadence couvrent des étapes importantes de la conception de tels produits en mettant de l'avant une approche systémique pour tenter de résoudre les problèmes des *clients – des clients - de ses clients.*

L'analyse du cas Cadence nous révèle que les outils développés par une telle firme aident les clients à minimiser les risques inhérents à concevoir des produits complexes et les amener rapidement au marché. Plus spécifiquement, elle offre pour l'ensemble des partenaires de l'écosystème des ensembles d'outils, des kits contenant des modèles de référence pré validés et inter opérables basés sur des standards industriels ainsi que sur des standards propriétaires. Les contraintes des cycles de développement de produit en microélectronique font que les fabricants ne peuvent tout simplement pas être limités par des problèmes de compatibilité ou d'inter opérabilité entre systèmes et plates-formes. C'est la raison pour laquelle des firmes comme Cadence soutiennent fortement des initiatives industrielles de normalisation. En effet, Cadence a octroyé une licence de sa base de données *OpenAccess* à *OpenAccess Coalition* laquelle est opérée par la *Silicon Integration Initiative*, une organisation composée de fournisseurs EDA, de systèmes électroniques et de fabricants de micro processeurs, laquelle est orientée vers l'amélioration de la productivité et la réduction des coûts. Les buts de la coalition sont de :

- Créer une base centralisée d'information reliée aux APIs standards, etc.;
- Coordonner le développement de spécifications et de codes normalisés;
- Distribuer les logiciels développés;
- Protéger les droits de la coalition.

La figure 5.3 présentée ci-après montre schématiquement un processus simplifié du développement d'une application en microélectronique.

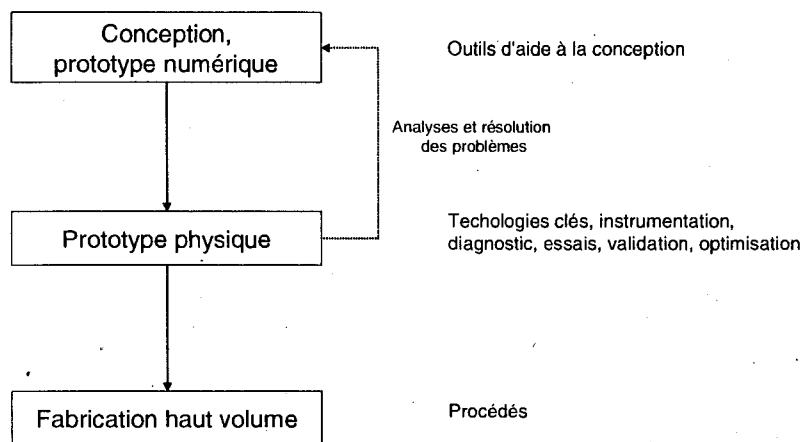


Figure 5.3 : Processus schématique simplifié de développement d'une application microélectronique

Pour réaliser avec succès le développement de produit dans ce domaine, la fonction conception et ingénierie nécessite :

- Des connaissances sur des phénomènes scientifiques spécifiques à la conception d'applications microélectroniques;
- Des connaissances avancées spécifiques et complètes sur des procédés de fabrication. ;
- Des connaissances sur la propriété intellectuelle disponible relative aux technologies éprouvées (circuits I/O, cellules standardisées, processeurs, interfaces, mémoires, etc.);
- Des méthodologies relatives au processus global de création de produit (règles, prototypage, validation, gestion de données, etc.).

Les exigences posées sur un développeur d'outils œuvrant dans cette chaîne de création sont donc d'intégrer, assembler et rendre accessibles des connaissances très spécifiques dans un logiciel modulaire et inter

opérable en réseau. Pour desservir le domaine de la microélectronique, une firme comme Cadence offrent des solutions logicielles qui englobent et interopèrent avec de nombreux intervenants : autres développeurs d'outils comme Agile et SmartOrg, fournisseurs et fabricants de masques, de circuits intégrés, de microprocesseurs, de logiciels embarqués, des services de fonderie, des consultants spécialisés comme Cambridge Consultants, le client, etc. Les outils intègrent des connaissances des procédés permettant ainsi de concevoir la séquence de fabrication, visualiser et valider la performance du produit à chaque étape, et ainsi développer simultanément le produit et les procédés pour le fabriquer. Sommairement, deux types solutions ou plates-formes de conception et d'ingénierie sont proposés dans cet environnement :

- Plate-forme de technologies avancées, pour la conception de nouveaux semi-conducteurs et nouvelles générations de technologies de fabrication à des tailles nanométriques (0,13 µm à 65 µm);
- Plate-forme de technologies éprouvées, soit des outils supportant un éventail éprouvé de modèles, procédés et technologies de fabrication.

Nous remarquerons que pour chaque catégorie d'application correspond un type de plate-forme. Les ressources requises pour concevoir des applications avancées par exemple en nano médecine sont différentes et plus spécialisées que pour concevoir des applications microélectroniques plus courantes. Ainsi, les exigences de conception rendent les outils de plus en plus spécifiques aux applications à développer et par conséquent, les firmes aussi qui doivent assembler et développer des savoirs spécifiques. L'analyse de l'environnement et les entrevues réalisées, nous suggèrent qu'il y a un phénomène d'émulation entre la chaîne de création d'outils d'aide à la conception avec le système de conception d'applications auxquels les outils s'adressent. La logique d'innovation du développeur d'outils « suit » donc la logique du système de conception des produits dont lesdits outils souhaitent soutenir la conception.

Les cas des firmes Agile et Cadence illustrent bien la spécificité évoquée ci-devant et leurs engagements envers la chaîne de valeur en microélectronique. Les firmes établissent des partenariats avec des clients, étudient leurs besoins, procédés et processus, ce qu'ils veulent accomplir. Elles doivent aussi équilibrer le changement radical et incrémental en concevant des solutions qui assurent la compatibilité avec les systèmes existants et réduisent les impacts sur tous les membres de l'écosystème client. Elles doivent pour ce faire collaborer avec tous les membres de l'écosystème (manufacturiers, fabricants spécialisés de masque, ingénieurs, etc.) et implanter des programmes de support aux développeurs, etc.

Pour répondre aux spécificités du domaine, des leaders comme Cadence développent des plates-formes de conception intégrant de nombreux outils inter opérables pouvant être utilisés de façon simultanée. Les différentes plates-formes inter opérables développées par Cadence permettent aux équipes de conception des clients de procéder à des vérifications de performance sur des prototypes virtuels (intégrité des signaux, logique des circuits, etc.) tout en coordonnant les activités des différentes équipes de spécialistes. Ces plates-formes fournissent également des méthodologies et des pratiques éprouvées de conception permettant d'intégrer dès les premières étapes, les considérations de faisabilité de fabrication. En plus de ces plates-formes, Cadence a développé des ensembles d'outils ou « kits » (*AMS Methodology kit, RF Design Methodology kit, etc.*). Chaque ensemble est destiné à la conception d'applications spécifiques, intégrant méthodologies et technologies standard éprouvées. De telles initiatives stimulent et organisent l'innovation de la chaîne de création d'outils et contribuent à structurer l'écosystème de conception des clients.

Tel que discuté, les firmes présentées aux tableaux 5.3a, 5.3b et 5.3c sont des firmes spécialisées dans le développement d'outils et services d'aide à la conception d'applications en microélectronique. Tout en présentant des

similitudes, ces firmes montrent des différences significatives avec les autres firmes de l'échantillon.

5.2.3 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications de type MEMS et nano technologique

Ce champ d'application représente un cas particulier de la chaîne de création d'applications en microélectronique tel que vu à la section précédente. La spécificité y est encore plus accentuée. Nous considérons ici un domaine de technologies avancées où l'expérimentation aux fins de la conception, l'instrumentation et les technologies de fabrication prennent une importance très marquée. C'est un domaine en émergence et à forte intensité de recherche fondamentale où un effort substantiel est consenti par l'industrie à l'élaboration de cartes technologiques pour guider le développement de produit.

Les systèmes dits MEMS pour *Micro-Electro-Mechanical Systems* intègrent, grâce à des technologies de micro fabrication, des éléments mécaniques et électroniques liés à un substrat de silicium. Les composants micro-électro-mécaniques sont fabriqués en utilisant des processus de micro usinage pour former les dispositifs complexes pour des applications dans de nombreux domaines (automobile, produits médicaux, etc.). Les systèmes MEMS permettent de révolutionner presque chaque catégorie de produit grâce à la réalisation de micro puces-systèmes intelligents (*Intelligent Systems on a Chip*) qui captent et réagissent à des phénomènes mécaniques, thermaux, biologiques, chimiques, optiques, magnétiques, etc. Quant aux nano technologies, elles découlent de l'application de connaissances provenant de diverses disciplines comme la chimie, le génie des matériaux, la physique, etc., et s'intègrent dans la conception et la fabrication de nombreuses applications industrielles et commerciales. C'est un secteur émergeant où de nouveau produits incorporant des nano technologies sont introduits sur le

marché à tous les jours (nouveaux catalyseurs, composés nano bio technologiques, etc.).

Dans ces domaines d'applications avancées, les technologies sont encore immatures et cela se reflète au niveau des outils d'aide à la conception. En comparaison avec le secteur de la microélectronique où les problèmes sont essentiellement des problèmes physiques, les secteurs des MEMS et des nano technologies combinent non seulement des phénomènes physiques et mécaniques, mais aussi, comme dans des applications en sciences de la vie, des phénomènes biologiques et biochimiques. Pour plusieurs applications potentielles, les concepteurs sont en présence d'interactions de phénomènes scientifiques très complexes : électro-mécanique, thermo-mécanique, microstructures, microfluides, électrostatique, électrochimique, etc.

Les résultats de l'analyse des cas des firmes spécialisées dans la chaîne de création d'outils d'aide à la conception pour les domaines d'applications de type MEMS et nano technologique sont présentés aux tableaux 5.4a, 5.4b et 5.4c ci-après.

Tableau 5.4a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Atomistix	<p>Spécificité des connaissances : Our first and foremost commitment is our customers, whom we provide unique software solutions and services to gain comprehensive insight and understanding in nanostructures. We assist them using our software to gain competitive advantages in their nanotechnology-based projects.</p> <p>Concurrence et risques : At the industry level, a stronger awareness of governments and major players in the industry about the potential but also the constraints concerning the development of products based on nanotechnology, helped to structure efforts and gave direction for innovation.</p> <p>Exigences spécifiques clients : Our niche is to provide to customers software solutions helping to better understand and predict performance of components, ingredients, nano products, and novel materials at nano scale.</p>	1
Intellisense	<p>Système de conception : What differentiate MEMS application market than mass electronics, at least at this stage, is that we must use in a more formal way a Design For Manufacturing approach in order to validate the manufacturability of a concept. It is important to understand that. The prototype to manufacturing process is something that must be engineer from the first model of a MEMS device.</p> <p>Spécificité des connaissances : We are committed to providing the best tools and solutions in the business. Intellisense is now the leading innovator and supplier of design and development solutions for the MEMS market. We now serve a user base located in more than 25 countries.</p> <p>Concurrence et risques : We believe that MEMS and nanotechnology will have dramatic impact on our society. Mass production chips and electronics are well established but MEMS market potential creates the need for new design tools. EDA tools are addressing regular business. There are automated processes and we control manufacturing. However, MEMS design and manufacturing complexity triggers innovation.</p> <p>Exigences spécifiques clients : To have the possibility to adjust design to custom fabrication services for customers is key. It is important for custom MEMS design that design and process development engineers work closely together.</p>	3

Tableau 5.4a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
Nanostellar	<p><i>Spécificité des connaissances :</i> Well, the most fundamental design methods involve quantum chemistry and density functional theory, which provide atomic-level data on structure and reactivity. We need also extensive knowledge in advanced physics and synthetic chemistry. Many of our employees have a Ph.D in material science; others are computational scientists, etc.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> It is very hard for a small firm to structure this market. We play a role but we are not 3M. There are a lot of new discoveries and potential and the demand for quality products is there.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> Car and truck manufacturers and their suppliers need materials that will help them reduce their costs while improving quality and performance of their vehicles. It is an important issue for them to have catalytic materials for emission controls.</p>	1
Nano Titan	<p><i>Spécificité des connaissances :</i> For us, nanotechnology is concerning the design, characterization, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at the nano scale. We need more effort in controlling the science involved and in the engineering of such products. If you talk about nano engineering per say, it is not very well established.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> After that, we must possess or develop the knowledge as how such a concept can be engineered for a specific application domain. We'll work closely with customers to understand their unique requirements and deliver the right solution for them.</p>	<p>Total</p> <p>3</p>
Phoenix	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> With our database we provide a flexible and easy-to-use software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back.</p> <p><i>Système de conception :</i> The lab serves as a prototyping and validating platform. It serves to validate the design of a product and the process to produce it. Experimentation on devices gives data that feed design and process. These sets of data need to be shared with different team members in order to act on.</p>	<p>Total</p> <p>2</p>

Tableau 5.4a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Concurrence et risques :	<p>Per example, parametric design for MEMS and micro optics has seen different design generations if you will during the last 20 years. The main evolution concerned the increased complexity of designing such systems. Much more components and more complex configurations are considered and of course, miniaturization is driving everything.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients:</i> With our database we provide a flexible and easy-to-uses software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back. The platform consists of several modules, tailored to the customer's development environment.</p>	1
Silex	<p><i>Système de conception :</i> They need us to bridge R&D and new product design with mass manufacturing. We address the difficulties to develop MEMS products by providing expertise in R&D, design and fabrication. We provide ramp up capabilities and tailored manufacturing. To do that, we need to adapt methods and practices for each type of application. It is more complex.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> If you take only the cost of transferring the technology from a prototyping facility to a large manufacturing facility where they have all of the processes available, the start up cost will be somewhere between 25,000 and 75,000 Euro, assuming there are no design or process changes during the transfer. So it's important to think carefully of your design and develop into one of the standard MEMS processes such as lithography, etching, etc. The product must be economically produced and be performant.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> MEMS are increasingly in demand in many sectors. Minimizing time to market and efficiently transitioning products from R&D to production is a vital element for success in the MEMS industry. It is an emerging market requiring new technologies and methodologies. Scientific, technical and business problems need solutions. Not all product concepts are reaching market.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients:</i> The opportunity is that it can take time to solve complex problems for new applications and large manufacturers can not allocate all the time in their production facilities to test and arrive at a solid application. To do that, we need to adapt methods and practices for each type of application. It is more complex, not as in mass electronics.</p>	1

Tableau 5.4a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Softmems	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> For developing MEMS applications, a significantly different effort must be put on design and experimentation phases. You're in an emerging market requiring new tools and flexibility. SoftMEMS software can link to mechanical design and automation tools from other firms like Ansys, Comsol, Dassault and MSC Software. Our solutions enable engineers to create MEMS chips that integrate with electronic circuits created with EDA tools.</p> <p><i>Système de conception :</i> Each MEMS application has its own custom development, so it's a non-scalable effort, which makes it a challenge for customers to reuse what they've done. The initial cost of development is high and the second implementation is not that much cheaper.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> MEMS work in mixed technical domains, so there are collaborative teams including, for example, bioengineers, electronics engineers and packaging and test specialists. This adds complexity to new product development. Moreover, EDA vendors don't really have tools that are specifically designed for MEMS. Also, because MEMS can involve a number of manufacturing techniques and the interaction of several disciplines, it is hard to develop primitives like the standard cells used in digital logic design.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> The MEMS-specific software market is still in its development stage. But this emerging software market is aiming to support the MEMS hardware market, in a similar way to how the EDA market follows the semiconductor market. SoftMEMS focuses on adding design tools specifically for MEMS application's market. It is important to note that EDA suppliers are huge companies with lots of resources. However, they pursue other objectives. They typically serve large customers for mainstream electronics.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> By integrating our tools with existing EDA tool sets, we can offer designers to co-design electronics with MEMS chips from the design environment of their EDA platform. We supply a complete MEMS tool set, and designers can use our EDA linker to create component models. For this we have to provide design kits and libraries that work with IC manufacturers' processes, enabling engineers to efficiently realize MEMS chips ultimately at a variety of manufacturing facilities.</p>	1

Tableau 5.4a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite et fin)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Prevas	<p><i>Concurrence et risques :</i> The year 2000 shock provided some concerns regarding reliability of IT systems. After that, it was the IT hype and bubble that drained a lot of engineers from product development units in large firms. Some companies almost stopped to invest in product development capability. Now they want to catch up.</p>	<p>Total 1</p>

Tableau 5.4b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Atomistix	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> The strength of our tools is to provide flexibility to describe systems of different symmetries like molecules, crystals, nanostructures, etc. With the software, nanotechnology scientists and engineers are able to develop materials and designing products with radically new properties and functions.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> It provides engineers state of the art quantum mechanical models, calculation capacities of properties, etc. It help engineers and scientists to define geometrical configuration, visualize molecules as 3D models and then analyze them, test properties, create assemblies, etc.</p>	1
Intellisense	<p><i>Places-formes technologiques :</i> We innovated with a specific CAD architecture platform for MEMS regrouping advanced MEMS libraries. Our solutions can be linked with EDA systems like those of Cadence, mentor, etc.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Our flagship product is IntelliSuite which is composed of modules for design modeling, analysis, economic modelling, process, etc. If you look at IntelliSuite, you'll see that it fits in a living design environment that allows program managers, system architects and electrical engineers, device and package designers, process engineers and operators, and test and manufacturing engineers to efficiently work together to create first-time-right, manufacturable designs.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Our goal is to provide specific and relevant knowledge expertise for MEMS design. There are several areas of competences we must possess like knowledge and competences in computational techniques, numerical simulation, opto-mechanical modeling, strong knowledge in fluids, electric, physics, mixes, etc. The most important competence is to understand the complexity of designing applications such as biomedical sensors, RF systems, etc. Its very specific knowledge, it is always at the edge.</p>	1
Nanostellar	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> To address this situation, we developed a rational catalyst design methodology using fundamental knowledge of a catalyst's structure and properties to guide the creation of new products.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> A very important element of our approach is the combination of computational methods with experimental approaches. While our computational methods can provide a great deal of data, customers require experimental data to compliment and verify theoretical work. To address this situation, we developed a rational catalyst design methodology using fundamental knowledge of a catalyst's structure and properties to guide the creation of new products.</p>	1

Tableau 5.4b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firme	Système stratégique déployé	Intensité
NanoTitan	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Our nanoXplore software application helps customers explore all dimensions of a nano device and supports creation, engineering and communication of nano device designs. It is an advanced 3D design environment for engineers and scientists involved.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> To address the needs to get access to the relevant knowledge while designing, we integrated to this design environment knowledge database in the form of libraries. We add too what we call the NanoTitan's nCyclopedia which is a searchable encyclopedia, where a user can find information on many nanotechnology-related topics.</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>Total</p> <p>2</p> <p>1</p>
Phoenix	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> We have a partner training and certification program for users of our technologies. The partner program is offered to companies providing solutions in extension to our products, in particular the database products and simulation software. The certification program validates the working methodologies of the partners to ensure consistency between developers and system reliability.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> The lab serves as a prototyping and validating platform. It serves to validate the design of a product and the process to produce it. With our database we provide a flexible and easy-to-use software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back. The platform consists of several modules, tailored to the customer's development environment.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We consider our solutions very capable to bridge between the R&D and design teams and the real clean room environment ensuring that way the implementation of an efficient validation loop. PhoenixX software facilitates communication from R&D labs to design to production. It also assists the tasks of designing and modeling the process to manufacture the product.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> PhoenixX delivers a wide range of dedicated software tools to support micro- and nanotechnology designers and researchers. We provide generic tools for lay-out and process flow design, simulation tools, libraries, etc. PhoenixX software helps designers to integrate the production and design processes and knowledge to further reduce the overall design and production cycle, risk, time and cost.</p> <p><i>Intér opérabilité :</i> Now, we need to address connectivity and inter operability issues because it is needed to bridge more rapidly design with manufacturing and more people for different locations are involved. I see that as a key differentiation element between generations of software.</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>Total</p> <p>5</p>

Tableau 5.4b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Silex	<p><i>Plates-formes technologiques :</i> Our vision is to be the most advanced and effective provider of foundry services for MEMS application market. Our goal is to help our customers take full advantage of MEMS technology for their product lines by using our design expertise and manufacturing capabilities. We are one of the leading dedicated 150mm wafer manufacturer.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Our role is to assist customers in the process of creating a new MEMS application that will be feasible in terms of manufacturability and economics.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Our goal is to provide the specific knowledge and infrastructure to help customers to really capture the benefits that MEMS can bring in their own products.</p>	1
Softmems	<p><i>Plates-formes technologiques :</i> From year one, we developed 4 product platforms for modelling, design and verification specifically addressing MEMS applications and these tools embed specific design methodologies for MEMS. By integrating our tools with existing EDA tool sets, we can offer designers to co-design electronics with MEMS chips from the design environment of their EDA platform.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We use various techniques to capture the behaviour of MEMS and produce models that are relevant in the context of other design tools. Sometimes the basic model is simply a table of experimental data. Other times it may be a complex model tested in a system. If we want to add value, it means understanding and providing software bringing solutions to the scientific and engineering issues involved.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> What we do is take EDA tools approach and make them useful for MEMS problems. We encapsulate design rules for each applications area, so we have, for example, device rules for making pressure sensors. We think of the tools as encapsulating the knowledge gained in the field by us, our customers and partners.</p>	3

Tableau 5.4b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite et fin)

Firme	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Inter opérabilité :</i> SoftMEMS' software can link to mechanical design and automation tools from other firms like Ansys, Comsol, Dassault and MSC Software. Our solutions enable engineers to create MEMS chips that integrate with electronic circuits created with EDA tools.</p>	<p>1</p> <p>Total 4</p>
Prevas	<p><i>Places-formes technologiques :</i> What is important is our knowledge of technology platforms and recent advancements.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> Prevas help SME firms by providing product development capabilities. We have a track record of 2000 products developed and Prevas acts as a product developing force for customers. We provide methodologies and practices based on our experience and specialized expertise with different technology platform and contexts.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Our business model is to gather the advanced knowledge and technologies required for a project rather than focus on developing science per say.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> It is always present either for technological or business reasons. But it brings also opportunities. In fact, it is not an issue for Prevas, we can engineer interfaces to get through or around inter operability issues.</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>Total 4</p>

Tel que le montre le tableau 5.4a, les indices d'intensité des forces de marché dominantes perçues pour les firmes de cette chaîne montrent une plus grande variabilité que celles discutées aux précédentes sections. Sur les huit (8) firmes, une seule a un indice de 5 (Softmems), trois (3) ont un indice de 4 (Intellisense, Phoenix et Silex), deux (2) ont un indice de 3 (Atomistix et Nanostellar), une (1) a un indice de 2 (NanoTitan) et une firme possède un indice de 1. Aucune firme ne détient un indice maximal de 6. Malgré le fait que six (6) firmes détiennent un indice égal ou supérieur à 3, représenté notamment par *Spécificité des connaissances, Concurrence et risques et Exigences spécifiques clients*, ces résultats étendus illustrent une chaîne de création d'outils émergeante où les firmes semblent moins en mesure de capter l'ensemble des forces de marché dominantes. Cela reflète en outre pour ces types d'application des systèmes de conception encore immatures.

La même diversité s'observe en ce qui a trait aux systèmes stratégiques déployés par les firmes (tableau 5.4b). Une seule firme (Phoenix) détient un indice d'intensité de déploiement de systèmes stratégiques égal à 5, soit le maximum. Les indices d'intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation données au tableau 5.4c montrent que de façon générale, les firmes n'utilisent pas les règles de manière optimale. Aucune n'utilise les quatre (4) règles et une seule (NanoTitan) détient un indice de 3. Les règles de gouvernance de l'innovation les plus fréquemment utilisées sont *Virtualité et immersion et Intégration et architecture au plan matériel et logiciel*.

Tableau 5.4c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie

Firm	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Atomistix	<p><i>Virtualité et immersion :</i> In this field, atomic-scale modeling is indispensable when it comes to simulating properties and behavior and analyzing atomic-scale performance of nano scale devices.</p>	1
Intellisense	<p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> We innovated with a specific CAD architecture for MEMS regrouping advanced MEMS libraries. Our solutions can be linked with EDA systems like those of Cadence, mentor, etc.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> IntelliSense is providing innovative CAD tools for MEMS. In 1993, we released the first MEMS software tool and, in 1995, we introduced the first completely integrated MEMS CAD tool and opened one of the first MEMS-specific foundries.</p>	<p>Total 1</p> <p>1</p>
Nanostellar	<p><i>Virtualité et immersion :</i> A very important element of our approach is the combination of computational methods with experimental approaches. The nano informatics capacities we provide help to prioritize the experimental work toward the most promising new materials.</p>	<p>Total 2</p> <p>1</p>
NanoTitan	<p><i>Accessibilité de l'information technique :</i> To address the needs to get access to the relevant knowledge while designing, we integrated to this design environment knowledge database in the form of libraries.</p> <p><i>Intégration des ressources :</i> Our goal is to provide solutions assisting customers in every phase from research to design and ultimately manufacturing. It means providing design, simulation, and visualization and integration capabilities.</p> <p><i>Virtualité et immersion :</i> Our nanoXplore software application helps customers explore all dimensions of a nano device and supports creation, engineering and communication of nano device designs. It is an advanced 3D design environment for engineers and scientists involved.</p>	<p>Total 1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>3</p>

Tableau 5.4c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite)

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Phoenix	<i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> With our database we provide a flexible and easy-to-use software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back. The platform consists of several modules, tailored to the customer's development environment.	1
	<i>Virtualité et immersion :</i> PhoenixX delivers a wide range of dedicated software tools to support micro- and nanotechnology designers and researchers. We provide generic tools for lay-out and process flow design, simulation tools, libraries, etc.	1
Silex	<i>Formalisation des processus :</i> They need us to bridge R&D and new product design with mass manufacturing. We address the difficulties to develop MEMS products by providing expertise in R&D, design and fabrication. We provide ramp up capabilities and tailored manufacturing. To do that, we need to adapt methods and practices for each type of application.	2
	<i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Our role is to assist customers in the process of creating a new MEMS application that will be feasible in terms of manufacturability and economics. We provide prototyping, testing facilities, etc. for our customers in Telecom, life science, etc. Manufacturing is still the cornerstone of Silex's growth strategy and we continue to expand our manufacturing capacity in response to future volume demands.	1
Softmems	<i>Accessibilité de l'information technique :</i> For this we have to provide design kits and libraries that work with IC manufacturers' processes, enabling engineers to efficiently realize MEMS chips ultimately at a variety of manufacturing facilities.	1
	<i>Virtualité et immersion :</i> What we do is take EDA tools approach and make them useful for MEMS problems. We encapsulate design rules for each applications area, so we have, for example, device rules for making pressure sensors. We use various techniques to capture the behavior of MEMS and produce models that are relevant in the context of other design tools.	2

Tableau 5.4c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant les domaines MEMS et nano technologie (suite et fin)

Firm	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Previas	<p><i>Formalisation des processus :</i> Previas help SME firms by providing product development capabilities. We have a track record of 2000 products developed and Previas acts as a product developing force for customers. We provide methodologies and practices based on our experience and specialized expertise with different technology platform and contexts.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> To earn money as consultant alone is hard. We acquired 10 technologies from a Danish firm to start this new strategy in the embedded system domain.</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>Total 2</p>

Les firmes œuvrant dans cette chaîne de création d'outils montrent certaines similitudes avec les firmes décrites aux sections précédentes mais aussi des différences significatives. Les indices d'intensité ne nous permettent pas dans cette chaîne de création de reconnaître des groupes montrant des similitudes et une corrélation entre les forces de marché dominantes perçues, les systèmes stratégiques déployés et enfin, les règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ceci marque une différence importante avec les autres firmes de notre échantillon. De fait, elles desservent des clients très spécialisés dans des domaines d'application peu matures et émergents, caractérisés par une évolution technologique très intense, une formalisation faible des processus numérisés de création de produits et un rythme modéré d'introduction de nouveaux produits. En plus de la très haute spécificité des connaissances requises, les défis et la complexité se situent au niveau de la formalisation et l'intégration de nouvelles connaissances dans des systèmes de conception et de fabrication émergents.

En effet, le besoin d'application de type MEMS a stimulé de nouveaux outils d'aide à la conception requérant plus de fonctionnalités d'exploration et de recherche que pour les applications plus courantes en microélectronique. Ces outils, développés par des firmes comme Intellisense Software et Phoenix, intègrent des connaissances très diversifiées (physique du solide, chimie quantique, etc.). La majorité de ces outils offrent des capacités de représentation géométrique des structures aux niveaux moléculaire, atomique et sub atomique. Ils fournissent des bibliothèques de composants (transistor, etc.) que l'on peut assembler dans un modèle, à partir duquel on procédera à des analyses de performance. La firme Atomistix développe des outils de modélisation et de simulation permettant de visualiser atome par atome un cristal ou une molécule pour procéder par la suite à des analyses pour comprendre, évaluer et prédire la performance (résistance d'un nano tube, etc.).

D'autres outils et bases de données sont développés par des maisons d'édition comme Elsevier (*MSIT Workplace* ®, *Crysnet* ®, etc.) permettant de proposer de nouveaux matériaux, extraire des données de la littérature, prédire des propriétés de matériaux non développés ou non testés, etc. D'autres exemples d'outils spécialisés développés pour ces domaines sont ceux de la firme Softmems laquelle développe des outils de conception spécifiques pour le développement d'applications MEMS. Cette firme de taille modeste (10-20 employés) détient des connaissances très ciblées sur les applications MEMS et nano technologiques et ne dessert que ces marchés.

Par ailleurs, dans le processus actuel de développement d'applications de type MEMS et nano technologique la phase de laboratoire et d'essais est très importante. Sur les artefacts virtuels produits avec des outils logiciels, les concepteurs sont principalement concernés par la géométrie et les propriétés (chimiques, physiques, biologiques, optiques, etc.). Par contre, même si des outils permettent de modéliser des phénomènes complexes sur un artefact virtuel, les concepteurs ont besoin de voir, tester et mesurer sur des prototypes physiques. C'est la raison pour laquelle cette chaîne de création est marquée par le recours à tant d'instrumentation pour l'analyse et la caractérisation des substrats, nouveaux matériaux, minéraux, etc. Sur les artefacts physiques, l'attention est portée sur une analyse poussée à l'aide d'instruments sophistiqués, surtout pour des applications nano technologiques: microscope à force atomique (*Atomic force Microscope*), microscope à effet tunnel (*Scanning Tunnel Microscope*), diffractomètre à rayon X, etc. L'importance de cette étape de validation de l'artefact physique dans le processus de développement d'applications de type MEMS et nano technologique est représentée par la flèche en gras montrée à la figure 5.4 donnée ci-après.

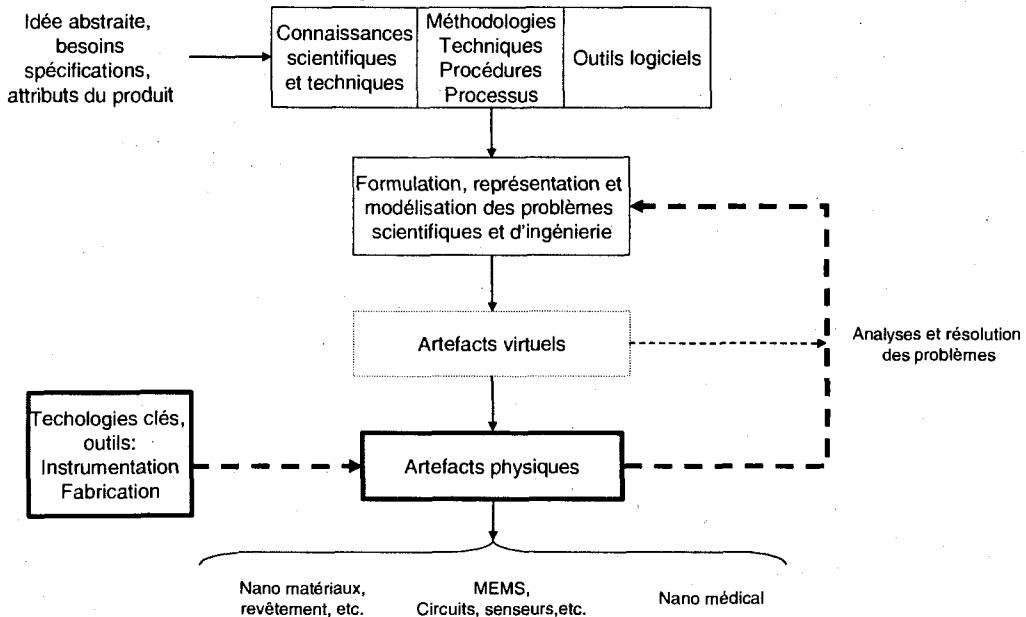


Figure 5.4 : Processus de développement d'applications MEMS et nano technologiques

De plus, ces processus de développement requièrent des équipements très spécialisés de fabrication, surtout dans le cas des nano technologies de nouvelles générations. L'étape de validation de la performance du concept, d'amplification et de la faisabilité de fabrication est aussi très importante (encore plus que dans le domaine de la microélectronique plus courante), étant donné la complexité des procédés et la taille des produits. L'importance de cette étape de validation nous suggère de la considérer comme une approche de fabrication pour design ou encore de bricolage pour design. Ces exigences obligent les concepteurs d'intégrer dès les premiers stades de la phase de conception, des connaissances reliées à la fabrication et c'est la raison pour laquelle nous retrouvons dans les outils destinés à ces domaines, des données de référence aux divers procédés pouvant être utilisés pour produire l'artefact.

Compte tenu de ce qui précède, dans plusieurs cas les firmes qui desservent le marché des applications MEMS possèdent aussi des capacités de fabrication et des laboratoires d'instrumentation lesquels sont dans certains cas plus importants que leur offre logicielle comme telle. Par exemple, Silex Microsystems située en Suède fournit des services de conception et des infrastructures de R&D et de fabrication. Ces infrastructures sont utilisées pour concevoir, fabriquer des prototypes, valider le design, tester, amplifier, etc. La firme engage des médecins et des experts spécialisés, notamment pour le développement d'applications MEMS destiné au secteur biomédical. Les connaissances des procédés de fabrication et des applications finales sont très importantes et c'est pourquoi des ingénieurs de procédés et des médecins sont impliqués dans le processus de conception.

Actuellement, comme ces domaines d'applications sont en émergence, les outils logiciels sont généralement moins matures que ceux rencontrés pour le développement d'applications microélectroniques plus courantes. Ces outils spécifiques fournissent l'intégration scientifique mais encore peu de fonctionnalités concernant une gestion unifiée des processus, des données et des systèmes complémentaires. Quelques outils comme ceux de la firme Phoenix fournissent des capacités pour gérer l'ensemble des processus et des données des projets de développement d'application MEMS et nano, mais cela demeure encore limité. Aucune firme n'a entrepris d'architecturer la chaîne de création d'outils d'aide à la conception.

Le paradigme d'innovation est caractérisé par une évolution scientifique rapide, la convergence de plusieurs trajectoires technologiques, une faible structuration de l'écosystème et une organisation industrielle de fabrication peu mature. La grande diversité et spécialisation des connaissances requises oblige les firmes à développer des outils visant à répondre d'abord aux exigences de base des concepteurs, soit de comprendre les phénomènes scientifiques en présence. Les exigences sophistiquées en

cause renforcent ainsi la spécificité des outils et des firmes envers des connaissances et des tâches très spécialisées. Le potentiel de développement d'outils est très important dans ces chaînes de création, car il y a encore beaucoup de formalisation scientifique et de numérisation des processus à accomplir. On y note peu de barrières à l'entrée et de nombreuses firmes spécialisées de petite taille.

Incidemment, le domaine des nano sciences progresse lentement d'une phase de recherche et de caractérisation vers une phase de conception et d'ingénierie (Mize, 2004). À mesure que la maîtrise des technologies de fabrication de précision à des échelles nanométriques augmentera au cours des 5 à 10 prochaines années, plus de produits devraient être en production. Des outils spécifiques d'aide à la conception aident à faire progresser le domaine et ce développement amènera aussi une évolution des outils eux-mêmes vers une plus grande maturité. Nous suggérons que le développement des outils ainsi que l'évolution des firmes se fera de façon contingente avec les singularités de systèmes de conception d'applications.

5.2.4 Chaîne de création d'outils d'aide à la conception d'applications en sciences de la vie

Les applications considérées ici sont de nouvelles thérapies sous la forme de vaccin, médicament ou autres thérapies chimique, biologique, génétique, protéomique, etc. Étant donné les spécificités du processus de développement d'un médicament, les outils d'aide à la conception y trouvent une place particulière. Pour les compagnies dans les domaines pharmaceutique, biotechnologique et leurs dérivés (bio nano technologique, bio médecine, etc.), l'innovation dans la recherche et le développement est cruciale. Les organisations s'acharnent à accroître l'efficacité des produits et l'efficience des processus de développement. Des améliorations marginales des processus peuvent engendrer des retours économiques importants. Par

conséquent, les compagnies dans ces domaines investissent des ressources considérables dans des technologies qui fournissent de nouvelles voies productives pour les activités de recherche et exploiter au maximum l'information, les données et les connaissances corporatives. Les outils logiciels d'aide à la conception font partie de ces technologies, car ceux-ci permettent aux utilisateurs de simuler des systèmes biologiques et chimiques, comprendre et prédire des propriétés et concevoir de nouveaux produits améliorés. Ils permettent aussi de gérer et « fouiller » les données scientifiques, les convertissant ainsi en informations utiles soutenant les processus de décisions.

Au sein de du processus de développement d'applications en science de la vie on retrouve quatre (4) types de technologies utilisées dans le processus de développement:

- a) Outils logiciels d'exploration, de R&D et d'aide à la conception (phase découverte): logiciels de modélisation moléculaire, applications bio informatiques, outils de visualisation, etc.;
- b) Outils de gestion des données de laboratoire et des processus : systèmes de gestion de données (*LIMS* : *Laboratory Information Management System*), bases de données, etc.;
- c) Technologies et instrumentation : plates-formes et équipements d'analyse, de tri, séquençage, gels, colonnes, etc.;
- d) Outils de gestion des données cliniques : logiciels et équipements de gestion des données médicales sur les patients lors des phases cliniques servant au processus d'homologation.

Les catégories a, b et d sont en émergence. Les technologies et instrumentation diverses (catégorie c) sont quant à elles très développées et des firmes importantes sont présentes dans le marché (Invitrogen, Pharmacia, Genetech, Agilent, etc.). Dans la catégorie des outils

d'exploration (a), sur laquelle se porte notre attention, il y a beaucoup de joueurs, surtout des firmes de petite taille (5-20 employés) dérivées d'activités de recherche.

Les résultats de l'analyse des cas des firmes spécialisées dans ce domaine d'application sont présentés aux tableaux 5.5a, 5.5b et 5.5c ci-après.

Tableau 5.5a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Accelys	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> Pharma is doing modelling in complement to lab experiments. Others applications are used by other groups down the process.</p> <p><i>Système de conception :</i> The integration of informatics capabilities and provision of collaborative enterprise environment must be pursued through the development of integrated software platforms for discovery research.</p> <p><i>Paradigme d'innovation :</i> You know, because of the barriers and obstacles in the information and knowledge flows, teams involved in drug development process needs scientific integration. The goal is to increase the productivity of research processes, identify dead end, discriminate options, select early potential candidates, etc.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> In biology, we have a fairly good standard as to describe data, notations, etc. In chemistry and material sciences, the standardization dimension is weak and it is more or less related to the state of the industry.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> There are a lot of small developers who lose money. They offer closed application, point optimizing solutions. They are on a bad trajectory. They don't have the capabilities to propose a coherent framework. That is why there is a lot of consolidation in the industry and this continues.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> Our bioinformatics, proteomics, and structural biology software provide tools that enable researchers to tackle the range of problems inherent in moving from gene sequence data to fully characterized targets for drug discovery projects.</p>	1
Elan	<p><i>Interdépendance des firmes :</i> First, the regulators. After, some key people inside the company. Again, it is a lot of relations. We work also with engineering contractors when the customers build plants.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> We realized that deep knowledge of the application domains of our customers constitutes a barrier of entry for other provider. We use this knowledge in the solutions and systems we commercialise. For example, we commercialize a solution which ensures integration and tracking of data from weighing centers in plants. The system gives access to all data pertaining to ingredients, codes that and make link with compliance.</p>	1

Tableau 5.5a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie (suite et fin)

Firme	Force de marché dominante	Intensité
	<p><i>Système de conception :</i> Pharmaceutical, food and cosmetology markets are innovative markets but at the same time very conservative. They need traceability solutions to ensure compliance with authorities and good manufacturing practices. In that respect, there is a lot of documentation and tracking to ensure during design, formulation and manufacturing stages. Our job is to help customers manage the complete life cycle of a drug or a food product.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> For them, the value is on IP, their ability to manage the development phases and get FDA approval, and also marketing (branding, distribution, etc). The goal for them is then to optimize the manufacturing system while preserving the innovation practices of the company which is relying on highly qualified personnel (scientists, technicians, operators, etc.).</p>	1
Invitrogen	<p><i>Concurrence et risques :</i> Traditionally, pharmaceutical companies were developing chemically based drugs. Now, it is changing slowly to biologically based drugs with the help of the decoding of the genome. It created a discontinuity in the approaches and techniques. The pressure to reduce the time and cost of the clinical trials is very strong. Everybody is rethinking the discovery process and the industry is maturing, there are less start ups.</p> <p><i>Spécificité des connaissances :</i> Generally speaking, in bioscience it goes very fast. The advances a firm don't last very long if ideas are not protected. The science turnover is about 3 years. However, combination of solutions is what major players are looking for which means the use of bioinformatics, tools and lab kits and reliable execution techniques for trials. That is what they are looking at. Lots of efforts are targeted to improvement in these respective domains.</p>	Total 4 1 Total 1 1 Total 2

Tableau 5.5b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Accelrys	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> We also offer open access to many of our software development environments, within which customers and third-party licensees can develop, integrate and distribute their own software applications for computational chemistry, biology and material research. To foster the expansion of a thriving community around Pipeline Pilot, we encourage other software vendors, including our competitors, to integrate with the platform so that researchers have the freedom to assemble complete software solutions containing the best tools for their particular application, even when come from other vendors.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i></p>	1
Elan	<p>The Discovery Studio software combines updated infrastructure technology and market leading science acquired and developed by us. This platform allows us to deliver molecular modeling and simulation desktop products to new classes of users, through the advantages of client-server computing.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We provide predictive in-silico techniques to replace physical experiments. Our bioinformatics, proteomics, and structural biology software provide tools that enable researchers to tackle the range of problems inherent in moving from gene sequence data to fully characterized targets for drug discovery projects. Pipeline Pilot enables researchers to create sophisticated computing routines that automate days of manual effort with a single step.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Accelrys provides integration of scientific knowledge through application software to assist R&D people, scientists in nano science and pharma sectors in their drug, new material and new device development process. We have a broad product suite consisting of over 100 application modules based on proprietary technologies that employs fundamental scientific principles, advanced computer visualization, molecular modeling techniques and computational chemistry.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> We have pioneered open scientific software architecture such as our Cerius, Insight II and Pipeline Pilot software. Many customers have used our published programming interfaces to incorporate and customize new methods into these software packages. Further, the approach allows data from disparate sources such as databases and flat files to be processed together without first creating and loading a single unifying data management system.</p>	1

Tableau 5.5b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie (suite et fin)

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Invitrogen	<p><i>Productivité et résolution de problèmes</i> We develop products that increase the productivity of research teams and laboratory personnel in their discovery projects. Our business model is based on accumulated knowledge from repetitive experiments. With that knowledge embedded in kits, we help customers to reduce the time of experiments by providing better control on lab conditions and predictability. The kits are assembled, formalized scientific protocols that deliver repeatable and controllable conditions for experiments.</p>	1

Tel que le montre le tableau 5.5a, les indices d'intensité des forces de marché dominantes perçues font ressortir des différences significatives entre les trois (3) firmes desservant cette chaîne. La firme Accelrys dont l'indice d'intensité est de 6 représente un cas type de développeur d'outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement spécialisé dans le domaine. La firme Elan développe également des logiciels mais ceux-ci sont destinés à supporter la gestion de données en lien avec la fabrication. Néanmoins, Elan montre des similitudes avec Accelrys sur le plan de *Interdépendance des firmes, Spécificité des connaissances, Système de conception et Exigences spécifiques clients*. Elles diffèrent par contre sur le plan de la perception du *Paradigme d'innovation* et de *Concurrence et risques*. La firme Invitrogen quant à elle se distingue avec un indice de 2 illustrant la perception de la firme à l'égard des forces de marché dominantes *Concurrence et risques* et *Spécificité des connaissances*. Cette distinction reflète le type de produits que la firme développe, soit des ensembles technologiques (kits) destinés à des essais en laboratoire.

En ce qui a trait aux systèmes stratégiques déployés (tableau 5.5b), la firme Accelrys se distingue nettement des deux autres firmes avec un indice d'intensité de déploiement de systèmes stratégiques maximum de 5. Les deux (2) autres firmes montrent un indice d'intensité de déploiement des systèmes stratégiques égal à 1, soit le minimum. Bien associées à la conception et à l'ingénierie de produit, des différences importantes ressortent entre ces firmes. Il appert que la nature de l'orientation de chacune des firmes imprime à celles-ci des options différentes en termes de déploiement de systèmes stratégiques.

Les intensités d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes données au tableau 5.5c montrent aussi une certaine corrélation avec les indices d'intensité des systèmes stratégiques. La firme Accelrys détient

un indice maximum de 4 et les deux (2) autres firmes possèdent des indices de 2 (Elan) et 1 (Invitrogen). Accelrys utilisent les quatre (4) règles de gouvernance de l'innovation et comme elle possède des indices maximum dans les autres catégories d'indice, elle se distingue très nettement des deux autres firmes.

Tableau 5.5c: Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant le domaine des sciences de la vie

Firmes	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Accelrys	<p>Accessibilité de l'information technique : In addition, we are broadening our user base by enabling straightforward access to these methods by a much larger population of scientists and engineers who do not currently use modeling and simulation software. This also helps expert modellers to connect and communicate more effectively with other research organizations.</p> <p>Formalisation des processus : for the automation and integration of scientific data processing. By connecting together modular processing steps into a network through which data flows, Pipeline Pilot enables researchers to create sophisticated computing routines that automate days of manual effort with a single step.</p>	1
Elan	<p>Intégration et architecture au plan matériel/ et logiciel : Accelrys provides integration of scientific knowledge through application software to assist R&D people, scientists in and pharma sector in their drug, new material and new device development process. The goal of Accelrys is then to provide platforms allowing integration of applications and leading the way as being the facto standard.</p>	1
Invitrogen	<p>Virtualité et immersion : We provide predictive in-silico techniques to replace physical experiments. This helps expert modellers to connect and communicate more effectively with other research organizations.</p>	1

Les firmes œuvrant dans cette chaîne de création montrent une grande divergence. Il y a certes des similitudes en ce qui a trait à certains concepts mais en général des différences importantes sont observées. Par ailleurs, la firme Accelrys montre des similitudes avec des firmes œuvrant dans d'autres chaînes décrites et possédant également des indices d'intensité maximum dans plusieurs catégories. La firme Elan développe certes des solutions logicielles mais celles-ci n'assistent pas la conception. Quant à la firme Invitrogen, elle est spécialisée dans la conception et la fabrication d'ensembles technologiques utilisés dans les laboratoires des compagnies pharmaceutiques et des universités. Il y a donc des points de similitude entre des firmes de l'échantillon bien que celles-ci s'investissent dans des domaines d'application différents. Spécifiquement, les firmes œuvrant dans le domaine des sciences de la vie desservent des clients de taille importante dans un domaine d'application très mature, caractérisé par une évolution scientifique et technologique intense, une faible formalisation des processus numérisés de création de produits et un rythme lent d'introduction de nouveaux produits. La complexité et les défis dans le système de conception se situent au niveau de la productivité de la R&D et des processus de validation et d'approbation des nouveaux produits.

Compte tenu de ce qui précède, le cas de la firme Accelrys incorporée en 1993 dont le siège social est situé à San Diego en Californie, est un cas distinct dans ce segment, par sa taille (plus de 600 employés) et sa gamme d'outils logiciels. Ayant commercialisé son premier outil de simulation en 1989, Accelrys développe et commercialise des logiciels scientifiques de modélisation moléculaire, de simulation, de bio-informatique et de support à la décision pour les activités de R&D et d'ingénierie de produits dans les marchés des sciences de la vie. Accelrys est le résultat de nombreuses fusions et acquisitions de firmes pionnières dans le domaine de l'informatique appliquée à la chimie moléculaire, la chimie quantique et la mécanique quantique, laquelle a pris naissance de travaux de plusieurs

universités et compagnies dérivées de la recherche. Ces firmes incorporées dans Accelrys sont Molecular Simulations (fondée en 1984), Oxford Molecular (1989), Synopsys Scientific Systems (1992), Synomics (1997) et Scitegic (1999). En intégrant en 2001 ces cinq firmes, lesquelles avaient elles-mêmes acquises d'autres firmes, Accelrys combine aujourd'hui l'expérience de 17 firmes et la propriété intellectuelle développées durant les 25 dernières années dans les domaines de la simulation, la bio et la chimie informatique.

Dans cette chaîne de création d'outils encore peu structurée, il y a de nombreux groupes et centres de recherche qui développent des outils souvent gratuits ou à code source ouvert, en plus des firmes commercialisant des outils propriétaires. On peut considérer ces organisations émergeant de deux pôles : un premier où le noyau d'expertise imbriqué dans les outils relève des disciplines biologiques et médicales (physiologie, pharmacologie, etc.), et un deuxième où les connaissances sont plutôt associées aux mathématiques et à l'informatique comme telles. On observe dans cette chaîne une foule de solutions, dont l'incompatibilité, la - non inter opérabilité - demeurent très élevés. Cette incompatibilité se note sur le plan logiciel et des formats de données. Comme il y a une grande diversité de formats de données, on observe par conséquent un besoin important de normalisation et de formalisation. Aussi, on peut noter une incompatibilité au niveau des processus, car pour des thérapies médicales différentes, on aura des activités particulières et par conséquent, des processus différents. En outre, il est à remarquer qu'étant très conservatrice, l'industrie pharmaceutique utilise des outils logiciels pour la découverte et l'exploration en complément à la chimie combinatoire et aux essais. Ainsi, les faibles taux d'adoption et de demande pour de tels outils par les clients engendrent un certain retard dans le développement de solutions logicielles complètes et intégrées.

Le processus spécifique de développement de médicament débute par une phase d'exploration et de découverte. Celle-ci vise à comprendre le modèle d'une maladie considérée et identifier un modèle thérapeutique. On tente à ce stade d'identifier et comprendre les phénomènes en présence, soit les fonctions déficientes, les processus et composants impliqués (enzyme, protéine, gène, etc.). La figure 5.5 montre un processus schématique simplifié de création d'un médicament.

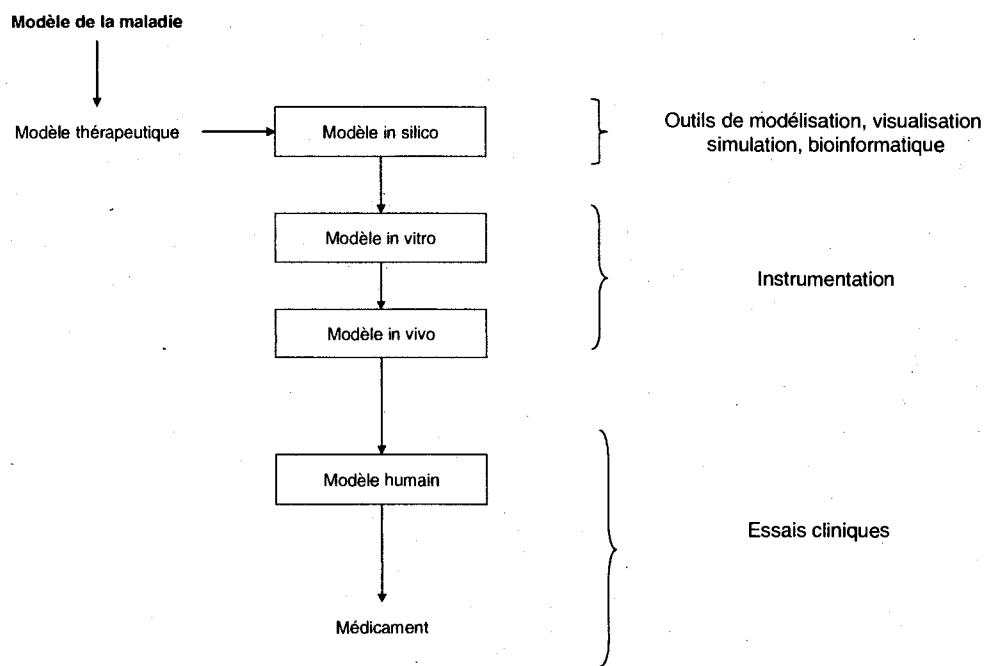


Figure 5.5 : Processus schématique simplifié de création d'un médicament

Le but est de trouver un modèle thérapeutique, soit un modèle par lequel un agent thérapeutique agira sur la cause ou l'effet de la maladie. Cette action thérapeutique ciblée sera basée sur la chimie, la biologie, la physiologie, etc. impliquant des processus intra/extracellulaires, intra/extracellulaires, l'expression ou l'inhibition d'une protéine, etc. Les outils de la firme Accelrys par exemple aident à modéliser la réaction, l'effet thérapeutique et les effets toxiques dans ces systèmes complexes. En considérant cette chaîne de création, Accelrys a entrepris de répondre d'une manière ciblée aux besoins

des différentes activités reliées à la phase découverte du processus, en développant ainsi des solutions logicielles complémentaires à celles utilisées pour les tâches d'exploration pures.

La phase de découverte génère des artefacts virtuels, des modèles, des bases de données, etc., et ceux-ci sont importants pour guider les travaux de la phase pré clinique. Sur les artefacts virtuels, les scientifiques sont concernés par la géométrie, les propriétés (chimiques, physiques, biologiques, etc.). Sur des artefacts physiques, les firmes procèdent en laboratoire à diverses expérimentations. Ces activités produisent de grandes quantités de données de nature différentes qui devront être gérées. Il s'agit de données spécifiques au médicament en développement, ses revendications, propriétés, effets, etc. Cela pose des défis spécifiques en termes de formalisation, standardisation et d'intégration au plan scientifique d'abord et logiciel par la suite.

Les stades de découverte et de laboratoire sont relativement informatisés, mais en dépit d'une offre de solutions plus complètes par certaines firmes comme Accelrys, il y a encore peu d'intégration et de formalisation globales des connaissances et des processus au moyen de solutions logicielles intégrées. Conséquemment, compte tenu de ce qui précède nous n'observons pas dans la chaîne de création d'outils destinés à soutenir la conception d'applications en sciences de la vie, à l'émergence de solutions intégrées qui unifient, modélisent et synchronisent tous les processus. Par ailleurs, comme le rythme de production scientifique est très élevé et les modèles de produits varient, les connaissances formalisées dans des solutions logicielles demeurent encore fragmentées. De plus, des forces économiques font en sorte que les compagnies pharmaceutiques n'ont pas intérêt à favoriser la structuration de l'écosystème de développement, ce qui présumerait une innovation plus ouverte et une gestion différente de la propriété intellectuelle de leur part.

Ainsi, aucune firme n'a encore réussi à créer une solution complète qui intègre les phases de découverte, pré clinique et clinique. Comme chacune des phases a des besoins et exigences distincts, l'intégration et l'inter opérabilité des applications ne semblent pas critiques. Il est néanmoins capital que tous ces processus et données soient gérés efficacement, mais il n'apparaît pas, à ce stade-ci, nécessaire pour les compagnies pharmaceutiques de les synchroniser en tant que tel.

Néanmoins, le domaine impose et commande des savoirs spécifiques à chaque stade et influence par conséquent la création d'outils logiciels de soutien. Les stratégies des firmes qui développent des outils d'aide à la conception tiennent compte de cette réalité. Les outils développés actuellement répondent non pas aux besoins d'unification des processus globaux, mais ciblent davantage une phase du processus. La logique des firmes émule plus spécifiquement l'environnement de travail des spécialistes qui œuvrent sur une classe de problèmes, un ensemble de tâches ou dans l'une ou l'autre des phases du processus. Des outils comme ceux de Microsoft, Oracle et d'IBM, répondent aux besoins de gestion de données des phases pré clinique et clinique alors que d'autres, comme ceux d'Accelrys répondent d'une façon plus ciblée à la phase découverte. Malgré tout, les études de cas nous révèlent que les firmes évoluent d'une manière contingente au domaine, ce qui est consistant avec les autres résultats. La logique d'une firme émule le champ de spécialisation des tâches et des activités dont ses outils visent à soutenir. C'est le cas de firmes comme Accelrys, spécialisées dans le développement d'outils logiciels pour soutenir la phase d'exploration et de découverte de nouveaux médicaments.

Pour illustrer davantage comment la spécificité et la structuration de l'écosystème client s'expriment, considérons le cas de la firme Accelrys et la création de consortium. Accelrys a formé une dizaine de consortiums pour développer des produits répondant à des besoins spécifiques des marchés

pharmaceutique. Le modèle mis de l'avant consiste à regrouper plusieurs clients potentiels lesquels financent le consortium en échange de droits de licence sur des logiciels éventuellement développés. Les consortiums sont des projets de recherche pré compétitifs et collaboratifs permettant à Accelrys de se concentrer sur des problématiques scientifiques complexes, mais orientées sur des besoins industriels spécifiques. Il s'agit en quelque sorte pour Accelrys d'actions pour gouverner l'innovation. Ces divers consortiums ont permis le développement de technologies clés, de bibliothèques, de plates-formes, de modèles, etc., lesquels se retrouvent aujourd'hui dans l'offre de la firme.

5.2.5 Cas des firmes desservant divers domaines d'application

Notre échantillon comprend cinq (5) firmes dont les activités et les particularités ne nous permettent pas de les répartir dans l'une ou l'autre des chaînes de création d'outils discutés précédemment. Bien que leurs activités s'appuient sur une grande maîtrise de la conception et de l'ingénierie, elles montrent des différences importantes avec les autres firmes de l'échantillon reflétant ainsi la spécificité découlant de leurs activités de conception. Tel que décrites aux tableaux 3.2 et 3.3, les firmes discutées ci-après desservent divers domaines d'application tels que la pétrochimie (Lurgi), la gestion d'actifs immobiliers (Bricsnet), l'hydrologie (Flowscience), le militaire (Barco) et le logiciel (Telelogic).

Les résultats de l'analyse des cas de ces firmes sont présentés aux tableaux 5.6a, 5.6b et 5.6c ci-après.

Tableau 5.6a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant divers domaines d'applications

Firme	Force de marché dominante	Intensité
Barco	<p>Spécificité des connaissances : It varies by markets. In medical, we develop medical archiving systems, special visualization screens and devices for X-ray and control rooms. In the media sector, we develop different applications used in events, digital cinema environments, and we design broadcasting and media control panels, board presentation equipments, etc. For military, avionics and industrial markets, we develop defence control, traffic control panels and screens, 3D projection, immersion cage systems used for example in mine drilling, maintenance, training, etc.</p> <p>Concurrence et risques : Barco is a cost optimizer of image in the value chain. Take for example the transition from tapes for cinemas to digital projection. The cinema screens are not all the time used; with digital projection, these facilities could offer excellent setting for corporate or event presentations. We develop technologies for that.</p> <p>Exigences spécifiques Clients : The customer application knowledge is critical, the understanding the value chain and operation. We must have and maintain our capability to work and interface with technicians, operators, doctors, radiologists, in sum the users of technologies.</p>	1
Bricsnet	<p>Spécificité des connaissances : Typical customers have large assets with many locations in different jurisdictions, sometimes country. Hotels owners are a good example. They need to view the work flows in the operations. So, they need workflow tools, analytical tools, etc.</p> <p>Exigences spécifiques clients : Each customer has its specific operation problems and needs. They need business analysis capabilities to operate their buildings. They need better knowledge out of all the data they collect. They want to use this knowledge as a competitive advantage.</p>	1
Flowscience	<p>Interdépendance des firmes : As engineers, we interact with different professional associations and authorities. At the state level and at the federal level. Depending on the projects, we can interact with the Corps of Engineers, state agencies, district authorities, utility owners, etc.</p>	2

Tableau 5.6a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant divers domaines d'applications (suite)

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
Lurgi	<p><i>Exigences spécifiques clients :</i> We provide service in engineering projects involving fluid motion like water in pipes, reservoirs, open channels, etc. We are engineers specialized in addressing complex problems involving fluids such as water. We work mostly on US based construction civil projects such as water discharges, tank and reservoir design, etc.</p> <p><i>Concurrence et risques :</i> We see an increase regarding environmental pressures and involvement of regulators. Companies have no choice now. Except that, no major change except an increased of the use of software tools for computing, modeling, simulation, etc. in design phases.</p> <p><i>Interdépendance des firmes :</i> The compliance with budget and the deadlines which means delivery of the plant. As usual, the pressures from the various stakeholders, investors, customers, regulators.</p> <p><i>Système de conception :</i> Customers are still seeing value in experiments and scale-up practices. This is what we do. We build pilot plants, develop and amplify processes and technologies, test them, etc. This represents a key element of our know how and added value.</p> <p><i>Exigences spécifiques clients :</i> Lurgi is an old company and has more than 100 years of accumulated knowledge. We have developed a large portfolio of patents on process technologies. We developed our design knowledge and expertise by doing projects with customers.</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>
Telelogic	<p><i>Paradigme d'innovation :</i> During meetings with lead customers in 1998-1999, we realized that there were increasing pressures to improve software engineering practices and reduce the number of vendors. A more reliable software design environment was required. They needed tools to better manage their software portfolio and development projects. Customers obviously needed leadership in that direction. They required better integration and visibility of processes in software engineering.</p>	<p>4</p> <p>1</p>

Tableau 5.6a : Intensité de la perception des forces de marché dominantes par les firmes desservant divers domaines d'applications (suite et fin)

Firmes	Force de marché dominante	Intensité
Concurrence et risques :	All these domains have huge potential for embedded systems. That creates an opportunity for us to develop specific capabilities to help designers of such systems. Telegic is really focused on software engineering. That is our core. We are less concerned with the business process side like what SAP and IBM do.	1 Total 2

Tableau 5.6b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant divers domaines d'applications

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
Barco	<p><i>Intégration des connaissances :</i> Barco provides for main stream market or specific niches sophisticated, reliable and safe visualization solutions embedding complex technologies, software and knowledge. We do this by assessing the potential of new technologies from providers, evaluate the feasibility to develop a specific product for critical and high demanding applications such as in medical, military, etc. Good examples are LCD screens without missing pixel for medical use</p>	1
Bricsnet	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> From different data, we generate dash boards that help managers to ensure proper planning and management of building operations. We provide indicators, automation capacities around their operations. We offer business solutions to real estate asset problems. Better management and productivity.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> Bricsnet is providing solutions like portals that integrate isolated data, create metrics, and give some meaning and intelligence in order to help managers to make business decisions.</p>	1
	<p><i>Inter opérabilité :</i> Our solutions provide communication with these systems; they can get data from them, compile it and provide metric analysis for management decisions about procurement or building maintenance. Our solutions are inter operable.</p>	1
Flowscience	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We provide service in engineering projects involving fluid motion like water in pipes, reservoirs, open channels, etc. We are engineers specialized in addressing complex problems involving fluids such as water. Flow Science has extensive experience in the simulation of complex hydrodynamic flows. Per example, flow within distribution reservoirs is modeled using Flow Science's software solution Flowmod.</p>	3
Lurgi	<p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We are a 100% consulting services company. We are specialized in process design and optimization. We have design knowledge, experience and expertise in and around the processes. Depending on the needs of the customers, we do financial engineering, risk management control, facility management, etc.</p>	1

Tableau 5.6b : Intensité des systèmes stratégiques déployés par les firmes desservant divers domaines d'applications (suite et fin)

Firmes	Système stratégique déployé	Intensité
	<p><i>Intégration des connaissances :</i> Lurgi is an old company and has more than 100 years of accumulated knowledge. We developed our design knowledge and expertise by doing projects. With our lab and pilot facilities we did a lot of experiments. Plus with the projects, we accumulated operational data at all levels. It is a long process. Plants are build for long time. Many improvements are done. Once we build a system, we get the knowledge.</p>	1
Telelogic	<p><i>Structuration de l'écosystème client :</i> Our first tool, TAU, was developed in 1984 for a project with a telecom operator. We worked for quite a few years with International telecom Union to establish the Specification description language (SDL). That was our base of expertise. This language was used and still is by equipment manufacturers like Nokia, ATT. It was the core of our technology. We did an IPO in 1999 and started to make acquisitions and develop specific tools for requirements, configurations management.</p> <p><i>Places-formes technologiques :</i> We have modelling tools for specialised applications like embedded systems for various domains. This platform of tools is used for design of enterprise complex systems.</p> <p><i>Productivité et résolution de problèmes :</i> We provide tools to assist design and management processes and decision making about software design and engineering cycle.</p> <p><i>Intégration des connaissances :</i> We add to our generic knowledge and tools, modules and specialised libraries suited to assist engineers.</p> <p><i>Inter opérabilité :</i> We used different approaches since 2000. At the beginning, we tried to integrate everything, technologies and people. We realized it was hard to integrate and sell efficiently that way.</p>	1 1 1 1 1 1 1 1 5

Tableau 5.6c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant divers domaines d'applications

Firme	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
Barco	<i>Accessibilité de l'information technique :</i> Barco provides for main stream market or specific niches sophisticated, reliable and safe visualization solutions embedding complex technologies, software and knowledge.	1
	<i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> Barco provides sophisticated, reliable and safe solutions embedding complex technologies and knowledge.	1
Bricsnet		Total 2
	<i>Accessibilité de l'information technique :</i> Our solution must fit in the mindset of the customers. It must simplify their operations. We engineer this simplification by hiding complexity.	1
Flowscience		Total 1
	<i>Vérité et immersion :</i> We provide service in engineering projects involving fluid motion like water in pipes, reservoirs, open channels, etc. We are engineers specialized in addressing complex problems involving fluids such as water.	1
Lurgi		Total 1
	<i>Formalisation des processus :</i> Although software tools are more used, customers are still seeing value in experiments and scale-up practices. This is what we do. We build pilot plants, develop and amplify processes and technologies, test them, etc. This represents a key element of our know how and added value.	1
Telelogic		Total 1
	<i>Accessibilité de l'information technique :</i> Rhapsody is a modelling tool for software design embedded in systems. Small firms can use this, not only big companies.	1

Tableau 5.6c : Intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation par les firmes desservant divers domaines d'applications (suite et fin)

Firme	Règle de gouvernance de l'innovation	Intensité
	<p><i>Formalisation des processus :</i> We provide tools to assist design and management processes and decision making about software design and engineering cycle.</p> <p><i>Intégration et architecture au plan matériel et logiciel :</i> We have modelling tools for specialised applications like embedded systems for various domains. This platform of tools is used for design of enterprise complex and large systems.</p>	1
	<p><i>Virtualité et immersion :</i> We add to our generic knowledge and tools, modules and specialised libraries suited to assist software design in application domains like in aerospace, telecom etc.</p>	1
	Total	4

Aucune des firmes ne détient un indice d'intensité maximum des forces de marché dominantes perçues (tableau 5.6a). Trois (3) firmes (Bricsnet, Flowscience, Telelogic) ont un indice d'intensité de 2, une a un indice de 3 (Barco) et une possède un indice de 4 (Lurgi). Comme la conception et l'ingénierie de produit est au centre de leurs activités, ces firmes montrent certaines similitudes sur le plan des forces de marché dominantes perçues. Toutefois, les tableaux 5.6b et 5.6c font ressortir des différences importantes entre ces firmes. Sur le plan des systèmes stratégiques déployés, la firme Telelogic se distingue clairement des autres avec un indice d'intensité maximum de 5. Alors qu'elle déploie le maximum de systèmes stratégiques, les autres firmes, sauf Bricsnet, mettent en œuvre deux (2) systèmes stratégiques ou moins. De fait, Telelogic et Bricsnet développent toutes deux des logiciels. Par contre, à l'opposé de Bricsnet dont les solutions soutiennent la gestion des opérations immobilières, les outils de Telelogic sont précisément des solutions d'aide à la conception logicielle. La firme suédoise Telelogic est un fournisseur important d'outils logiciels destinés à soutenir la conception et l'ingénierie de logiciel et de systèmes informatiques complexes. Au fil des années, elle a développé une plate-forme d'outils permettant aux concepteurs et ingénieurs logiciels de gérer plus efficacement leur développement de produit (DOORS, FOCAL POINT, SYNERGY, TAU, etc.). Ce développeur d'outils est similaire à d'autres développeurs de notre échantillon lesquels desservent d'autres domaines d'application lesquels ont été discutés dans les précédentes sections.

En ce qui a trait aux règles de gouvernance de l'innovation utilisées, la firme Telelogic se distingue encore très nettement des autres firmes car elle est la seule à montrer un indice d'intensité d'utilisation maximum de 4. Trois firmes (Bricsnet, Flowscience, Lurgi) détiennent un indice minimal de 1 et une seule firme possède un indice de 2. En tenant compte des indices d'intensité des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisés, il appert que la firme Telelogic est très distincte des

autres firmes discutées ici. Par ailleurs, elles s'apparentent toutes avec d'autres firmes de notre échantillon, tel que discuté dans les précédentes sections.

Les résultats concernant les firmes regroupées dans ce sous-ensemble corroborent ceux des autres sous-ensembles discutés. L'analyse montre que l'engagement des firmes envers des activités fondamentales de conception dans des domaines d'applications, les entraînent à y intégrer les spécificités et ce peu importe les domaines.

5.3 Synthèse des différences et des similitudes entre les firmes et des observations sur la spécificité

Les systèmes de conception des clients œuvrant dans différents domaines d'applications industrielles commandent une spécificité concordante des chaînes de création d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Nous avons présenté des cas de firme illustrant la spécificité existante entre elles, leurs outils et des systèmes de conception d'applications dans des domaines spécifiques.

Les résultats montrent que les systèmes possèdent différentes spécificités (séquences de tâches, réseaux, dynamisme de production scientifique, maturité industrielle, etc.) qui influencent l'évolution des firmes et des outils. Ainsi, ces spécificités induisent une différentiation entre les firmes au sein même et entre les diverses chaînes de création discutées mais malgré des différences, des similitudes sont également observées entre les firmes de notre échantillon. Un sommaire des concepts soulignant les différences et les similitudes entre les firmes est donné au tableau 5.7.

Tableau 5.7 : Sommaire des concepts soulignant les différences et les similitudes entre les firmes de l'échantillon

Concepts soulignant les différences	Concepts soulignant les similitudes
Forces de marché <ul style="list-style-type: none"> Interdépendance des firmes Système de conception Paradigme d'innovation 	<ul style="list-style-type: none"> Spécificité des connaissances Concurrence et risques Exigences spécifiques clients
Systèmes stratégiques <ul style="list-style-type: none"> Structuration de l'écosystème client Plates-formes technologiques 	<ul style="list-style-type: none"> Productivité et résolution de problème Intégration des connaissances Inter opérabilité
Règles de gouvernance de l'innovation <ul style="list-style-type: none"> Intégration et architecture au plan matériel et logiciel Accessibilité de l'information technique 	<ul style="list-style-type: none"> Virtualité et immersion Formalisation des processus

Comme nous l'avons vu dans les chaînes de création discutées, les firmes se différencient sur le plan des indices d'intensité des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées. En compilant les indices d'intensité, nous obtenons un indice d'intensité d'intégration et de structuration qui représente la synthèse des concepts déterminants pour chacune des firmes. Le tableau 5.8 présente cette compilation.

Tableau 5.8 : Compilation des indices d'intensité des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées, pour chacune des firmes

Firme	Indice d'intensité de perception des forces de marché dominantes (max=6)	Indice d'intensité des systèmes stratégiques déployés (max=5)	Indice d'intensité d'utilisation des règles de gouvernance de l'innovation (max=4)	Total : Indice d'intensité d'intégration et de structuration (max=15)	Rôle ¹
Accelrys	6	5	4	15	1
Autodesk	6	5	4	15	1
Cadence	6	5	4	15	1
Dassault	6	5	4	15	1
UGS	6	5	4	15	1
SAP	6	5	3	14	1
MSC Software	5	5	3	13	1
Agile	5	3	3	11	1
Phoenix	4	5	2	11	1
Softmems	5	4	2	11	1
Telelogic	2	5	4	11	1
CD-Adapco	4	2	3	9	2
ESI	3	4	2	9	2
IntelliSense	4	3	2	9	2
Silex	4	3	2	9	2
Flowmaster	3	3	2	8	2
Impactsoft	3	3	2	8	2
ARTVPS	3	1	3	7	2
Imagine	3	3	1	7	2
LMS	3	2	2	7	2
Lurgi	4	2	1	7	2
NanoTitan	2	2	3	7	2
Polyplan	3	3	1	7	2
Prevas	1	4	2	7	2
Seemage	3	2	2	7	2
Atomistix	3	2	1	6	2
Barco	3	1	2	6	2
Bricsnet	2	3	1	6	2
Elan	4	1	1	6	2
Nanostellar	3	2	1	6	2
SmartOrg	2	3	1	6	2
Invitrogen	2	1	2	5	2
Cambridge Consultants	2	1	1	4	2
Flow Science	2	1	1	4	2
Dynasim	1	1	1	3	2

Note : 1 : architecte intégrateur; 2 : spécialiste.

Tel qu'introduit à la section 4.3, les indices d'intensité d'intégration et de structuration de chacune des firmes nous permettent de distinguer deux groupes dans notre échantillon, soit un premier regroupant des firmes occupant un rôle que nous qualifions d'architecte intégrateur (indices d'intensité d'intégration et de structuration supérieur à 10) et un second rassemblant des firmes agissant davantage comme spécialiste (indices d'intensité d'intégration et de structuration inférieur à 10).

Tel que donnés au tableau 5.7, les concepts soulignant les différences entre les firmes de l'échantillon constituent les caractéristiques similaires des firmes distinguant le groupe adoptant le rôle d'architecte intégrateur. Ces caractéristiques sont présentes chez les firmes qualifiées d'architecte intégrateur alors qu'elles ne le sont pas chez les spécialistes. Peu importe les domaines d'application desservis, ces caractéristiques distinguent nettement les architectes intégrateurs des spécialistes. Par ailleurs, les concepts soulignant les similitudes représentent les caractéristiques retrouvées chez la majorité des firmes de notre échantillon.

Les caractéristiques dominantes associées à chacun de ces groupes sont discutées en détail au chapitre 6 en lien avec les modèles d'affaires et les rôles types des firmes dans l'écosystème d'innovation des clients desservis.

L'analyse des différentes chaînes de création d'outils investiguées nous permet de souligner d'autres différences et similitudes. Ce qui est particulièrement remarquable, c'est que cette différentiation s'illustre non seulement sur le plan des pratiques mises en œuvre par les firmes pour le développement des logiciels à proprement parler (chaîne de création d'outils), mais aussi, dans les stratégies, connaissances accumulées, réseaux associés, etc. Dans le secteur de la microélectronique par exemple, la complexité et le coût des procédés ainsi que la taille des produits obligent les concepteurs à intégrer tôt dans la conception, des considérations de

fabrication, car elles sont déterminantes en matière de faisabilité. Les firmes desservant ce domaine doivent impérativement répondre à ces enjeux spécifiques. Par ailleurs, il y aura davantage de modélisation et de simulation à partir de prototypes virtuels dans les domaines de la fabrication automobile et de l'aérospatiale avec moins, voire aucun, prototypes physiques conçus tant que la conception n'est pas finale. On comptera aussi significativement moins dans ces deux (2) domaines, sur une instrumentation avancée à des fins de validation et d'essai comparativement au secteur des nano sciences par exemple. Dans ce dernier cas, des instruments coûteux et complexes (diffractomètre, microscope à effet tunnel, microscope à balayage, etc.) sont utilisés pour « voir », mesurer, détecter et valider ce qui a été préalablement défini au moyen d'outils logiciels avancés d'exploration. Le développement d'une chaîne de création d'outils logiciels pour ce domaine se fait en complémentarité de ces infrastructures.

Dans le secteur pharmaceutique, la représentation géométrique et fonctionnelle à partir d'un modèle thérapeutique est utilisée pour le développement de médicaments, mais l'industrie compte encore principalement sur un rigoureux processus d'essais cliniques.

Dans les secteurs chimique et pétrolier, l'utilisation d'outils augmente les opportunités de développer et simuler de nouveaux procédés et formulations. Toutefois, l'amplification et la mise à l'échelle d'usines pilotes demeurent des étapes très importantes et spécifiques dans ces secteurs, comme l'illustre le cas de la firme Lurgi. Par conséquent, elles influencent le processus de développement et incidemment, les outils logiciels d'aide à la conception.

Bien qu'elles soient toutes spécialisées en matière de conception et d'ingénierie, les cas des firmes desservant divers domaines d'application discutés à la section 5.3 révèlent des différences assez marquées avec la majorité des autres firmes de notre échantillon. Seule la société Telelogic

s'illustre en montrant des similitudes avec les autres développeurs d'outils logiciels se distinguant ainsi nettement des autres firmes (Lurgi, Bricsnet, Flowscience et Barco).

Sur le plan de l'inter opérabilité, les firmes à l'étude révèlent des points intéressants. Bien que des pressions « d'ouverture » aient influencé des firmes, les études de cas nous révèlent toutefois qu'il n'y a pas assez de programmeurs et d'ingénieurs prêts à s'investir dans le développement d'applications d'aide à la conception de produit qui seraient à code source ouvert ou gratuit. Il y a certes des communautés actives de développeurs mais il ne semble pas y avoir au sein de celles-ci, peu importe les domaines, les éléments déclencheurs ayant contribué au mouvement des logiciels à code source ouvert comme dans le cas du logiciel Linux.

Comme mentionné, les développeurs d'outils tentent tous de capitaliser sur leur savoir informatique et en contrôler l'accès et la diffusion. Comme le mouvement des logiciels à code source ouvert est là pour de bon, la pression pour un partage des connaissances et une utilisation non commerciale de celles-ci risque de s'accentuer d'une façon ou d'une autre. Toutefois, les gestionnaires rencontrés sont tous prudents avec cette approche et les entrevues menées révèlent un faible intérêt pour les outils d'aide à la conception à code source ouvert. Ils nous disent qu'ils peuvent utiliser des logiciels à code source ouvert, des composants logiciels gratuits si ceux-ci font le travail ou encore, sont pertinent comme pour des applications de base de nature générique ou dans des domaines où les connaissances sont encore à développer (données géo spatiales, etc.). Néanmoins, les développeurs ne souhaitent pas miser sur ces approches pour diverses raisons (risques pour les clients, paiement de redevances, entretien et évolution des logiciels, contraintes des licences, modèles d'affaires risqués, etc.)

Pour illustrer davantage des différences et des similitudes, nous présentons ci-après des stratégies dominantes de création et capture de valeur mises de l'avant par des firmes pour les domaines d'applications de la microélectronique, des MEMS et des sciences de la vie.

Les firmes desservant le domaine des applications en microélectronique créent et capturent de la valeur en offrant :

- *Des outils logiciels inter opérables.* Ce segment est caractérisé par les stratégies suivantes :
 - Imbriquer les connaissances les plus avancées et les plus complètes (procédés, technologies, accès à la PI);
 - Offrir un système de gestion du processus complet de création;
 - Offrir une solution clé en main à des clients majeurs tels Sony, Philips, etc.;
 - Structurer l'écosystème de partenaires.

- *Des technologies clés* (infrastructure de R&D, fabrication, instrumentation). Ce segment est caractérisé par les stratégies suivantes :
 - Développer par la R&D des technologies avancées;
 - Intégrer des technologies avancées développées par d'autres;
 - Favoriser la collaboration étroite entre les firmes développant des outils logiciels, les technologies clés et les clients.

Les firmes à l'étude développant des capacités d'aide à la conception d'applications de type MEMS et nano technologiques offrent :

- *Des outils logiciels plus ou moins inter opérables.* Ce segment est caractérisé par la présence de nombreux petits joueurs où aucun ne domine. Nous constatons une offre immature en ce qui a trait à une

structuration de la chaîne de création d'outils intégrant les dimensions discutées précédemment. Les stratégies de ce segment sont orientées vers l'intégration de connaissances avancées les plus complètes pour l'exploration d'applications spécifiques ou génériques;

- *Des technologies clés et infrastructures de R&D (instrumentation, fabrication).* Les stratégies dominantes sont :
 - Développer par la R&D des technologies avancées;
 - Intégrer des technologies avancées développées par d'autres;
 - Collaborer étroitement avec les firmes développant des outils logiciels et des clients pilotes (médecins, spécialistes, etc.).
 - Offrir des capacités de R&D à la fine pointe;
 - Maintenir le savoir-faire par des investissements élevés.

Il y a une nette distinction entre les deux types d'offre de ces secteurs d'application, car il y a encore peu de structuration, d'intégration globale ni de réels joueurs dominants. Comme on le voit ici, les stratégies d'innovation diffèrent et elles reflètent l'émergence des domaines et l'immaturité des joueurs et des outils comparativement à d'autres secteurs.

Les firmes à l'étude développant des outils logiciels d'aide à la conception d'application en sciences de la vie créent et capturent de la valeur en offrant :

- *Des outils d'exploration plus ou moins inter opérables.* Ce segment est caractérisé par les stratégies suivantes :
 - Offrir les meilleurs outils de bio-informatique;
 - Offrir l'accès aux connaissances les plus complètes par le biais de base de données, etc.;
 - Offrir les meilleurs outils de modélisation, visualisation, de simulation, etc. intégrés dans une suite d'outils.

- *Outils de gestion.* Les stratégies dominantes de ce segment sont :
- Offrir des outils munis d'interfaces usagers conviviaux et évolutifs;
 - Offrir des capacités améliorées de gestion de données et des processus.

Nous croyons pouvoir retrouver une telle base de différentiation et de similitudes ainsi qu'une forte spécificité entre des développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception et des systèmes de conception associés à d'autres domaines d'application. Une extension de la présente recherche permettrait de vérifier cette assertion.

Au chapitre suivant, nous présenterons nos observations et résultats montrant comment les firmes à l'étude créent et capturent la valeur de leurs technologies et des écosystèmes spécifiques au sein desquels elles œuvrent et comment leurs modèles d'affaires et rôles intègrent les caractéristiques décrites.

CHAPITRE 6

MODÈLES D'AFFAIRES ET TYPOLOGIE DES RÔLES

6.1 Création et capture de valeur

6.1.1 Répartition de la valeur

Les sources d'avantages concurrentiels sont nombreuses dans l'environnement à l'étude : étendue de la science imbriquée dans les solutions, compétences uniques, expériences et savoirs accumulés, base de clients, communautés d'utilisateurs, réseau de partenaires, etc. La création et la capture de la valeur touchent divers intervenants impliqués dans le marché, soit les développeurs d'outils, le client et les autres firmes de l'écosystème :

- Développeur d'outils: par ses produits et services, le développeur d'outils se forge un rôle dans l'écosystème et en retire une valeur;
- Client : pour le client la question primordiale est : qui peut m'aider à développer des produits supérieurs à meilleur coût et plus rapidement que la concurrence?

Des clients comme Volvo, GM, Siemens, Sony et HP, sont très exigeants envers les développeurs de logiciels d'aide à la conception. Non seulement ces entreprises subissent des pressions importantes au niveau de leurs systèmes de production, mais elles sont composées d'experts qui connaissent leur métier et toutes les particularités de la conception des applications industrielles qui les concernent. Par conséquent, ces clients ont une influence énorme sur le développement des outils, car ils requièrent des performances supérieures et ont des exigences précises sur le plan des fonctionnalités et de la valeur attendues. Ils souhaitent intégrer dans leurs produits les avancées scientifiques et techniques les plus

récentes de manière à se différencier et garantir une qualité supérieure à leurs propres clients. Cette différentiation est rendue possible grâce aux capacités des outils d'exploiter au maximum les ressources disponibles dans l'écosystème client ou ailleurs. Ces capacités sont le résultat d'actions stratégiques des développeurs ciblant des dimensions de qualité précises et valorisées par les clients.

- Autres firmes de l'écosystème : Quelles complémentarités technologiques et d'affaires sont possibles? Comment pouvons-nous maximiser l'impact de nos solutions et en retirer une plus grande valeur?

La valeur est donc perçue différemment par les divers intervenants de l'écosystème selon leur contribution et leur rôle au sein de celui-ci. Les études de cas réalisées démontrent l'attention des développeurs envers la création de valeur. Les firmes créent de la valeur premièrement par la formalisation des savoirs génériques et spécifiques intégrés dans des outils et deuxièmement par l'inter opérabilité de ceux-ci dans un système. Elles capturent la valeur de leur innovation en octroyant des droits d'accès limités tout en commercialisant l'outil au sein d'une base de clients et partenaires la plus large possible. Les développeurs d'outils approfondissent les problèmes spécifiques et interagissent avec les clients et les partenaires de l'écosystème visé. En outre, certains mettent en œuvre des stratégies de co développement, proposent des modèles de collaboration, développent des réseaux, etc., et tentent d'assurer pour eux-mêmes ainsi que pour leurs clients et partenaires, l'accès aux actifs complémentaires requis. Ultimement, les outils d'aide à la conception sont implantés dans l'écosystème des clients et soutiennent l'amélioration des processus d'affaires de ces derniers. Cette amélioration engendre de la valeur pour les clients.

Les forces économiques et techniques stimulent les firmes à faire des acquisitions, des partenariats, etc. ainsi qu'à utiliser l'inter opérabilité des applications comme levier de création et de capture de valeur. Rappelons que l'inter opérabilité et le degré de celle-ci est uniquement une décision d'affaires. Ainsi, les firmes utilisent l'inter opérabilité des solutions informatiques pour mettre en œuvre des stratégies concurrentielles et collectives. Elles mettent simultanément en œuvre des stratégies orientées vers :

- La restriction de l'inter opérabilité de l'application :
 - Restriction d'accès à la propriété intellectuelle dans le but de vendre des licences de leurs solutions développées ou acquises. C'est l'approche généralement utilisée dans l'industrie des logiciels et les firmes à l'étude n'y font pas exception.
- Un inter opérabilité contrôlé de l'application : Il est approprié ici de distinguer plusieurs stratégies :
 - Firmes dominantes :
 - o participent à l'élaboration de normes et standards industriels et en font la promotion au « profit » de l'industrie;
 - o développent concurremment leurs propres « standards » et formats de données propriétaires rattachés à leurs offres de solutions développées ou acquises. Elles préservent leurs valeur et position de dominance dans le marché en modifiant leurs API les rendant ainsi toujours requis (en sus des standards de l'industrie) et par le fait même, s'assurent d'un contrôle d'une architecture;
 - Firmes développant des modules ou outils spécialisés :

- protègent leur PI et pour maximiser la capture de la valeur, s'alignent sur des firmes dominantes et adoptent les standards et API propriétaires qu'elles proposent;
- Firmes qui développent des applications de conversion et des outils de ré ingénierie :
 - ces applications ont pour effet de favoriser les flux d'information et de rendre possibles les échanges entre les diverses solutions, contribuant ainsi à une plus grande distribution de la valeur.

Nous verrons dans les prochaines sections, comment ces stratégies s'arriment aux règles de gouvernance de l'innovation définies précédemment.

6.1.2 Intégration et structuration des ressources

Tel que nous l'avons vu au chapitre 4, quatre (4) règles de gouvernance de l'innovation peuvent être considérées par les firmes à l'étude pour concurrencer et gouverner l'innovation dans l'environnement à l'étude. Ces règles sont : « intégration et architecture au plan matériel et logiciel », « virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion », « formalisation et numérisation des processus » et « accessibilité de l'information technique ». D'une façon singulière, chacune de ces règles suppose une intégration et une structuration de plusieurs ressources à l'aide des outils logiciels, soit les connaissances, technologies, données, processus, équipes, fonctions, partenaires, clients, réseaux, etc. Au niveau des connaissances par exemple, il s'agit de l'intégration, la formalisation et l'imbrication de connaissances scientifiques génériques et spécifiques pour permettre une virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion, propre à l'artefact à concevoir. Au niveau des équipes et des partenaires, il s'agit d'intégrer des flux d'informations générées simultanément et les structurer dans des

processus formalisés, numérisés et synchronisés. La valeur d'un outil est donc fonction du degré d'intégration des ressources et de l'inter opérabilité possible de celui-ci avec d'autres systèmes. Plus un outil intègre de ressources spécifiques au domaine d'application visé et plus il est inter opérable, plus sa valeur sera élevée pour l'utilisateur, comme le souligne avec justesse Volker Tietz de Volkswagen :

« Integration of models is necessary to achieve improved efficiency in Design Value Chain. »

Aussi, les nouveaux produits engendrent des problèmes tout au long de la chaîne de valeur et rarement une firme peut innover seule. Les développeurs d'outils créent de la valeur pour leurs clients lorsqu'ils proposent des offres de solutions logicielles complémentaires et inter opérables permettant aux clients de résoudre collectivement des problèmes dans son système de conception, sa chaîne de valeur et profiter pleinement d'un contexte d'innovation ouvert.

La figure 6.1 présentée ci-après illustre l'effet d'intégration et de structuration des ressources pour la création et la capture de valeur grâce aux outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement.

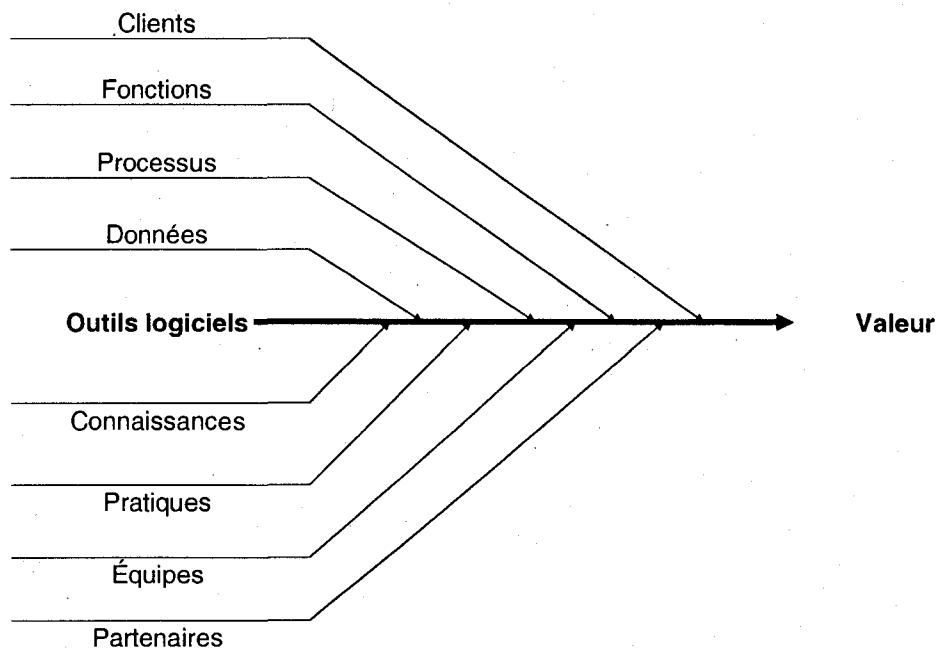


Figure 6.1 : Effet d'intégration et de structuration des ressources grâce aux outils logiciels, pour la création et la capture de valeur

Par ailleurs, l'intégration et la structuration ne correspondent pas qu'à une simple association d'outils ou une combinaison intégrée d'applications logicielles et d'équipements travaillant en réseau. L'optimisation de la collaboration dans les projets industriels complexes n'est pas qu'une simple affaire d'infrastructure informatique. Tel qu'évoqué aux sections précédentes, les outils contribuent à une transformation profonde des chaînes de valeur industrielles. Ils visent à permettre aux clients de développer et partager un langage commun de conception très riche ainsi que des processus industriels complexes avec tous les participants d'un projet. L'intégration et la structuration des tâches, etc. favorisent l'exploration collective de concepts, la création, la définition et la validation de produits et de procédés ainsi que la prise de décisions simultanées et réparties. Il s'agit pour un client de produire, d'intégrer et d'exploiter à un niveau industriel des connaissances scientifiques, techniques et d'affaires, lesquelles se renouvellent continuellement.

Pour développer leurs applications, les éditeurs spécialisés d'outils comme Telelogic développent ou s'approprient des connaissances informatiques et autres reliées aux équipements. Ils s'approprient ces savoirs génériques et les imbriquent dans leur conception de logiciels destinés à soutenir le développement d'autres applications logicielles. Par ailleurs, les spécificités de la conception logicielle pour diverses applications, commandent d'utiliser des savoirs particuliers. Par conséquent, les outils d'aide à la conception logicielle doivent fournir non seulement des savoirs génériques propres à cette tâche en tant que telle, mais aussi, pour créer une réelle valeur ajoutée, des savoirs spécifiques reliés à des applications comme celle des logiciels imbriqués dans des produits.

Procéder à une intégration et à une structuration correspond par exemple pour la firme Accelrys à offrir des solutions informatiques pour :

- i. capter et gérer les données créées par les activités de recherche et de découverte de nouvelles molécules et;
- ii. gérer des processus pour ultimement automatiser le traitement de l'information, gérer les projets et les équipes de développement de médicament.

Cette structuration offre une plus grande flexibilité aux clients d'Accelrys car elle permet d'intégrer des processus disparates et d'unifier les données dans un système de gestion. Basée sur l'inter opérabilité, la plate-forme Pipeline Pilot d'Accelrys permet aux autres développeurs de concevoir leur solutions de manière compatible de telle sorte que les clients peuvent toujours choisir la meilleure combinaison d'outils à déployer et être en mesure d'intégrer les données.

Pour la firme Autodesk, l'intégration et la structuration se traduisent par le développement pour chacun des marchés visés, d'applications adaptées au contexte, aux processus de création, de fabrication et de mise en service, qu'il s'agisse d'un produit physique, d'un ouvrage de construction ou encore

d'une création numérique. Par exemple, pour le secteur des infrastructures et du bâtiment, Autodesk a développé un système d'aide à la décision et des solutions intégrant les capacités de dessin avec des systèmes d'information géographique.

Une illustration manifeste de l'intégration et de la structuration pour engendrer de la valeur est l'exemple des processus. Au sein d'une entreprise manufacturière comme Ford, il y a des métas processus et des micros processus. Le processus global de développement de produit peut être qualifié de méta processus. Les tâches de dessin, d'analyses, etc. représentent en soi des processus spécifiques que nous pouvons désigner comme des micros processus. Que ce soit au niveau du processus de développement de produit ou d'un autre méta processus (ex. : fabrication), le défi de l'organisation est de se doter d'une architecture logicielle d'entreprise permettant de formaliser, unifier, numériser et synchroniser des micros processus entre eux, permettant à terme une modélisation globale des métas processus de l'organisation et une meilleure visibilité de l'information dans la chaîne d'approvisionnement. Par conséquent, une offre d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement créera plus de valeur lorsque celle-ci intégrera plus:

- de micro processus au sein d'un méta processus (ex. : dessin d'une pièce et son analyse dans un sous-système, évaluation environnementale, etc.);
- de micro processus d'autres métas processus (ex. : tâches de dessin + règles de fabrication + analyse financière) et;
- de capacités de formalisation d'un micro processus qui s'avère essentiel à l'amélioration de la productivité d'un méta processus (gestion de données, d'équipes, portfolio, etc.).

Pour Dassault, l'intégration des ressources et la structuration de l'écosystème est basée sur une offre composée de plusieurs outils lesquels visent des dimensions distinctes comme le montrent le tableau 6.1 suivant.

Tableau 6.1 : Intégration et structuration des ressources par l'offre d'outils logiciels de Dassault Systèmes

Unité	Fonction	Outil	Ressources principales intégrées
Dassault	Définition, conception et simulation numérique de produit, de procédés de fabrication	CATIA, DELMIA, SIMULIA	Connaissances, données
	Gestion de l'information produit configuration, DMU, support à la collaboration et à la décision	ENOVIA	Processus, partenaires, clients
	Gestion du travail collaboratif	SMARTTEAM	Équipes, pratiques
Spatial	Modélisation paramétrique	ACIS	Données, connaissances
SolidWorks	Conception 3D grand public	SolidWorks	Données, connaissances

Bien qu'il ne s'applique pas à l'ensemble des applications composant son offre, Dassault propose néanmoins un concept pour intégrer et structurer : il s'agit d'un modèle unifié de données produit, procédé et ressources, soit le modèle PPR (*Product, Process, Resources : PPR Model*). Ce qui représente le modèle PPR est la maquette numérique qui pour Dassault, est un référentiel intégrateur. De ce fait, la maquette numérique agit comme modèle unifié pour la prise de décision et permet d'éliminer certains prototypes physiques car maintenant les ingénieurs peuvent travailler sur un système complexe décomposé en sous-système, en voir des détails,

l'assemblage final, etc. La maquette numérique soutient l'essor de l'ingénierie simultanée, la réduction des temps de cycle, la collaboration virtuelle, le co développement, etc. Avec la maquette numérique, le concept PLM a pu émerger comme vision de gestion.

L'effet structurant d'un référentiel partageable est également au centre du système stratégique d'intégration des connaissances de la firme Accelrys :

« The Discovery Studio software delivers platform technology that provides a common data architecture for pharmaceutical-focused products. » Stephen J. Mumby, Senior Account Director, Materials Science

L'intégration et la structuration s'illustrent de façon analogue dans le cas de la firme Cadence. Cadence reconnaît que certain de ses clients peuvent utiliser des outils développés en interne ou encore par d'autres fournisseurs. Ainsi, elle a mis de l'avant l'initiative *OpenAccess* et les programmes *Connections®* et *OpenChoice*. *OpenChoice* est une base de données permettant l'accès et la manipulation de données EDA au moyen d'interfaces de programmation librement accessibles. Ceci permet aux clients, à partir d'applications développées par divers fournisseurs, d'intégrer leurs données sur une seule base inter opérable avec les plates-formes de Cadence. Le programme *OpenChoice* a été institué pour élaborer un catalogue exhaustif permettant l'inter opérabilité et favoriser la collaboration ouverte avec les fournisseurs leaders de bibliothèques de composants et autres technologies propriétaires. Le programme vise à intégrer et structurer, en lien avec les plates-formes de Cadence, les technologies propriétaires les plus avancées et les rendre disponibles pour les clients.

Le programme *Connections®* quant à lui fournit aux développeurs tiers des interfaces de programmation leur permettant de développer des outils compatibles et inter opérables avec les produits de Cadence. En 2005, plus de 130 fournisseurs EDA étaient membres de ce programme. Ces

programmes de partenariat avec d'autres fournisseurs EDA, les fonderies, les fournisseurs de technologies et les fabricants d'équipements font partie d'une stratégie d'intégration et de structuration bien définie de la part de Cadence.

Les firmes ont donc plusieurs possibilités pour créer et capturer de la valeur grâce à l'intégration et la structuration des ressources de la chaîne de création d'outils elle-même, ainsi que pour l'intégration et la structuration, au moyen des outils logiciels créés, des ressources requises par le système de conception spécifique du client. Nous devons donc considérer que l'intégration et la structuration s'appliquent à la fois à la chaîne de création d'outils et au système de conception auquel ces derniers s'adressent. En somme, la chaîne de création d'outils doit tout autant être structurée que le système de conception du client. Les études de cas nous montrent des interrelations très fortes entre ces deux (2) espaces de création de produits.

Par ailleurs, les systèmes stratégiques déployés doivent être cohérents en regard des forces de marché dominantes et des règles de gouvernance de l'innovation. Si une firme choisit la règle « d'intégrer et architecturer » au plan matériel et logiciel, cela exigera d'elle de configurer ses systèmes stratégiques pour gouverner l'innovation en regard de ce qui s'y rapporte. Si une firme choisit de concurrencer selon la règle de la « virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion », cela exigera d'elle qu'elle assemble et rende disponibles pour les concepteurs, les connaissances requises dans leur contexte de travail et le paradigme d'innovation. Ces choix stratégiques ont pour conséquence de définir le modèle d'affaires et d'exprimer le rôle des firmes dans l'écosystème, ce que nous discuterons à la prochaine section.

6.2 Modèles d'affaires déployés et typologie des rôles des firmes dans l'écosystème

Face aux enjeux d'innovation et considérant les règles de gouvernance de l'innovation qu'elles utilisent pour concurrencer, les firmes adoptent des modèles d'affaires qui reflètent les systèmes stratégiques déployés et leur rôle dans l'écosystème. Les règles de gouvernance de l'innovation offrent aux firmes de multiples configurations de décisions et d'actions pour mettre en œuvre des systèmes stratégiques et des modèles d'affaires adaptées aux forces économiques et techniques en présence. Selon Chesbrough et Rosembloom (1998, p.532), un modèle d'affaires c'est :

«...an heuristic logic that connect technical potential with the realisation of economic value».

«...the architecture of revenues ».

«... provides a coherent framework that takes technological characteristics and potentials as inputs, and converts them through customers and markets into economic outputs ».

De façon générale, les études de cas réalisées nous montrent que les modèles d'affaires des firmes ainsi que leur rôle dans l'écosystème, reflètent une cohérence entre les indices d'intensité mesurés des forces de marché perçues, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ainsi, la séquence de décisions et d'actions stratégiques déployées par une firme dans le temps contribue à forger et configurer son modèle d'affaires, son rôle et continuellement affirmer sa position dans l'écosystème de travail.

Les indices d'intensité d'intégration et de structuration calculées nous suggèrent une typologie des firmes qui lie les intensités de perception des forces de marché dominantes, les systèmes stratégiques déployés et les

règles de gouvernance de l'innovation utilisées, avec les rôles qu'elles détiennent dans le système de conception. Les indices d'intensité d'intégration et de structuration nous permettent de distinguer deux groupes principaux, soit des architectes intégrateurs et des spécialistes. Les autres rôles décrits ci-après découlent d'une caractérisation détaillée des environnements concurrentiels des firmes de notre échantillon.

Le tableau 6.2 ci-après présente une typologie des rôles des firmes et organisations dans le marché des outils logiciels et services d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Chacun des types de firme et d'organisation est discuté à la suite du tableau.

Tableau 6.2 : Typologie des rôles des firmes et organisations dans le marché des outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement

Rôle	Stratégies et caractéristiques dominantes
I. Architecte intégrateur <i>(indice d'intensité d'intégration et de structuration supérieur à 10)</i>	<p>Firme engagée à développer des plates-formes autour d'applications clés de design, pour architecturer la chaîne de création d'outils et structurer le système de conception des fabricants</p> <p>Ex. : Dassault, UGS, Accelrys, Cadence, Telelogic</p>
II. Spécialiste <i>(indice d'intensité d'intégration et de structuration inférieur à 10)</i>	<p>Firme qui développe des outils et modules spécialisés, uniques et différenciés</p> <p>Ex. : Flowmaster, Imagine, ESI, LMS, Cambridge Consultants, Prevas</p>
III. Interprète technique	<p>Firme qui développe des outils de conversion pour favoriser l'échange des données</p> <p>Ex. : Theorem Solutions, TTI, Okino</p>
IV. Fournisseur de capacités	<p>Firme qui développe des logiciels et équipements informatiques divers</p> <p>Ex. : IBM, Oracle, SUN</p>
V. Détenteurs d'enjeux	<p>Regroupements, organismes, organisations réglementaires qui soutiennent l'établissement de standards, pratiques, méthodologies, etc.</p> <p>Ex.: ISO, NIST, FDA, IEEE, EMEA, Open design Alliance, Gartner, CIM Data, AMR Research</p>

I. Architecte intégrateur

(indice d'intensité d'intégration et de structuration supérieur à 10)

Le rôle d'architecte intégrateur est tenu principalement par de grandes firmes comme Dassault, UGS, Accelrys, Telelogic et Cadence composées de centaines ou milliers d'employés et possédant des systèmes intégrateurs ou des suites d'applications complémentaires et intégrées sur des plates-formes. Ces firmes, peu importe le domaine desservi, basent leurs avantages concurrentiels sur une ou plusieurs applications clés maîtrisées et bien répandues (ex. : modeleur de dessin), autour desquelles elles ont développé d'autres applications complémentaires (ex. : outil d'analyse, de gestion de données, etc.). Elles soutiennent également des communautés importantes de développeurs et d'utilisateurs qui alimentent le renouvellement de leurs offres.

Ce qui caractérise ces firmes est leur intention stratégique de développer des offres de solutions avec une but d'intégrer et fédérer des outils de manière à configurer et structurer des espaces de conception de produits. Par leurs outils, leur intention est de maximiser l'interactivité, l'ubiquité, la simultanéité et l'accessibilité. Ces firmes mettent en œuvre des stratégies d'orchestration et d'organisation du développement des logiciels d'aide à la conception. En outre, grâce à un leadership technologique et des connaissances accumulées, elles contribuent à l'évolution des systèmes de conception propres à des domaines d'applications industrielles. Elles proposent une vision du système de conception et des moyens de le structurer. Des firmes comme Dassault, Cadence, UGS, Accelrys et Telelogic redéfinissent les frontières technologiques et induisent un changement de paradigme d'innovation de manière à répondre aux exigences changeantes des chaînes d'approvisionnement des fabricants. Pour arriver à ces objectifs, elles développent de multiples relations avec des clients exigeants, des fabricants d'équipements informatiques, des sociétés-conseils ainsi qu'un ensemble de partenaires réuni au sein d'un réseau de transactions. Elles procèdent

également à de nombreuses acquisitions, celles-ci leur fournissant de nouvelles capacités qui sont recodées et intégrées dans leurs outils et systèmes. Elles stimulent l'innovation à la périphérie de leurs noyaux propriétaires par l'intermédiaire de communautés de développement qu'elles contribuent à créer et soutenir par de multiples initiatives. Par exemple, la firme Cadence soutient une communauté d'utilisateurs de ses produits lesquels trouvent sur un site dédié de l'information sur les technologies de Cadence, des articles et des ressources, un forum de discussion, etc. En outre, Cadence soutient et participe activement au sein de nombreuses organisations et associations industrielles orientées vers l'harmonisation des règles et la normalisation telles qu'Accellera, EDA Consortium, IEEE et VSI Alliance, notamment.

Cette intention stratégique s'est notamment traduite pour Dassault par des investissements importants en R&D et en acquisitions ciblées, destinées à acquérir des actifs spécifiques pour architecturer des espaces de création. En premier lieu, mentionnons que pour la période allant de 2002 à 2005, Dassault a investi en moyenne 29% de ses revenus sur le plan de la R&D, soit environ 220 millions d'Euros. Au plan des effectifs, Dassault comptait durant la même période près de 2000 employés affectés à la R&D, soit près de 50% de ses effectifs. En matière d'acquisition, Dassault a acquis d'IBM en 1998 l'application « *Product Manager* » et l'a intégrée avec ses applications de gestion de données virtuelles pour ainsi donner naissance à la famille de produits ENOVIA. La famille DELMIA a été lancée en 2000 pour faire suite à l'intégration notamment de trois firmes acquises : Deneb, Safework et Delta. En 2000, Dassault a acheté Spatial Corp. dans le but de favoriser le développement et la vente distincte sur le marché de composants logiciels tels le modeleur ACIS, lequel n'est pas intégré ni dans SolidWorks ni dans CATIA V5.

D'autres partenariats stratégiques, acquisitions et développement de marques ont été faits par Dassault pour élargir son offre et développer de nouveaux marchés : acquisitions de MatrixOne (chaîne d'approvisionnement), ABAQUS (simulation) et création de la marque SIMULIA, Virtools (visualisation), partenariats avec Schneider Electric (automatisation industrielle virtuelle), Gerhry (outils spécifiques aux bâtiments), i2 (chaîne d'approvisionnement), etc. Tous ces partenariats et acquisitions avaient pour but de répondre aux forces de marchés dominantes, déployés des systèmes stratégiques complexes et diversifiés et exploiter le maximum de règles de gouvernance de l'innovation possibles. Ils ont permis à la firme de mettre en œuvre des stratégies d'innovation et de commercialisation pour couvrir différents segments de clientèle.

Les architectes intégrateurs excellent non seulement dans la conception et l'ingénierie des applications dont leurs outils soutiennent la mise au point, mais aussi comme nous l'avons vu, dans l'ingénierie logicielle. Pour concevoir leurs offres de logiciels, les firmes dominantes utilisent des méthodologies et des pratiques d'ingénierie logicielle avancées, des outils et des langages variés. Grâce aux outils d'aide à la conception développés par des firmes comme Borland, Microsoft et Telelogic, des firmes comme Cadence peuvent réaliser leur ingénierie de façon simultanée et distribuée. Celles qui maîtrisent le mieux les dimensions d'architecture logicielle, de modularité et d'inter opérabilité, peuvent profiter davantage de leur technologie ainsi que de celles des autres. Les leaders utilisent ces dimensions pour mettre à profit une innovation plus ouverte. Des firmes comme Telelogic et Cadence proposent des architectures et plates-formes logicielles qui soutiennent des communautés de développeurs spécialisés dans des domaines; elles sont alors en position privilégiée dans la chaîne de création de logiciels destinés à soutenir un domaine ou sous-domaine d'application particulier. Elles font l'œuvre d'intégration et de structuration de l'espace de création d'outils. Ces firmes adoptent des approches modulaires

pour favoriser l'intégration de composants développés par d'autres, le tout grâce à des accords de licences réciproques. La résultante pour le client est une offre de solutions hétérogènes plus complètes, évolutives et mieux intégrées à sa chaîne de valeur industrielle. De plus, l'intégration de telles solutions garantit pour le client une meilleure structuration de son écosystème et une répartition optimale des tâches de conception.

Leurs outils permettent l'assemblage des savoirs et connaissances requises pour une virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion, tout en formalisant et numérisant les processus. Par leur position et leur caractère de leader clairement affirmé dans le marché, les architectes intégrateurs gouvernent l'innovation selon les quatre règles de gouvernance de l'innovation définis précédemment. Le cas de la firme Accelrys illustre également le rôle d'architecte intégrateur que cette firme joue dans la chaîne de création d'outils destinés à soutenir le développement d'applications en science de la vie. Être un leader pour Accelrys sur le plan des solutions intégrées d'amélioration de la productivité de la recherche scientifique correspond à offrir une architecture de technologies informationnelles souple permettant aux clients et utilisateurs de faire usage d'interfaces de programmation pour intégrer des solutions développées dans l'écosystème. Pour la firme Cadence, adopter le rôle d'architecte intégrateur dans le domaine du développement d'outils de conception destinés au domaine de la microélectronique a signifié une évolution déterminante sur le plan de ses architectures et plates-formes logicielles.

Les spécificités des marchés desservis par Autodesk ont commandé à cette dernière de mettre en œuvre des stratégies particulières pour jouer son rôle d'architecte intégrateur. Dans le marché des infrastructures civiles par exemple, Autodesk a créé Autodesk Buzzaw consistant en un service accessible sur Internet où des collaborateurs d'un projet peuvent entreposer, gérer et partager des informations et données relatives à un projet de conception. La plate-forme offre des outils de dessin et de gestion qui

augmentent la visibilité des éléments d'un projet d'ingénierie et de construction, ce qui a permis de contribuer à une structuration du marché. Le cas de Telelogic révèle qu'une telle approche intégrée et globale était nécessaire pour répondre aux exigences des clients experts développant des applications logicielles complexes dans les secteurs des télécommunications et de la défense. En effet, ces clients experts faisant face en 2000 à une fragmentation importante du marché des outils logiciels et un nombre élevé de fournisseurs. À la suite de l'élaboration d'une carte technologique stratégique avec des clients, Telelogic a entrepris d'architecturer l'environnement de création d'outils logiciels. Pour y arriver, elle a pris des décisions stratégiques majeures : entrée en bourse en 1999, développement interne de produits ciblés et acquisitions stratégiques pour compléter son offre. En procédant de cette façon, Telelogic a adopté un rôle d'architecte intégrateur, comme le mentionne Ingemar Lundahl, CTO de Telelogic :

« There was obviously a need for integration. The software design space needed to be architected. We decided to go for it with an engineered approach. »

Telelogic propose des outils logiciels d'aide à conception de logiciels conduisant à ce qu'un système soit multifonctionnel par définition et qu'il agisse en quelque sorte comme une plate-forme de « services ». Ce cas montre bien comment la chaîne de création d'application logicielle requiert des outils spécifiques. Les outils de Telelogic adressent des besoins précis de la chaîne de valeur du développement logiciel; gestion des exigences et configurations (SYNERGY), modélisation de système (SYSTEM ARCHITECT, RHAPSODY, TAU), gestion de port folio (FOCAL POINT), etc. Elle offre en outre des capacités supplémentaires permettant aux utilisateurs d'intégrer des connaissances spécifiques associées par exemple au développement de logiciels imbriqués. En effet, les secteurs de l'aérospatiale, de la défense, des télécommunications et du transport, sont aujourd'hui dépendants non seulement de systèmes logiciels complexes

pour soutenir leurs opérations mais aussi de systèmes électroniques et logiciels imbriqués dans leurs produits manufacturés. Telelogic répond aux exigences de conception de telles applications logicielles imbriquées, car plus de 50% de ses ventes en 2005 ont été réalisées dans les secteurs de l'aérospatiale, de la défense et des télécommunications, dans lesquels nous retrouvons de nombreux produits imbriquant des systèmes électroniques et logiciels exigeant des connaissances spécifiques. Le cas de Telelogic montre que l'intégration dans des outils d'aide à la conception de connaissances spécifiques facilite grandement la conception d'applications logicielles imbriquées dans des produits.

Globalement, les architectes intégrateurs ont pour objectif de procurer à leurs clients des avantages concurrentiels au plan de la productivité, l'excellence opérationnelle, l'efficience du processus d'innovation, la qualité des produits, etc. Les firmes agissant comme architecte intégrateur ont la capacité de voir le cadre global, soit d'avoir une vision de la chaîne de création d'outils, du système de conception du client ainsi que du paradigme d'innovation auquel ce dernier est sujet. La pensée systémique est une compétence importante chez les architectes intégrateurs et elle leur permet de développer des stratégies d'affaires et technologiques pour créer et capturer la valeur de l'innovation de l'écosystème industriel. À ce titre, les architectes intégrateurs issus du monde la conception au sens strict (Dassault, Cadence, etc.) sont en concurrence directe avec les grands fournisseurs de logiciels de gestion d'entreprise comme Oracle et SAP.

Parmi les architectes intégrateurs nous retrouvons aussi des firmes qui développent des outils logiciels destinés à soutenir la gestion de l'innovation en tant que tel : outils de gestion d'idées, de port folio, de processus, etc. Certaines de ces firmes comme Agile et SAP, développent des outils pour gérer le processus d'innovation permettant ainsi aux gestionnaires des entreprises de suivre et optimiser l'ensemble des activités reliées à l'innovation. Ces firmes misent sur l'unification et la synchronisation des

processus dans une optique de gestion globale de l'innovation. Avec près de 700 employés dont plus de 250 en R&D, des revenus de 117 millions de dollars américains en 2005 et des clients importants comme Alcatel, Cisco et de nombreux autres, la firme Agile a un rôle de leader dans ce segment.

L'accès à la valeur est contrôlé par l'architecte intégrateur qui grâce à des offres intégratives de solutions, développées ou acquises et basée sur un inter opérabilité contrôlé, favorise l'alignement des tiers tout en les tenant à la périphérie du noyau de l'architecture sous sa gouvernance. Les études de cas réalisées révèlent que les systèmes stratégiques déployés et les règles de gouvernance de l'innovation utilisées par les architectes intégrateurs dans le réseau de valeur, sont cohérents avec le rôle qu'ils remplissent. Pour l'architecte intégrateur, des exemples de stratégies associés à ces systèmes et règles sont de :

- Architecturer et structurer les environnements de conception de produits sur le plan logiciel et matériel;
- Utiliser l'ingénierie logicielle pour concevoir des plates-formes technologiques supportant l'interdépendance des firmes et la structuration d'un écosystème d'innovation;
- Intégrer et fournir l'accès aux dernières avancées scientifiques pour améliorer la productivité et la résolution de problèmes;
- Unifier, modéliser, formaliser et synchroniser des processus d'affaires;
- Améliorer l'accessibilité des informations techniques et la productivité dans les chaînes de valeur des entreprises.

II. Spécialiste

(indice d'intensité d'intégration et de structuration inférieur à 10)

Un spécialiste est une firme de taille généralement plus modeste qu'un architecte intégrateur, qui développe des modules et solutions très spécialisées, concernant une tâche spécifique de conception, un processus,

une classe de problèmes, etc. Dans les différentes chaînes de création d'outils étudiées, il y a un grand nombre de firmes qui adoptent le rôle de spécialiste et ceux-ci constituent la constellation de partenaires gravitant autour des architectes intégrateurs.

Traditionnellement, les solutions développées par les spécialistes pouvaient ne pas être inter opérables. Toutefois, la pression à l'inter opérabilité est aujourd'hui si forte que les spécialistes doivent impérativement adopter des pratiques d'ingénierie logicielle de nouvelles générations pour se démarquer. Ainsi, les spécialistes ont avantage à aligner et rendre inter opérables leurs outils avec les plates-formes des architectes intégrateurs car ces derniers promeuvent une structuration de la chaîne de création d'outils ainsi que du système de conception de divers domaines d'application industrielles. Les clients reconnaissent la très grande valeur apportée par les outils des spécialistes, notamment au niveau de la qualité de la science intégrée permettant une virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion. Toutefois, ces mêmes clients désirent une meilleure intégration des processus et renforcent par conséquent la nécessité d'alignement aux offres proposées par les architectes intégrateurs. Ainsi, les spécialistes n'ont pas le choix que de s'aligner sur les standards propriétaires des joueurs dominants et de jouer la carte de l'interdépendance et de la complémentarité. Par ailleurs, le spécialiste qui souhaite développer une solution compatible et inter opérable avec les solutions des firmes dominantes doit négocier des licences pour obtenir des interfaces de programmation spécifiques (API) propriétaires. Pour assurer l'inter opérabilité d'un outil, il y a donc des coûts parfois importants pour le spécialiste et ces coûts de « développement » (coûts de licences et redevances), ont un impact direct sur le prix et le modèle d'affaires relié à une solution.

Les leviers de création de valeur des spécialistes sont : la qualité de la science formalisée et intégrée dans l'offre d'outils, les capacités d'améliorer

la performance des produits des clients, l'expertise de la firme, l'interopérabilité et la virtualité, l'interactivité et l'accessibilité aux ressources conférées par l'offre d'outils. Les outils des spécialistes sont d'abord jugés sur leur excellence en regard de la virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion des problèmes scientifiques des clients. À terme, plusieurs spécialistes s'alignent ou s'intègrent à un des architectes intégrateurs dominants, par alliance stratégique ou acquisition. Comme le montre le cas d'Imagine, les firmes de taille modeste doivent composer constamment avec cette pression car les déclencheurs actuels sont la standardisation, la qualité, l'inter opérabilité, les systèmes de plate-forme, la productivité. Les joueurs dominants proposent des modèles mais ultimement, l'alignement doit se faire aussi sur le client lequel favorise une structuration de l'écosystème.

Malgré la taille de LMS International (600 employés), une firme belge développant des outils spécialisés pour simuler la performance des véhicules automobiles au niveau de l'acoustique et de la vibration, l'alignement est une considération technologique et d'affaires déterminante. Durant vingt (20) ans le choix de système d'exploitation était simple; aujourd'hui, la firme doit s'assurer que ses outils puissent être exécutés sur plusieurs plates-formes et communiquer. Pour assurer sa complémentarité et sa place dans un réseau de transactions, l'inter opérabilité est donc capital pour un spécialiste.

Les stratégies dominantes du spécialiste sont :

- Intégrer et fournir l'accès aux dernières avancées scientifiques pour soutenir une virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion;
- Assurer un leadership scientifique et fournir une expertise très spécialisée permettant la résolution de problèmes complexes;
- Améliorer la performance des produits des clients;
- Aligner son offre de produits sur un ou plusieurs systèmes.

De façon générale, les spécialistes s'inscrivent dans une logique surtout incrémentaliste bien qu'offrant parfois des capacités très innovatrices, voire

radicales. Dans de nombreux cas voire dans la majorité, le développement d'un premier outil d'un spécialiste est rendu possible par des subventions publiques à une équipe de recherche en milieu universitaire. Lorsqu'un potentiel commercial apparaît, les sources de financement proviennent généralement du capital de risque dans le cadre d'un démarrage d'entreprise ou d'un client industriel majeur. Le cas de la firme Polyplan montre bien l'évolution typique possible d'un spécialiste même si dans ce cas, les actions de la firme portent sur les processus. La solution développée par Polyplan, firme dérivée de travaux de recherche menés par le professeur Clément Fortin à l'École Polytechnique de Montréal, cible l'interface entre la conception et la fabrication. Le produit développé par Polyplan est un logiciel de définition de méthodes manufacturières à partir des données d'ingénierie et dans ce cas, Bombardier Transport a été le client majeur initial. Le logiciel constitue un outil interactif permettant aux fabricants d'intégrer en temps réel, des données entre les divers outils de conception, la maquette numérique et les systèmes de gestion manufacturière de type *MRP* (*Manufacturing Resources Planning*). Dans ce cas, la valeur de l'outil réside dans les liens qu'il permet de faire entre des processus associés aux fonctions d'ingénierie et de fabrication, notamment.

Par ailleurs, les spécialistes font face à une concurrence féroce et des risques importants. Les études de cas révèlent que ceux-ci perçoivent plus fortement la concurrence et les risques que les architectes intégrateurs. En dépit de la qualité de l'application développée et malgré d'excellentes ressources, un spécialiste comme Polyplan a rencontré plusieurs obstacles au plan de la commercialisation : absence de réputation commerciale et de crédibilité, difficulté de convaincre tous les intervenants clés au sein des organisations des clients, spécialisation de l'outil, etc. Des barrières importantes sont donc à franchir pour les spécialistes. Les clients sont exigeants pour les petites firmes et compte tenu des contraintes rencontrées, les spécialistes n'ont parfois pas le choix que de vendre leurs technologies

aux firmes dominantes. C'est le cas de la firme Polyplan laquelle a été achetée en 2005 par *Parametric Technology Corporation* (PTC).

La consolidation industrielle affecte durement les spécialistes. Ils subissent d'une façon toujours plus marquée la concurrence des firmes dominantes lesquelles grâce à leurs ressources importantes, deviennent de plus en plus imposantes à la suite des nombreuses acquisitions qu'elles réalisent. De fait, les stratégies d'acquisitions sont très importantes dans l'environnement à l'étude. À ce titre, mentionnons que depuis le début du projet, au moins 6 firmes de notre échantillon ont été acquises. Le tableau 6.3 donne un aperçu des acquisitions impliquant des firmes de notre échantillon depuis 2002.

Tableau 6.3 : Aperçu des acquisitions impliquant des firmes de notre échantillon depuis 2002.

Acquéreur	Firme acquise
Dassault	Dynasim (2006)
	Impactxoft (2002)
	Seemage (2007)
LMS	Imagine (2007)
PTC (hors échantillon)	Polyplan (2005)
Siemens (hors échantillon)	UGS (2007)

L'intégration et la structuration, gouvernée essentiellement par les architectes intégrateurs, imposent des pressions et changements significatifs pour des petites firmes, comme l'illustre aussi les cas des firmes Imagine et Impactxoft. Lorsque rencontrée en Octobre 2004, Imagine reconnaissait que la situation devait changer. D'une plate-forme de travail fermée et isolée, Amesim devait évoluer vers plus de connectivité et d'inter opérabilité. À ce titre, Imagine subissait des pressions pour standardiser et échanger ses données; elle devait « exposer » ses données et offrir des interfaces avec d'autres outils. La firme avait par contre besoin d'outils logiciels pour décrire,

représenter et convertir ses données dans un format standard. Imagine considérait deux pistes : un langage développé en Suède par une communauté active de scientifiques, mais pas tout à fait adéquat ou un langage originaire du secteur de l'électronique mieux adapté à leurs besoins, mais avec peu de développement en vue. Imagine avait donc un dilemme technologique à résoudre et un choix stratégique à faire pour atteindre l'inter opérabilité, ce qui constituait pour elle un risque important. Elle a finalement été acquise par LMS en 2007.

D'autres firmes agissent comme spécialiste en fournissant des services-conseil. C'est le cas de la firme anglaise Cambridge Consultants et de la suédoise PREVAS. Ces deux firmes offrent des services d'assistance au développement de produit, développent et implantent des méthodologies et pratiques éprouvées dans des milliers de projets de conception de produits, formalisent les processus, etc. Elles réussissent à créer de la valeur par leurs savoirs accumulés, spécialisés et différenciés. En plus de leur expertise reconnue en conception et ingénierie, elles développent des spécialités comme la conception de produits imbriquant des logiciels lesquels sont en forte croissance dans de nombreux domaines d'application (télécommunication, automobile, etc.).

III. Interprète technique

Depuis l'émergence des premiers outils d'aide à la conception dans les années 1980, des problèmes d'incompatibilité de données se sont posés. Devant les problèmes d'échange de données produites à partir d'outils différents, des firmes comme Theorem Solutions en Angleterre ou TTI en France (non rencontrées dans la présente recherche) se sont investies dans un rôle d'interprète technique. Un interprète technique est une firme qui développe des applications de conversion et de ré ingénierie de données. Pour ces firmes, les contraintes techniques associées à l'inter opérabilité et la compatibilité constituent des opportunités d'affaires. Elles contribuent à

améliorer l'interactivité entre les individus et l'accessibilité aux ressources dans l'écosystème d'innovation en développant des applications permettant l'inter opérabilité entre des systèmes intégrateurs dominants. Ces firmes, dont la taille varie de quelques employés à quelques dizaines, sont peu nombreuses, mais jouent selon nous un rôle important dans l'écosystème. En plus d'être des experts en ingénierie d'applications industrielles, ce sont des experts en ingénierie logicielle. Les leviers de création et de capture de valeur de ces firmes sont : la qualité (une conversion de 100% de données est exigée), la robustesse, la rapidité et la gamme de conversion (c.-à-d. conversion entre plusieurs systèmes).

Les stratégies dominantes de l'interprète technique sont de:

- Transformer les contraintes d'inter opérabilité en opportunités;
- Faciliter les échanges entre des intervenants;
- Augmenter la fluidité des flux d'information et l'accès aux ressources.

En dépit du rôle important joué par des interprètes techniques, il ne semble pas y avoir beaucoup de place pour de nombreuses firmes dans ce segment.

IV. Fournisseur de capacités

Le groupe réunit sous l'appellation de fournisseur de capacités est composé de firmes de taille très variables qui fournissent :

- Des outils d'aide à la conception logicielle : Oracle, IBM, Codagen, etc.;
- Des applications informatiques de soutien: Microsoft, Adobe, etc. ;
- Des équipements informatiques : ordinateurs, serveurs et composants (microprocesseurs, cartes graphiques, etc.), SUN, IBM, SGI, etc.;
- Des réseaux de télécommunications performants : Virgin, Bell, etc.;
- Des infrastructures nécessaires à la conception et l'ingénierie (laboratoires d'essais, usine de mise à l'échelle, etc.).

Le fournisseur de capacités est en soutien aux autres firmes décrites lesquelles tissent de nombreuses alliances stratégiques avec celui-ci pour avoir accès à ses capacités et technologies clés. Le fournisseur de capacités est celui qui rend possible le développement d'outils logiciels sophistiqués intégrant les meilleures technologies. Sans des avancées technologiques importantes issues des fournisseurs de capacités, l'architecte intégrateur, le spécialiste tout comme l'interprète technique ne pourraient concrétiser leurs modèles d'affaires. À l'opposé, le fournisseur de capacités a besoin des autres firmes, car celles-ci sont des clientes des technologies qu'il développe. Il y a par conséquent des interdépendances et collaborations étroites entre les fournisseurs de capacités et les développeurs dans l'environnement à l'étude.

Les stratégies dominantes des fournisseurs de capacités sont de :

- Fournir des logiciels et équipements informatiques pour satisfaire les exigences les plus élevées en matière de calcul, de résolution graphique, de communications, etc.;
- Supporter l'implantation de systèmes complexes;
- Garantir la fiabilité et l'évolution des systèmes et réseaux.

V. Détenteur d'enjeux

Nous regroupons dans cette catégorie les communautés d'utilisateurs, les associations industrielles et d'affaires, les agences de normalisation et enfin, les gouvernements. Les communautés d'utilisateurs des outils d'aide à la conception détiennent des enjeux importants dans le marché. Chaque utilisateur, généralement un scientifique ou ingénieur au sein d'une organisation manufacturière, est un témoin direct de la valeur créée par un outil dans les tâches à accomplir. Le partage d'expériences au sein des communautés de pratique constitue une mine de connaissances que les

architectes intégrateurs et les spécialistes s'empressent d'exploiter. Ces derniers organisent des conférences annuelles regroupant des utilisateurs lesquels présentent des cas d'utilisation des outils. Certaines communautés sont associées aux architectes intégrateurs comme Dassault, UGS, Accelrys, Telelogic, Cadence et Autodesk, chacun ayant développé une base d'utilisateurs qui partagent expériences et connaissances. Ces communautés ont un rôle d'influence non négligeable sur les développeurs et les clients, car ils expérimentent quotidiennement les outils pour la résolution de problèmes les plus divers qui soient. Ils peuvent donc en influencer le développement et la diffusion dans un écosystème.

D'autres exemples de détenteurs d'enjeux sont le consortium Intellcad composé de compagnies qui se sont regroupées, moyennant des droits d'entrée, pour rendre disponibles des logiciels et API pour des outils CAD, la MapServer Foundation ou encore la Free Software Foundation. De plus, l'enjeu du contrôle des formats de données amène des communautés d'utilisateurs à réagir comme c'est le cas de ceux utilisant les produits d'Autodesk. Regroupés sous le nom d'*Open Design Alliance*, cette communauté comprend de nombreux utilisateurs et firmes dont UGS et SolidWorks, lesquels cotisent annuellement un montant d'argent servant à supporter le travail de ré ingénierie des fichiers produits avec AutoCAD. Le but est de développer et promouvoir un standard de format de données, à partir du format de données d'Autodesk. Pour ces utilisateurs, les versions AutoCAD 2000 et AutoCAD 2004 ont posé des difficultés d'inter opérabilité, car ces versions possédaient des routines de compression et d'encryptage rendant ainsi les fichiers non exécutables dans d'autres applications.

Les associations industrielles et d'affaires de différents domaines constituent également des détenteurs d'enjeux très importants. Aux niveaux macro et méso, ces regroupements établissent des visions d'avenir pour le développement de leur secteur respectif, des cartes technologiques, etc. En

indiquant les besoins d'évolution à moyen et long termes de leurs chaînes d'approvisionnement, ces détenteurs d'enjeux permettent aux développeurs d'outils d'identifier des potentiels de développement et d'en orchestrer l'exécution.

Les agences de normalisation comme *l'International Standard Organization (ISO)*, le *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, l'*Intitute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IIPEC)* ainsi que l'*Institute for Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, ont un rôle d'assistance important dans le développement des potentiels ci-avant mentionnés. Ces organisations essaient de faciliter l'établissement de standard et de concert avec des firmes dominantes, contribuent à l'orchestration de l'innovation. Par leur poids économique et leur pouvoir de réglementation, les gouvernements constituent également des détenteurs d'enjeux importants. Dans certains domaines comme dans le secteur automobile par exemple, la réglementation sur la sécurité des passagers a une influence directe sur le besoin d'outil offrant des capacités de vérification de la résistance des habitacles. La firme française ESI, spécialisée dans les outils de test de collision est un exemple probant de l'importance de comprendre les enjeux défendus par les gouvernements.

En outre, c'est une évidence d'affirmer que le rôle des autorités réglementaires est majeur dans le secteur pharmaceutique. Le marché pharmaceutique mondial se distingue en 5 grands marchés, soit le Japon, l'Europe, le Canada, les États-Unis et les autres. Les autorités réglementaires de chacun de ces territoires imposent des processus stricts et spécifiques pour approuver les produits. Globalement, ces processus d'approbation ne sont pas encore harmonisés et l'autorité couvrant chaque territoire a son propre format de soumission des dossiers, des exigences spécifiques, etc. Les compagnies pharmaceutiques doivent donc se soumettre à une multitude d'exigences diverses.

Néanmoins, on assiste depuis quelques années à l'émergence d'une certaine numérisation des processus d'approbation au sein de l'industrie, celle-ci étant déterminée par les autorités réglementaires et non par le marché. L'Europe a mis en place l'agence EMEA (*European Agency for the Evaluation of Medicinal Products*) pour standardiser et numériser le processus d'approbation. Elle offre une plate-forme de soumission électronique des données cliniques et des dossiers, donne accès à des bases de données, etc. Cette initiative, en relation avec l'Organisation mondiale de la santé et le CDISC (*Clinical Data Interchange Standards Consortium*), a contribué à mettre en place des standards pour la soumission électronique des dossiers et des données. Les compagnies pharmaceutiques adhèrent à ces initiatives et comme celles-ci sont le résultat de fusion de firmes européennes et américaines, il y a un mouvement progressif d'adhésion envers la numérisation et l'harmonisation des processus d'approbation.

Nous ne devons pas oublier également les analystes financiers, stratégiques et industriels comme Gartner, CIM Data, AMR Research lesquels posent des diagnostics d'entreprises, réalisent des cartes technologiques et effectuent diverses analyses.

Les stratégies dominantes des détenteurs d'enjeux sont orientées à :

- Faire circuler les connaissances et l'information au sein de communautés de pratiques pour l'avancement de la science et de la technologie;
- Contribuer à l'émergence de secteurs industriels viables en établissant des visions claires et indépendantes de développement et des entreprises;
- Appuyer et structurer les efforts de normalisation et légiférer lorsque nécessaire;
- Faire des représentations auprès des autorités, lorsque nécessaire.

La typologie présentée ci-devant nous a permis d'élaborer sur les systèmes stratégiques mis de l'avant par des firmes de l'environnement à l'étude, lesquels reflètent les modèles d'affaires et les rôles qu'elles adoptent. Les études de cas réalisées avec des firmes spécialisées dans divers domaines d'applications nous permettent de répondre à la question de recherche formulée au chapitre 1.

Les firmes gouvernent l'innovation selon des règles bien définies et de manière spécifique à des systèmes de conception dans des domaines d'application qu'elles ont choisi de desservir. Les résultats montrent que les firmes de l'environnement à l'étude se sont non seulement adaptées à l'évolution du contexte industriel en créant des outils répondant aux exigences changeantes des domaines d'application industrielles, mais que ces derniers ont contribué en retour à influencer significativement le développement des outils et des firmes mêmes.

Globalement, les développeurs d'outils suivent une logique d'innovation consistant à :

- Faire l'ingénierie d'outils et solutions informatiques évolutifs et coopératifs de soutien au développement de produit;
- Formaliser et assembler des connaissances dans des processus unifiés de conception de produit;
- Développer des systèmes stratégiques et actifs spécifiques aux domaines d'applications industrielles desservis;
- Se positionner dans un écosystème d'innovation en fonction de règles de gouvernance de l'innovation et du rôle qu'elles peuvent jouer dans un réseau de tâches et de valeur.

PARTIE III

DISCUSSION ET CONCLUSION

CHAPITRE 7

DISCUSSION

7.1 Implications théoriques

La discussion qui suit vise à montrer les implications théoriques des résultats de la présente thèse et répondre à la question de recherche formulée au chapitre 1. D'abord, un survol de l'évolution des systèmes industriels nous permet de montrer qu'un nombre significatif d'entreprises manufacturières ont adopté un modèle de production modulaire comme base d'organisation industrielle. Nous soulignons notamment le rôle reconnu des outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et la recherche et développement à l'égard de la division du travail et de l'implantation de systèmes de production modulaire. Notre contribution permet ensuite de répondre au paradoxe où les travaux existants nous conduisent à savoir comment des solutions informatiques sophistiquées évoluant vers davantage d'intégration peuvent soutenir la modularité dans les systèmes de production, et quelles sont les contributions réelles des outils à l'échelle du système de conception à proprement parler.

Le développement de la discussion permet de décrire pourquoi et comment, lorsque les développeurs d'outils effectuent les tâches de conception, ils incorporent à la fois des forces d'intégration et de modularité. Nous réexaminons les travaux antérieurs en suggérant qu'il ne s'agit pas tant d'opposer intégration et modularité comme modèle d'évolution industrielle mais plutôt reconnaître qu'il s'agit de deux facettes d'une même réalité sur le plan de la conception d'artefacts. Nous expliquons qu'un développeur d'outils répond aux besoins d'un système de conception client avec la logique suivante : plus ses connaissances et technologies deviennent

spécifiques à un système de conception dans un domaine d'applications, plus il a de la valeur pour une transaction particulière au sein de celui-ci. Nous soulignons en outre que la spécificité et la force d'intégration inhérentes à l'activité de conception contribuent à augmenter les pressions d'acquisitions et de « fermeture » des systèmes logiciels entraînant ainsi, une réduction de l'inter opérabilité de ces derniers voire même parfois, de la modularité elle-même.

Nos résultats montrent que ce qui caractérise l'application de la science de la conception est non seulement la présence d'une force d'intégration mais aussi, l'utilisation de la modularité comme méthodologie de conception et stratégie d'organisation de l'innovation dans les systèmes de conception. En effet, les obligations d'interdépendances des firmes renforcent la nécessité d'utiliser une approche modulaire comme moyen stratégique d'innover et d'orchestrer les ressources requises. Par conséquent, il appert que force de modularité contrebalance continuellement la force d'intégration inhérente à l'exercice de la conception et vice versa. Cette dualité pose des dilemmes aux développeurs quant aux moyens à mettre en œuvre pour répondre à des besoins spécifiques et évolutifs de clients dans des domaines précis d'applications industrielles (organiser l'innovation, créer et soutenir des réseaux de conception, assurer l'inter opérabilité des systèmes, renouveler leurs offres, etc.).

Notre analyse montrent que l'obtention et l'exploitation par les firmes des ressources de l'écosystème se font au moyen des deux forces : i) l'intégration au moyen d'acquisitions de ressources concurrentes (firmes et technologies) et ii) l'adoption d'une approche modulaire pour intégrer et structurer des ressources, en s'appuyant sur l'inter opérabilité des composants, outils et systèmes.

La présente thèse contribue à la littérature sur l'évolution des systèmes industriels. Elle approfondie la réflexion théorique sur le rôle des outils à l'égard de l'augmentation de la division du travail et de la modularité. Sans contredit, pour qu'il y ait division et répartition dans les systèmes industriels, il faut tout d'abord qu'il y ait compréhension du travail à faire. Cette compréhension passe par une formalisation rigoureuse des problèmes scientifiques à résoudre ainsi que des méthodes, pratiques et processus à mettre en œuvre pour soutenir d'abord la conception et ensuite la fabrication d'un produit. De plus, ce qui peut être transféré facilement et sans ambiguïté dans un processus de conception est ce qui est bien formalisé, codifié, établi et standardisé. Engagés dans un exercice fondamental de formalisation scientifique, technologique et méthodologique, la maturité méthodologique constitue la propriété émergente du travail d'intégration et de structuration des développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception. L'intégration dans des outils logiciels d'aide à la conception de connaissances, spécifications, règles et normes formalisées et établies engendre une stabilité et une maturité sur le plan de la conception et de l'ingénierie.

Des études de cas réalisées sur des développeurs desservant divers domaines d'applications, nous démontrent que ce n'est pas les outils en tant que tel qui contribuent à la modularité du système de conception mais bien le degré de maturité de la formalisation de la science et des méthodes intégrées dans les outils ainsi que des règles d'échanges d'informations techniques numérisées dans l'écosystème spécifique. Des cas révèlent que les développeurs desservant des domaines émergents (MEMS, nanotechnologie) ont d'abord comme mission de contribuer à la formalisation scientifique, méthodologique et technologique pour établir la maturité d'un système de conception d'artefact. À l'opposé, les développeurs soutenant des domaines industriels plus matures (automobile, aérospatial) ont le défi de soutenir des systèmes de conception globalisés et intégrés dans des

réseaux de production modulaires où le travail est fortement divisé et spécialisé.

Nos suggérons que c'est une maturité méthodologique élevée qui permet la réalisation de transactions dans un système de conception et engendre la division du travail. Ainsi, la division du travail et la modularité d'un système industriel découlent de la maturité méthodologique établie en premier lieu dans l'espace de conception et en second lieu, dans le système de production associé.

Nous contribuons à la littérature sur la modularité en montrant aussi que l'exploitation des principes d'architectures de produit, de processus et de connaissances, offre aux développeurs un levier stratégique pour :

- i) organiser et architecturer une chaîne de création d'outils dans de le but de concevoir une offre et;
- ii) structurer le système de conception d'application du client.

Nous suggérons que les indices d'intensité d'intégration et de structuration calculés représentent l'expression des forces d'intégration et de modularité agissant sur les firmes, pour qu'elles répondent au besoin d'élever la maturité méthodologique nécessaire pour stabiliser les architectures des deux (2) systèmes de conception inter reliés. De plus, ces indices nous permettent de distinguer les développeurs entre eux et différencier leurs rôles respectifs dans une dynamique de co évolution.

Enfin, le cadre conceptuel émergent des trente-cinq (35) études de cas réalisées nous conduit à établir un modèle de logique d'innovation des développeurs d'outils. Le modèle proposé en conclusion de ce chapitre, illustre les contributions respectives des développeurs d'outils en fonction des modèles d'affaires déployés et des rôles adoptés. Selon le rôle adopté, architectes intégrateurs ou spécialistes, le modèle lie positivement ou

négativement les actions d'intégration et de structuration des développeurs sur les degrés de maturité méthodologique des systèmes de conception, de modularité du processus de création de l'offre d'outils, de modularité de l'offre d'outils et enfin, de modularité du système de conception client.

7.1.1 Évolution des systèmes industriels et division du travail

Après de grands cycles marqués par la mécanique (1800-1890), la chimie et l'électrique (1890-1950) et l'électronique (de 1950 à nos jours), les systèmes industriels subissent actuellement l'influence grandissante de l'opto électronique, la nanotechnologie et de la biotechnologie (Best, 2001). Il est juste d'affirmer que la production de masse a imprimé l'arrangement des firmes et des institutions pour une large partie du 20^e siècle (Best, 1990). Jusqu'en 1980, l'organisation industrielle était principalement basée sur l'action des grandes firmes intégrées créant un modèle de production axé sur des économies d'échelle, d'envergure et de vitesse (Storper et Salais, 1997). C'était l'ère de la « corporation moderne » telle que définie par Chandler (1977) laquelle représentait selon lui la force dominante du développement économique. Selon Chandler, une firme de taille importante verticalement intégrée était en mesure de fabriquer de grands volumes de produits plus rapidement, à moindre coûts, et d'en assurer une meilleure coordination sur le plan de la production que si ces activités étaient gouvernées seules par des règles de marché.

Toutefois, les pressions des décennies des années 1970 et 1980 pour des produits innovateurs et de meilleure qualité, ont forcé l'émergence de nouveaux concepts d'ingénierie et de gestion de la production. Devant une concurrence accrue, les firmes reconnaissent que l'introduction de nouveaux produits sur le marché n'est plus suffisante pour maintenir leur niveau de compétitivité (Carter et Baker, 1992). Elles doivent aussi mettre en œuvre des changements continus dans l'organisation de l'innovation, de la

conception et de la fabrication. Elles font face à une division accrue du travail et de la production des connaissances (Brusoni et Prencipe, 2001 et Brusoni et al., 2001), à l'émergence de vagues d'innovation majeures (Pavitt, 2003), à l'augmentation de la complexité et de la modularité technologiques des produits (Hobday, 1998, Ulrich, 1995), à la concurrence d'organisations multinationales agissant comme intégrateur de systèmes (Rothwell, 1992), etc. Désormais, la complexité des systèmes à concevoir et à fabriquer s'impose au cœur de l'évolution des systèmes industriels (Dosi et al., 2002).

De nouveaux modèles d'industrialisation nécessitent à leur tour des structures organisationnelles différentes pour les firmes; structures décentralisées, réseaux de petites firmes ou sous-traitants, etc. La combinaison de ces facteurs accélèrent la division du travail et font émerger un paradigme de « réseau de production » sur lequel les firmes s'appuient pour maximiser les profits découlant d'un recentrage d'activités principales basées sur leurs compétences clés, l'utilisation de la sous-traitance, le désinvestissement de certaines fonctions, etc. (Best, 1990; Sturgeon, 2002).

Confrontées aux défis d'assembler dans un ensemble cohérent des composants, des mécanismes miniaturisés, des logiciels, de nouveaux matériaux, etc., des entreprises des secteurs de l'électronique et de l'informatique, notamment, reconnaissent rapidement l'importance de la modularité et l'architecture de produit pour revoir leur conception et leur production. Dans ce contexte, les firmes tentent de tirer profit des avancées scientifiques et technologiques de plusieurs domaines, en intégrant dans la conception des composants innovateurs qui deviennent de nouvelles dimensions de valeur à partir desquelles elles concurrencent.

Ainsi, la concurrence s'exerce non seulement sur la performance du produit final, mais aussi, et de plus en plus, sur les composants eux-mêmes et la manière dont ils sont inter reliés – architecturés – dans un produit modulaire

ainsi que sur les configurations de moyens pour les fabriquer. Ces changements contribuent graduellement à l'essor d'un modèle d'innovation plus ouvert (Chesbrough, 2003a) selon lequel les firmes ne se limitent pas à commercialiser ce qu'elles développent; elles collaborent ouvertement avec des partenaires voire des concurrents, pour créer et profiter de toutes les opportunités qu'offrent les innovations technologiques présentes sur le marché.

De nombreux secteurs emboîtent le pas à cette approche d'organisation modulaire de la conception et de la fabrication (électronique, transport, télécommunications, etc.) et comme le souligne Fixson (2007), la modularité est un concept général pouvant s'appliquer à divers systèmes, soit le produit, le procédé, l'organisation et le système d'innovation. Cette approche représente dès lors pour les fabricants, un moyen d'exploiter des connaissances avancées de plusieurs disciplines, des sous-systèmes et des modules spécialisés conçus et fabriqués de façon distribuée au sein d'un réseau de réseaux. Le phénomène accentué de division et de distribution des connaissances et du travail qui s'en suit, amplifie les difficultés des entreprises à posséder toutes les connaissances et expertises requises pour créer, concevoir et fabriquer seules des produits de plus en plus complexes.

L'évolution des systèmes industriels nous force à reconnaître qu'aujourd'hui, un nombre significatif d'entreprises manufacturières ont adopté un modèle de production modulaire comme base d'organisation industrielle (Sturgeon, 2002; Schilling, 2000). Baldwin (2008) voit l'émergence du réseau de production modulaire comme une étape de plus dans le processus de transformation industrielle grâce auquel de nouveaux modèles spécifiques d'organisation et de division du travail s'établissent pour faire face à la concurrence.

Nul doute que le développement des technologies de l'information et des communications (TIC) a accéléré cette transformation. La numérisation des données a ouvert une multitude d'options pour la conception de systèmes de plus en plus complexes et les techniques de modélisation et de simulation ont réduit considérablement les coûts de l'expérimentation (Pavitt et Steinmueller, 2002). Sturgeon (2002) souligne qu'en permettant l'échange d'informations entre les firmes au moyen de spécifications codifiées, les outils d'aide à la conception et à l'ingénierie (DAO, CAO, etc.) ainsi que d'autres systèmes de gestion (EDI, SCM, ERP, etc.), contribuent à la mise en place du concept de réseau de production modulaire.

Selon Sturgeon (2002), le fabricant de la marque d'origine d'un produit concentre ses activités sur la stratégie, la recherche et le développement et la conception reliées au produit, le prototypage ainsi que sur le marketing. Par ailleurs, les activités de R&D associées aux procédés, d'achats de matériel, de fabrication, d'essais, etc. deviennent sous la responsabilité d'un fabricant sous contrat opérant globalement pour le dépositaire la marque. Sturgeon (2002) souligne que la mise en œuvre d'un tel modèle a contribué à l'émergence de fournisseurs spécialisés dont les compétences se sont élargies au fur et à mesure de leurs interactions avec les firmes dominantes et les intervenants dans le réseau. Dans cette optique, chaque firme d'un système industriel fait partie d'un réseau de firmes, lequel constitue une chaîne de production de valeur, une chaîne de transformation où les biens d'une firme deviennent les intrants d'une autre, et où chaque firme ajoute de la valeur en jouant un rôle. Selon Baldwin (2008), la combinaison de standards et l'utilisation massive des TIC rendent possibles des liens formalisés entre les firmes, contribuant ainsi à la distribution du travail et la modularité du réseau de production.

Par ailleurs, l'évolution des systèmes industriels témoigne d'interrelations très fortes entre les outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la

recherche et développement, l'approche scientifique adoptée et le processus d'innovation. On peut reconnaître depuis 1960 deux phases technologiques sur le plan des outils, lesquelles sont présentées ci-après.

1) De 1960 à 1990 - phase des outils isolés

Durant cette période, de nombreux outils logiciels ont été développés pour supporter des tâches spécifiques en développement de produit. C'est durant les premières années de cette phase qu'apparaissent les premiers outils logiciels scientifiques et d'aide à la conception dont l'outil CATIA commercialisé par la société Avions Marcel Dassault, les premiers outils de simulation de MSC Software et la première version d'AutoCAD mise en marché par Autodesk en 1982. De fait, la demande pour de tels outils a stimulé la création de nombreuses firmes et beaucoup d'entre elles sont aujourd'hui disparues, achetées par des firmes plus dominantes ou ayant abandonné le développement d'une technologie devenue obsolète. Ce qui marque cette période est que les outils demeurent isolés au plan informatique et peu de processus de travail sont intégrés. Néanmoins, la numérisation des activités de recherche, de conception et d'ingénierie est résolument engagée au sein des entreprises et de leur réseau.

2) De 1990 à aujourd'hui - phase modulaire

Avec l'arrivée de réseaux performants de télécommunications et d'avancées informatiques, notamment en ingénierie logicielle, émerge au cours des années 1990, des capacités de créer des outils logiciels plus puissants permettant un meilleur flux d'information dans les processus de recherche et de développement de produits. Alors que les innovations se poursuivent sur des fonctionnalités spécifiques des outils, ces derniers deviennent pour certaines firmes des modules à assembler au sein de systèmes plus complexes conçus pour structurer les systèmes de recherche et de

conception de produits. Des firmes comme Telelogic et Accelrys décident d'exploiter cette opportunité de développer des offres logicielles visant à structurer des espaces de conception et de R&D.

Le tableau 7.1 présente les interrelations entre les outils, l'approche scientifique et les processus d'innovation de 1960 à aujourd'hui.

Tableau 7.1 : Interrelations entre outils, approche scientifique et processus d'innovation, de 1960 à aujourd'hui

Période	Outils	Approche scientifique	Processus d'innovation
1) 1960-1990	Isolés, non interopérables, fermés, produits uniques	Cloisonnement disciplinaire, codification de connaissances spécialisées	Résolution de problèmes au niveau individuel, de la tâche
		Gérer la complexité au niveau composants et sous-ensembles des produits	Gérer des tâches disciplinaires, fonctionnelles et internalisées
2) 1990 – aujourd'hui	Composants et modules plus interopérables mis en réseau au sein de systèmes modularisés Environnement et plate-forme virtuelle de R&D et création	Intégration de multiples sciences, multidisciplinarité, convergence, exploitation des créativités individuelles, interactivité, simultanéité, virtualité et immersion	Résolution de problèmes au niveau collectif, éco-systémique, unification et synchronisation des processus spécifiques aux contextes et domaines d'applications visés par la firme
		Gérer la complexité au niveau système	Gérer des tâches distribuées et multidisciplinaires au sein d'un écosystème d'innovation

Cette évolution s'appuie sur la prémissse qu'un fabricant organise son réseau de production et pour ce faire, utilise une approche de conception modulaire

et des outils de communications pour distribuer le travail au sein d'un réseau globalisé de fournisseurs spécialisés. Plusieurs auteurs suggèrent que les outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement aident à soutenir la modularité du système de production.

Toutefois, bien que tous les systèmes soient à divers degrés modulaires, Schilling (2000) suggère que tous n'évoluent pas vers plus de modularité. Elle donne notamment l'exemple des suites logicielles regroupant des composants pouvant potentiellement être mélangés mais dont l'intégration dans un ensemble ne permet pas, voire décourage, la substitution. L'auteur souligne que bien que les promoteurs de telles suites n'empêchent pas l'utilisation des composants d'autres fournisseurs, ils en découragent l'utilisation en proposant aux clients, au moyen d'un message corporatif bien dirigé, une performance supérieure grâce à une combinaison particulière de technologies et d'applications. Schilling remarque qu'avec des règles codifiées et des standards, on devrait s'attendre à plus de modularité mais qu'en raison d'actions stratégiques des firmes dirigées vers des intentions de dominance de marché ou de contrôle d'une architecture logicielle, certains de ces systèmes évoluent vers davantage d'intégration et de « fermeture ».

Nos résultats sont consistants avec les écrits de Schilling car les firmes étudiées revendiquent pour leurs solutions des performances nettement supérieures compte tenu d'un « assemblage unique de connaissances et composants ». Une force d'intégration décourageant la substitution de composants ou d'outils est résolument à l'œuvre dans l'environnement étudié. Les développeurs d'outils logiciels s'appuient sur une intégration de composants dans des suites ou plates-formes informatiques, qu'elles leur appartiennent ou qu'elles soient contrôlées par des firmes dominantes sur lesquelles ils s'alignent.

Cependant, nos résultats montrent également que des forces de marché et des règles de gouvernance de l'innovation commandent aux firmes d'offrir

des solutions logicielles plus modulaires et inter opérables. Les outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et la recherche et développement soutiendraient donc la division du travail et l'implantation de systèmes de production modulaire mais ceci nous conduit à un paradoxe où deux (2) questions se posent :

- i. Comment des solutions informatiques sophistiquées évoluant vers davantage d'intégration selon Schilling (2000), peuvent soutenir la modularité dans les systèmes de production (Baldwin, 2008; Sturgeon, 2002)?
- ii. Quels sont les contributions réelles de ces outils à l'échelle du système de R&D et de conception à proprement parler?

Le paradoxe souligne de plus la vision réductrice découlant de l'opposition faite entre *intégration-fermeture* et *modularité-ouverture*. Le développement de la discussion dans les sections suivantes, décrit pourquoi et comment, les développeurs d'outils incorporent des forces d'intégration et de modularité dans leurs systèmes stratégiques déployés au sein des systèmes de conception.

7.1.2 La conception et la gestion stratégique de la firme

7.1.2.1 Réseaux de transactions de la firme

Le modèle néoclassique de la firme considère celle-ci comme un moyen de transformer des intrants en biens et services grâce à un processus de production lequel inclut un ensemble d'activités (recherche, conception, fabrication, distribution, etc.). La théorie des coûts transactionnels (Williamson, 1981, 1985) vise à expliquer quand et pourquoi les différentes étapes dans le processus de transformation sont internalisées ou externalisées. Selon cette approche, la firme essaie de maximiser ses profits

en minimisant les coûts de transactions avec ses fournisseurs et partenaires tout en maximisant les gains découlant des transactions avec ses clients. L'argument mis de l'avant par Coase (1937) et Williamson (1981, 1985) est le suivant : quand le coût d'effectuer des relations (transactions) avec le marché devient trop élevé, la firme internalise ces relations et en assure la coordination. La firme existe donc comme une structure de gouvernance minimisant les coûts de transactions et une alternative plus efficiente d'allouer et d'exploiter des ressources et d'effectuer des tâches.

Baldwin (2008) suggère de considérer le réseau de production modulaire comme un réseau de tâches où des transactions sont effectuées aux frontières des « modules de tâches internalisées », soit des firmes. À propos du processus de conception, Baldwin souligne qu'au sein de celui-ci les interdépendances entre les intervenants sont élevées car il est nécessaire pour ces derniers d'échanger beaucoup d'informations. Or, pour être efficaces et profitables, les firmes doivent s'assurer que les coûts de transactions associés à ces échanges soient réduits au minimum. Compte tenu de leur caractère hautement stratégique, des interdépendances et des coûts traditionnellement élevés pour celles-ci, les tâches de conception sont demeurées jusqu'à récemment internalisées au sein des entreprises manufacturières (Best, 2001). Alors que les firmes adoptaient graduellement de nouvelles configurations pour les tâches de production, lesquelles étant basées sur l'échange d'informations codifiées favorisant la modularité du système, les tâches de R&D et de conception étaient davantage préservées à l'interne (Sturgeon, 2002).

La dichotomie apparente entre l'adoption de la modularité comme moyen d'organisation du système de production et le maintien de stratégies d'internalisation des tâches de conception au sein des fabricants, méritent que l'on examine de plus près l'activité de conception de produit dans le système stratégique de la firme.

7.1.2.2 Science de la conception à l'œuvre : une dualité intégration-modularité pour les développeurs d'outils

Des études de cas réalisées sur trente-cinq (35) firmes développant des outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement révèlent que fondamentalement, celles-ci appliquent la science de la conception telle que définie par Hubka et Eder (1987). D'abord, les développeurs assemblent et formalisent dans leurs logiciels des connaissances fondamentales provenant des sciences naturelles. Ensuite, leurs outils imbriquent des modèles scientifiques relatifs à des systèmes techniques propres à des domaines spécifiques d'applications. Enfin, leurs solutions s'intègrent à et formalisent une méthodologie globale de conception basée sur des principes admis pour le domaine d'application concerné. L'application de la science de la conception constitue par définition un exercice de formalisation, d'intégration et d'amalgame ordonné de connaissances, techniques et méthodes ainsi que l'application méthodique de celles-ci. L'application de cette science imprime intrinsèquement un mouvement d'intégration que nous décrirons ci-après comme une force qui s'exerce sur tous les systèmes de conception.

1) Force d'intégration

Schilling (2000) propose une piste intéressante pour examiner le phénomène d'intégration. Elle suggère qu'au sein du processus de développement de produit, un degré élevé de spécificité synergistique permet une meilleure compréhension des problèmes, un meilleur développement de compétences et de connaissances idiosyncratiques, ce qui rend les composants (individus, modules ou ensembles de connaissances) moins reconfigurables (Schilling, 2002 :316). Il est suggéré par Schilling qu'un système avec un degré élevé

de spécificité synergistique sera capable d'accomplir des tâches qu'un autre système plus modulaire ne pourra pas. S'appuyant sur cette assertion, nous pouvons considérer que plus les membres d'une équipe de développement comprennent les problèmes associés à un domaine d'application particulier, plus ils développent des compétences et des connaissances idiosyncratiques. Compte tenu de ce qui précède, un tel « système » aura une spécificité synergistique élevée. Dans ce cas, plus grande est la spécificité synergistique pour un système, plus grande sera la force d'intégration affectant celui-ci.

Outre d'autres considérations stratégiques des fabricants, cette force d'intégration a traditionnellement contribué à préserver au sein des entreprises manufacturières les transactions reliées au processus de développement de produits. Maîtrisant mieux que quiconque les connaissances et les processus liés à leurs systèmes de conception d'applications, les ingénieurs et scientifiques de Volvo et Sony par exemple, ont amplifié par la maîtrise de leurs tâches, la force d'intégration. Nonobstant qu'aujourd'hui les fabricants conservent internalisées de nombreuses tâches de R&D et de conception, ils utilisent néanmoins de façon croissante des fournisseurs externes pour des tâches spécifiques de conception, y compris dans le domaine de l'ingénierie logicielle.

En plus des spécifications codifiées reliées aux tâches de soutien du système de production, lesquelles sont généralement transférables à plusieurs domaines (finance, logistique, etc.), les informations codifiées de R&D, de conception et d'ingénierie de produit ainsi que celles concernant sa fabrication, sont très spécifiques à la nature de l'application. Nous suggérons ainsi de considérer les divers domaines d'applications industrielles comme autant de systèmes spécifiques de production regroupant des tâches spécialisées dont celles reliées à la recherche et au développement, à la conception et à l'ingénierie de produit. La spécificité

synergistique et les coûts de transactions élevés associés aux processus de R&D et de conception des divers domaines d'applications, militent en faveur d'une intégration poussée des connaissances, processus et composants spécifiques dans un système de conception.

Aujourd'hui, des connaissances et pratiques de conception, d'ingénierie et de R&D propres aux divers domaines d'applications industrielles, sont intégrées et numérisées par des fournisseurs spécialisés dans des outils logiciels. Cette intégration est le fruit de l'application de la science de la conception, de l'expertise développée par des fournisseurs spécialisés et de l'expérience accumulée de ceux-ci à travers des transactions avec des fabricants. Par conséquent, la spécificité synergistique et la force d'intégration s'appliquent aujourd'hui non seulement aux activités internes de conception des fabricants mais aussi, au processus de conception des outils logiciels eux-mêmes.

Les pressions concurrentielles que subissent les fabricants affectent leurs activités de R&D, de conception et d'ingénierie et ceci a pour effet de renforcer l'intégration et la spécificité dans leur système de conception ainsi que dans la chaîne de création d'outils associée. Ce qui apparaît critique pour le développement de solutions spécifiques sont les connaissances détenues par le client concernant la catégorie spécifique de produit d'intérêt (Stremersch et al. 2003). En effet, les connaissances du client sont critiques dans les marchés complexes (Glazer, 1991) car ceux-ci savent juger précisément leurs propres besoins (Heide et Weiss, 1995). Ils sont en mesure de les convertir de manière appropriée en spécifications et peuvent plus facilement choisir les configurations de produits susceptibles de les satisfaire (Weiss et Heide, 1993).

Il ne fait pas de doute que les ingénieurs de Volvo, Siemens et GE ont des connaissances claires de leurs besoins et de la catégorie spécifique de

produit d'intérêt, soit les outils d'aide à la recherche, à la conception et à l'ingénierie. Par conséquent, ils sont en mesure de choisir les solutions qui leurs conviennent et donner une direction pour la configuration de leurs systèmes de conception. Ils souhaitent utiliser la meilleure solution pour la tâche à accomplir et influencent donc grandement l'évolution des solutions. Ils veulent être à l'avant-garde et sont très exigeants envers les développeurs d'outils qui doivent leur fournir une capacité accrue d'innover grâce à des actifs spécifiques.

La force d'intégration s'exprime à plusieurs niveaux dans une chaîne de création d'outils, soit des connaissances, méthodes, pratiques et processus, etc. dans des composants, des composants dans des outils, des outils dans des suites logicielles et enfin, de suites logicielles dans des architectures ou plates-formes. Tel que mentionné à la section 5.2, les développeurs étudiés soutiennent dans leur message corporatif que la combinaison de composants dans leurs solutions atteint une synergie optimale par le biais de la spécificité des connaissances, d'une configuration particulière de technologies et de leur arrangement dans une architecture, une suite ou une plate-forme logicielle. Nous suggérons qu'il s'agit d'un premier effet de la force d'intégration, laquelle entraîne les développeurs vers plus de spécificité au niveau des outils pour intégrer de nouvelles fonctionnalités et offrir une meilleure performance dans un système de conception d'applications spécifiques. Cette spécificité s'applique sur les assises scientifiques, technologiques et méthodologiques des développeurs d'outils, lesquels évoluent de façon spécifique avec le système de conception de produit que leurs outils visent à soutenir.

Cette force d'intégration a donc des effets directs sur le réseau de transactions entre les deux systèmes de conception. Selon Williamson (1985), un actif spécifique est un actif détenu par une firme permettant d'effectuer un nombre limité de tâches comme une pièce très spécialisée de

machinerie ou un module d'analyse d'un système microélectronique. L'utilisation des actifs spécifiques dépend de la demande pour les extrants qu'ils procurent par les firmes en aval dans un système. En d'autres mots, l'utilité de l'actif est lié directement à la réalisation d'une transaction particulière, soit une étape dans le système; en dehors de cette transaction, l'actif n'a aucune utilisation et perd sa valeur. Ceci a pour effet que plus un actif permet la réalisation d'une transaction particulière dans un réseau de tâches, plus un actif est spécifique et plus sa place est valorisée dans le système car il ajoute de la valeur.

Pour qu'une solution satisfasse les besoins d'un client expert dans son contexte, les firmes doivent posséder une compréhension profonde des besoins et opportunités du client, pour l'aider à gouverner son propre développement de produit. Selon Wuys et al. (2004), de tels défis posent des exigences élevées quant aux connaissances que possède le développeur à propos du domaine d'application du client. Les développeurs d'outils doivent donc impérativement puiser des connaissances sur les systèmes techniques propres aux applications du client. Or, ces connaissances sont difficiles à acquérir, ce que Von Hippel (1998) définit comme les informations locales relatives au client « *sticky local information* ». Toutes les études de cas réalisées ont démontré ce besoin crucial pour les développeurs de maîtriser les connaissances spécifiques des domaines d'applications de leurs clients.

Les interactions avec les clients permettent d'identifier et d'influencer les déclencheurs, de recueillir de l'information, connaître et anticiper leurs besoins, leurs processus et intégrer cette information dans la conception des outils. En plus d'interagir avec leurs sous-traitants spécialisés dont d'autres développeurs d'outils, etc. les firmes doivent également interagir intensément avec l'écosystème d'innovation du client (centres de recherche, consortium, consultants, etc.). L'intensité de ces interactions contribuera à une plus

grande exploitation par la firme des connaissances scientifiques et techniques spécifiques disponibles et se traduira par des produits de plus grande valeur aux yeux des clients.

Les développeurs d'outils répondent aux besoins du système de conception du client et leur logique est la suivante : plus leurs connaissances et technologies deviennent spécifiques à un système de conception dans un domaine d'applications, plus il a de la valeur pour une transaction particulière au sein de celui-ci. Les développeurs misent sur l'intégration de connaissances spécifiques dans des outils pour créer une spécificité synergistique élevée. Celle-ci engendre une valeur accrue pour l'utilisation de leurs outils et confère aux développeurs un meilleur positionnement dans un réseau spécifique de transactions, ce qui est consistant avec Schilling (2000).

Ainsi, la spécificité synergistique rend les développeurs et leurs outils spécifiques au système dont ils visent à soutenir la conception et non pas à tous. En outre, cette demande de spécificité élevée contribue à l'internalisation au sein des développeurs d'outils logiciels, des activités - des transactions - requises pour la développer. Cette internalisation des transactions entraîne les développeurs d'outils vers une spécialisation toujours plus poussée de leurs connaissances et de leurs tâches, d'où leur existence comme « modules de tâches internalisées ». Par conséquent, la force d'intégration inhérente à l'application de la science de la conception contribue à une spécialisation des firmes et de leurs actifs dans des domaines d'application.

De plus, en raison d'acquisitions stratégiques dirigées vers une intention de dominance de marché ou le contrôle d'une architecture, la force d'intégration incite les firmes à augmenter la « fermeture » des systèmes, soit réduire l'inter opérabilité de ceux-ci voire même parfois, la modularité elle-même. De

plus, en limitant l'inter opérabilité de leur offre de solutions, que celle-ci découle des modèles d'affaires déployés ou des acquisitions qu'elles réalisent, un degré élevé de spécificité synergistique lié à l'activité de conception agit contre la migration d'un système vers une forme plus modulaire, comme le suggère Schilling (2000).

Nos résultats montrent l'expression de la force d'intégration sur le plan des acquisitions et de leurs effets limitant sur la modularité et l'inter opérabilité. Toutefois, on constate ici que le cadre de raisonnement de Schilling nous conduit à opposer les concepts de spécificité et de modularité.

2) Force de modularité

L'application de la science de la conception dans l'environnement à l'étude entraîne non seulement une force d'intégration mais aussi, une force de modularité utilisée comme méthodologie de conception et stratégie d'organisation de l'innovation dans les systèmes de conception. La force de modularité s'applique tant sur la chaîne de création d'outils que sur le système de conception du client dans un domaine spécifique d'applications.

Au sein des développeurs à l'étude, la modularité est une approche utilisée pour innover sur le plan de leurs offres d'outils. Ceci est compatible avec Sanchez (1999) car lorsqu'utilisée efficacement, la conception modulaire permet de créer une plus grande variété de produits, d'introduire des innovations technologiques plus rapidement et de réaliser le développement de nouveaux produits plus économiquement. Or, les développeurs d'outils d'aide à la conception sont contraints de mettre fréquemment en marché des outils toujours plus performants. La conception modulaire leur offre ainsi un moyen pour innover dans cet environnement à haute vitesse de changements technologiques.

L'utilisation de la conception modulaire est assez répandue et il appert qu'une approche de plate-forme modulaire pour le développement de produits est un important facteur de succès dans plusieurs domaines (Robertson et Ulrich, 1998; Sanchez et Mahoney, 1996; Pressman, 2005). La modularité se définit comme une méthodologie de conception qui crée intentionnellement un degré d'indépendance élevé entre les composants, ces derniers étant gouvernés par des interfaces internes standardisées. Une plate-forme modulaire de produit est définie comme un ensemble de sous-systèmes et d'interfaces formant une structure commune à partir de laquelle des produits dérivés peuvent être développés (Meyer et Seliger, 1998).

Les stratégies basées sur une telle approche apparaissent comme la meilleure façon de concurrencer dans un contexte de conception globalisée (Eppinger et Chikara, 2006) où la complexité des produits s'accroît constamment (Baldwin et Clark, 1997). De plus, Worren et al. (2002) ont observé une relation positive entre l'architecture modulaire de produit et la performance de la firme. De surcroit, l'utilisation d'une stratégie de plate-forme permet de transférer rapidement des composants d'un projet de développement à un autre et a un impact positif sur la croissance des ventes (Nobeoka et Cusumano, 1997). Une stratégie d'architecture modulaire de produit permet à une firme comme Accelrys d'accélérer son apprentissage du marché, car elle peut capitaliser sur de nombreuses variations de technologies, basées sur des composants développés par d'autres qu'elle intègre dans son offre.

Dans le processus de création de leurs offres d'outils logiciels, les développeurs organisent, implicitement ou explicitement, trois (3) niveaux d'architectures : architecture de produit, architecture de processus et architecture de connaissances (Sanchez, 1999). L'architecture de produit décompose les fonctionnalités du logiciel en composants fonctionnels et spécifie les interfaces dictant comment ces composants interagissent dans

celle-ci. Par le biais d'interfaces de programmation ils créent une structure d'information fournissant une coordination imbriquée des composants dans un processus modularisé de création (Sanchez, 1995; Sanchez et Mahoney, 1996). Ainsi, des interfaces de programmation robustes pour développer et utiliser des modules spécifiques en lien avec d'autres sont d'une importance capitale dans une stratégie de conception de plate-forme logicielle modulaire.

L'ensemble des spécifications des interfaces des composants constitue l'architecture du produit (Abernathy et Clark, 1985; Clark, 1985). Selon Ulrich (1995) et Ulrich et Eppinger (2000), une architecture de produit se définit comme suit : 1) l'arrangement des éléments fonctionnels; 2) les interrelations entre les éléments fonctionnels et des composants physiques (ou composantes logicielles); et 3) les spécifications des interfaces et interactions entre les composants physiques. Cette définition est compatible avec celle de Sanchez (1999). L'architecture des processus décompose les activités à réaliser et définit les règles par lesquelles les activités interagissent dans le cadre des processus de création de produit. L'architecture de connaissances réfère quant à elle à la décomposition des connaissances de l'organisation, ou de l'écosystème, en actifs spécifiques et aux façons par lesquelles ceux-ci interagissent dans les processus de création de produit. Ces éléments définissent ce que Sanchez (1999) appelle le « *PPKAs* », soit le « *Product, Process and Knowledge Architecture* ».

Le but de la conception étant l'assemblage et la configuration de savoirs génériques avec des savoirs spécifiques, la modularité offre aux firmes à l'étude la possibilité d'organiser la configuration des modules requis eu égard aux applications spécifiques à développer. L'architecture modulaire de l'offre qui en résulte apparaît comme une façon efficace d'organiser les éléments des outils de manière à soutenir un système de conception requérant un degré élevé de spécificité.

Dans un contexte de multidisciplinarité où le travail est spécialisé et divisé, il est impératif d'exploiter toutes les créativités présentes dans l'écosystème d'innovation. L'utilisation de la modularité par les firmes tend à favoriser l'ingénierie simultanée et à unifier les processus de travail des équipes de partenaires de recherche et de conception. Elle stimule l'adoption d'une approche systémique et divisée du travail de conception et de fabrication de produit. Cependant, le développement de tels systèmes complexes nécessite l'orchestration d'un travail collectif d'innovation.

Les développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception appliquent la science de la conception laquelle est influencée à la fois par une approche modulaire et par une forte intégration limitant la substitution de composants et l'inter opérabilité. Par conséquent, il appert que force de modularité est continuellement contrebalancée par la force d'intégration inhérente à l'exercice de la conception. Elle est aussi neutralisée par les décisions d'affaires soutenant les stratégies des développeurs orientées vers la dominance de marché (acquisitions, etc.) et le contrôle d'une architecture. Toutefois, un manque de modularité et d'inter opérabilité crée de l'incertitude concernant les interdépendances de composants et des ressources disponibles. De plus, si la modularité est faible, un composant particulier d'un environnement logiciel ne pourra être altéré ou amélioré sans faire de modifications majeures sur la conception d'autres composants (John et al. 1999). Ainsi, un environnement logiciel dont la modularité est faible entraînera pour les clients des coûts élevés et des limitations importances en termes d'évolution. Des fabricants comme Volvo et GE ne peuvent se permettre d'avoir de telles incertitudes dans leur système de conception de produits. Comme le montre plusieurs cas, c'est une situation qui malheureusement prévaut néanmoins souvent.

Lorsqu'ils effectuent les tâches de conception et d'assemblage de leurs offres d'outils, les développeurs utilisent à la fois l'intégration et la modularité. Les tâches de conception qui lui incombe s'intègrent dans ses systèmes stratégiques et touchent deux niveaux étroitement liés : premièrement, les tâches concernant la conception de son offre d'outils logiciels en tant que tel et deuxièmement, les tâches associées au système spécifique de conception du domaine d'application du client.

Les systèmes de conception de produits de divers domaines d'applications commandent aux développeurs d'outils d'assembler et de formaliser des ressources spécifiques. Or, les connaissances propres aux divers domaines d'application sont continuellement renouvelées (Garud et Kumaraswamy, 1995). Par ailleurs, un développeur seul est limité quant à l'étendue des connaissances qu'il peut absorber, agréger et formaliser dans sa solution. En outre, compte tenu de la présence des forces de marché et des règles de gouvernance de l'innovation, les développeurs d'outils n'ont d'autre choix que de stimuler les transactions avec les membres de l'écosystème pour pouvoir survivre. Ils sont donc contraints de tenir compte des interdépendances dans leur chaîne de création d'outils et l'écosystème client. S'ils veulent transiger dans le réseau de conception des clients, ils doivent absolument simplifier l'échange et les transactions. Étant donné que les solutions logicielles d'un système de conception client sont interdépendantes les unes avec les autres et que les interfaces sont généralement propriétaires (Wilson, et al. 1990), un degré élevé de modularité et d'interopérabilité est donc hautement désiré. Ils doivent innover et offrir continuellement des versions améliorées et inter opérables car sinon, la pertinence de transiger avec eux disparaît.

Par conséquent, à défaut de procéder à des acquisitions pour obtenir des actifs spécifiques augmentant leur dominance de marché et le contrôle d'une architecture, les obligations d'interdépendances renforcent la nécessité

d'utiliser une approche modulaire comme moyen stratégique d'innover et d'assembler les ressources requises. L'obtention et l'exploitation de ressources de l'écosystème peuvent ainsi se faire par deux voies :

- intégration par acquisition de ressources concurrentes (firmes et technologies);
- adoption d'une approche modulaire pour intégrer et structurer des ressources, en s'appuyant sur l'inter opérabilité des composants, outils et systèmes.

Les deux voies permettent d'architecturer et d'organiser une chaîne de création d'outils mais aussi, structurer l'écosystème d'innovation client. La combinaison dans les systèmes stratégiques des firmes des forces d'intégration et de modularité permet à certaines d'entre elles de s'imposer sur le marché car elles mettent en œuvre des systèmes stratégiques élaborés pour à la fois :

- architecturer et organiser une chaîne de création d'outils et :
- structurer l'écosystème d'innovation client.

Les études de cas de Dassault, Cadence, Telelogic et Accelys sont révélatrices à ce sujet. Même si leur volonté d'intégration est très forte et se traduit fréquemment par des acquisitions et des restrictions d'inter opérabilité, des systèmes stratégiques dirigés vers une modularité contribuant au développement de solutions complémentaires répondant mieux aux exigences élevées et spécifiques des clients sont aussi déployés. Ceci exige cependant que la modularité soit soutenue par un inter opérabilité efficace. Comme le souligne Meyer et Seliger (1998, p.62): « Inter operability reduces the learning time from package to package in which each package shares a common user interface, or integrating different systems so that data from one may be readily accessed by another ». L'élément crucial

concerne par conséquent l'inter opérabilité. Sans un inter opérabilité efficace, la modularité ne livre pas ses promesses. Par exemple, la plate-forme CAA V5 de Dassault illustre l'affrontement des forces. Bien que techniquement l'architecture CAA V5 permette à Dassault d'intégrer des modules tiers et de les assembler avec ses composants de manière à répondre à des besoins spécifiques, Dassault limite néanmoins l'inter opérabilité des solutions de la plate-forme CAA V5 avec d'autres outils. Cette situation illustre l'affrontement des forces de modularité et d'intégration dans les systèmes stratégiques déployés par la firme.

En conclusion, en dépit des acquisitions et stratégies d'intégration qui parfois réduisent l'inter opérabilité et la modularité, les résultats obtenus montrent que les développeurs d'outils mettent néanmoins en œuvre des systèmes stratégiques et utilisent des règles de gouvernance de l'innovation contribuant à les augmenter. Par exemple, des architectes intégrateurs comme Cadence et Accelrys offrent à des réseaux de partenaires des plates-formes de développement et des règles de conception standardisées, de manière à stimuler l'innovation de la façon la plus coordonnée possible au sein d'une chaîne de création.

Par conséquent, pour assurer leur survie les développeurs d'outils incorporent et équilibrivent dans leurs systèmes stratégiques les deux forces décrites précédemment. La force d'intégration inhérente à l'application de la science de la conception a tendance à avoir naturellement préséance. Face aux pressions du marché, les développeurs sont toutefois obligés de l'équilibrer avec la force de modularité à laquelle est relié l'inter opérabilité des outils. Ainsi, ils utilisent la modularité comme stratégie d'organisation de leurs offres d'outils et tentent de répondre aux pressions des clients avec plus de spécificité et d'inter opérabilité, s'assurant ainsi d'un meilleur positionnement dans le réseau de transactions de ces derniers.

Nos résultats montrent que les obligations de coordination dans les écosystèmes de conception entraînent les développeurs à utiliser la modularité et favoriser l'inter opérabilité pour exploiter des ressources hautement spécifiques. Ils illustrent que la spécificité est davantage associée à la modularité que ce qui est suggéré par Schilling. Ainsi, nous suggérons qu'il ne s'agit pas tant d'opposer intégration et modularité comme modèle d'évolution industrielle mais plutôt reconnaître qu'il s'agit de deux facettes d'une même réalité sur le plan de la conception d'artefacts.

Les forces d'intégration et de modularité influencent des dimensions à divers niveaux tel qu'illustré au tableau 7.2. Ces dimensions doivent être incorporées dans l'ensemble des systèmes stratégiques déployés par les développeurs à l'égard de l'organisation d'une chaîne de création d'outils, de la structuration d'un système de conception client ainsi que du rôle qu'ils remplissent dans l'écosystème d'innovation.

Tableau 7.2 : Dimensions influencées par les forces d'intégration et de modularité

Niveau	Dimensions influencées	
	Force d'intégration	Force de modularité
Outils et systèmes logiciels	Modèles, données, méthodologies, processus, technologies, composants	Ingénierie logicielle inter opérabilité, architecture modulaire, plate-forme
Développeurs	Connaissances, pratiques, expériences, équipes	Organisation des équipes et firmes par domaine de spécialité et tâches
Écosystème	Acquisitions ciblées de technologies et de firmes	Structuration de réseaux, partenariats, espaces collectifs, division du travail

La dualité intégration-modularité découlant de la science de la conception pose des dilemmes constants pour les développeurs quant aux moyens à

mettre en œuvre pour répondre à des besoins spécifiques et évolutifs de clients dans des domaines précis d'applications industrielles (organisation de réseaux, inter opérabilité des systèmes, etc.).

7.1.2.3 Organisation de réseaux de conception

La conception est un processus social et collaboratif. Les clients, les concepteurs et les autres professionnels s'échangent de l'information à propos des objectifs et attributs d'un produit désiré ainsi que sur leurs rôles dans le processus de développement (Shai et Reich, 2004). Ils divisent les tâches reliées à la conception, suivent le processus, détectent et résolvent des conflits, et arbitrent continuellement le sens de l'information générée dans le processus et devant être intégrée dans celui-ci (Finger et al., 1995; Konda et al., 1992). Comme la conception en mode collaboratif est désormais inévitable, la compétitivité des organisations dépend de leur habilité à mettre en place un environnement de conception collaborative efficace et efficient (Shai et Reich, 2004).

Dans l'environnement à l'étude, nous observons la superposition de deux types de réseaux, soit des réseaux centralisés et des réseaux décentralisés (Langlois et Robertson, 1992). Les réseaux centralisés sont pilotés par des firmes dominantes, des architectes intégrateurs, qui regroupent chacun des communautés de partenaires autour de standards propriétaires. Par ailleurs, les réseaux décentralisés sont constitués à priori de détenteurs d'enjeux (associations, agences gouvernementales, etc.) dont aucun n'a le contrôle exclusif sur des standards communs bien qu'ils en soient tous des promoteurs. En effet, ces détenteurs d'enjeux ont comme intérêt de prôner l'utilisation de standards industriels favorisant l'innovation. Nous observons que dans les deux types de réseau présents, la modularité est encouragée, ce qui est compatible avec Langlois et Robertson (1992).

Dès lors, nous assistons à une situation où des architectes intégrateurs tentent d'induire et de profiter au maximum des externalités découlant de leur réseau de partenaires et d'utilisateurs (Rotemberg et Saloner, 1991). Par le biais d'un réseau centralisé de conception, de standards propriétaires et de connaissances accumulées sur les systèmes de conception d'applications des clients, les architectes intégrateurs gouvernent l'innovation et assurent une consistance dans les actions. Toutefois, les détenteurs d'enjeux et les clients mettent continuellement de la pression sur les architectes intégrateurs pour bénéficier d'un inter opérabilité maximal dans un écosystème d'innovation.

La modularité est donc utilisée par des firmes dominantes comme moyen d'encadrer des relations contractuelles avec un écosystème de partenaires. La firme en position d'architecte intégrateur utilise la modularité de son offre de logiciels pour coordonner un réseau global (Kogut et Kulatilaka, 1994) ou une constellation de développeurs (Normann et Ramirez, 1993), lesquels utilisent les règles de conception qu'elle propose pour concevoir des modules. Comme la modularité est utilisée de manière intentionnelle comme stratégie de conception et d'organisation d'une offre, les améliorations apportées par un développeur permettent aux leaders d'apprendre et d'absorber plus rapidement les avancées technologiques. De telles capacités d'apprentissage rapide permettent aux architectes intégrateurs comme Dassault et Cadence de consolider encore davantage leur position. Par ailleurs, il est capital que les leaders proposant lesdites règles de conception aient, dans de tels contextes, des capacités pour spécifier et gouverner les caractéristiques des modules pour assurer ainsi la viabilité et la performance de l'architecture du système (Venkatesan, 1992; Henderson et Clark, 1990). Nous suggérons que les investissements importants en R&D et en développement de capacités des architectes intégrateurs découlent entre autres de ces exigences.

Selon Wade (1995), le succès d'une technologie ne dérive pas simplement de sa performance supérieure, mais aussi, voire surtout, du niveau d'appropriation de celle-ci par d'autres organisations. Wade suggère notamment que des communautés basées sur la conception contribuent à accroître cette appropriation ; « A community based on a technological paradigm or design, then, includes the sponsor of the design, and all organizations that have a stake in and support the design » (Wade, 1995, p.113).

Ceci est compatible avec nos résultats car la concurrence entre architectes intégrateurs s'effectue notamment au niveau de leurs capacités à mettre en place, piloter et soutenir des réseaux centralisés. Les offres logicielles que proposent les architectes intégrateurs constituent une forme de « design dominant » qui imbrique un paradigme technologique (Dosi, 1982). L'offre dominante fournit les normes autour desquelles les processus de développement se réalisent et les flux de connaissances s'élaborent. Elle fournit en quelque sorte des approches communes de conception qui gouvernent les transactions entre les firmes pour des engagements à long terme envers des développements technologiques cohérents. Le réseau supportant l'offre (plate-forme, etc.) dominante crée une structure au sein de laquelle des activités collaboratives de développement technologique peuvent se réaliser et fournit un cadre institutionnel au sein duquel peuvent s'établir des transactions entre les organisations.

En conséquence, la création d'un réseau de partenaires de conception spécialisés et accrédités est une façon flexible pour les architectes intégrateurs d'établir des transactions pour gouverner l'innovation. Les spécialistes présents dans les réseaux de conception centralisés focalisent quant à eux leurs efforts vers des problèmes complexes reliés à des tâches spécifiques. Comme le soulignent Weiss et Birnbaum (1989): « Their choice of projects and commitments of resources will reflect the needs for specific

solutions to specific problems ». En focalisant sur des problèmes, solutions et applications spécifiques, les firmes ont des raisons cohérentes de faire converger leurs capacités technologiques vers un domaine.

En outre selon Weiss et Birnbaum (1989), l'existence d'un réseau implique que les technologies qui seront produites et échangées au sein de celui-ci deviendront de plus en plus spécifiques au domaine. La division du travail et la spécialisation des firmes, renforcées par une modularité accrue, rendent davantage les firmes et leurs technologies spécifiques au domaine d'application desservie et à leur place dans le réseau de transactions dominant auquel elles adhèrent. Par ailleurs, la configuration des réseaux varie selon les domaines d'application. Alors que l'on retrouve davantage de réseaux centralisés autour de firmes dominantes avec des standards propriétaires (Dassault, UGS, Autodesk, etc.) dans les domaines de l'automobile, l'aérospatiale, etc., le secteur de la microélectronique montre quant à lui une configuration des réseaux davantage guidés sur le partage de standards industriels. Les systèmes stratégiques menant à la configuration des réseaux de conception sont par conséquent spécifiques aux domaines d'application et les modèles d'affaires des développeurs d'outils reflètent cette spécificité.

7.1.3 Logique d'innovation des développeurs d'outils

7.1.3.1 Maturité méthodologique : pré-requis pour une maturité industrielle et une modularité de l'écosystème d'innovation

Pour qu'il y ait division et répartition dans les systèmes industriels, il faut tout d'abord qu'il y ait compréhension du travail à faire. Cette compréhension passe par une formalisation rigoureuse des problèmes scientifiques à résoudre ainsi que des méthodes, pratiques et processus à mettre en œuvre pour soutenir d'abord la conception et ensuite la fabrication d'un produit.

Comme suggéré par plusieurs auteurs (Coyne et Newton, 1990; Hubka et Eder, 1987), la science de la conception s'abreuve des sciences fondamentales et les rendent « visibles ». Il s'agit d'une activité de formalisation scientifique, technologique et méthodologique en vue de la conception d'un artefact.

Le but des développeurs d'outils d'aide à la conception est de répondre à des clients exigeants qui souhaitent concevoir des produits toujours plus performants dans leurs domaines d'applications. Un des objectifs premiers est donc de puiser dans les sciences fondamentales les principes et modèles requis par le domaine d'applications concerné. Grâce aux interactions étroites avec les clients et leurs expériences accumulées, ils formalisent dans des outils la science, les techniques, pratiques, processus et règles de conception applicables au domaine d'applications visé. Si la science requise est formalisée et bien établie, les développeurs l'intègrent. Cette étape de formalisation est essentielle pour résoudre des classes de problèmes associées à des tâches spécifiques de conception à accomplir dans un domaine d'applications. Par ailleurs, seule une spécificité élevée des actifs permet de bien formaliser les problèmes à résoudre. De plus, ce qui peut être transféré facilement et sans ambiguïté dans un processus de conception est ce qui est bien formalisé, codifié, établi et standardisé. Lorsque les connaissances et les règles requises pour concevoir et fabriquer un artefact sont maîtrisées, stables et standardisées, les processus deviennent récurrents et matures. L'intégration dans des outils logiciels d'aide à la conception de connaissances, spécifications, règles et normes formalisées et établies engendre une stabilité et une maturité sur le plan de la conception et de l'ingénierie.

Les données de notre recherche ont des implications théoriques significatives pour la littérature portant sur la modularité. Des études de cas réalisées sur des développeurs desservant divers domaines d'applications,

nous démontrent que ce n'est pas les outils en tant que tel qui contribuent à la modularité du système de conception mais bien :

- le degré de maturité de la formalisation de la science et des méthodes intégrées dans les outils ainsi que;
- des règles d'échanges d'informations techniques numérisées dans l'écosystème.

Une formalisation établie et stable de la science et des règles d'échanges assurant l'inter opérabilité des outils logiciels, pave d'abord la voie à une division du travail, puis à une modularité du système de conception, et finalement, à une innovation plus ouverte dans l'écosystème client. Nous suggérons que c'est une maturité méthodologique élevée qui entraîne l'inter opérabilité des outils et systèmes logiciels, la maturité de la conception, la division du travail et permet l'organisation modulaire des tâches dans un domaine d'application. Une maturité méthodologique élevée est le reflet d'une formalisation (codification) scientifique, technologique et méthodologique établie et stable. Une formalisation établie et stable est caractérisée par :

1. Une reconnaissance internationale de la validité des assises scientifiques, technologiques et méthodologiques concernant la conception et la fabrication d'un artefact dans un domaine spécifique d'applications, par des communautés scientifiques et des instances gouvernementales, institutionnelles et industrielles reconnues comme autorité sur le dit domaine ;
2. Une stabilité dans le temps de la validité des assises mentionnés ci-avant.

S'appuyant sur la définition d'Hubka et Eder (1987) de la science de la conception, la maturité méthodologique est ainsi définie comme le *degré de formalisation et la stabilité au sein d'un système de conception dans un domaine d'applications spécifiques*:

- 1) des connaissances fondamentales provenant des sciences naturelles requises;
- 2) des théories des systèmes techniques requis;
- 3) d'une méthodologie de conception adaptée;
- 4) des règles et protocoles d'échanges de données numériques adaptés.

C'est une maturité méthodologique élevée qui permet la réalisation de transactions dans un système de conception et engendre la division du travail. Une maturité méthodologique élevée réduit la complexité des échanges au sein et entre les firmes ainsi que les coûts de transactions dans les chaînes de travail. Sans un degré élevé de maturité méthodologique, un travail collectif d'innovation n'est pas possible au sein d'un système de conception. Nous suggérons ainsi que la modularité découle de la maturité méthodologique, laquelle reflète le degré de stabilité de la formalisation propre à un domaine d'applications.

Soulignons qu'une maturité méthodologique élevée est requise tant dans le système de conception que dans celui de la fabrication d'un domaine d'applications spécifiques. Il y a de fait des interrelations étroites entre ces deux systèmes en plus d'une co évolution entre la chaîne de création d'outils et le système de conception du fabricant d'applications. Une maturité méthodologique élevée dans un système de conception permet le transfert de données de conception standardisées vers le système de fabrication et par le fait même, contribue à faire évoluer ce dernier vers plus de stabilité. Les domaines d'application s'appuyant sur une telle maturité méthodologique dans les systèmes de conception et de fabrication évoluent vers une plus

grande maturité industrielle. La figure 7.1 montre les interrelations entre les systèmes de conception et de fabrication, la maturité méthodologique et la chaîne de création d'outils pour un domaine d'applications spécifiques.

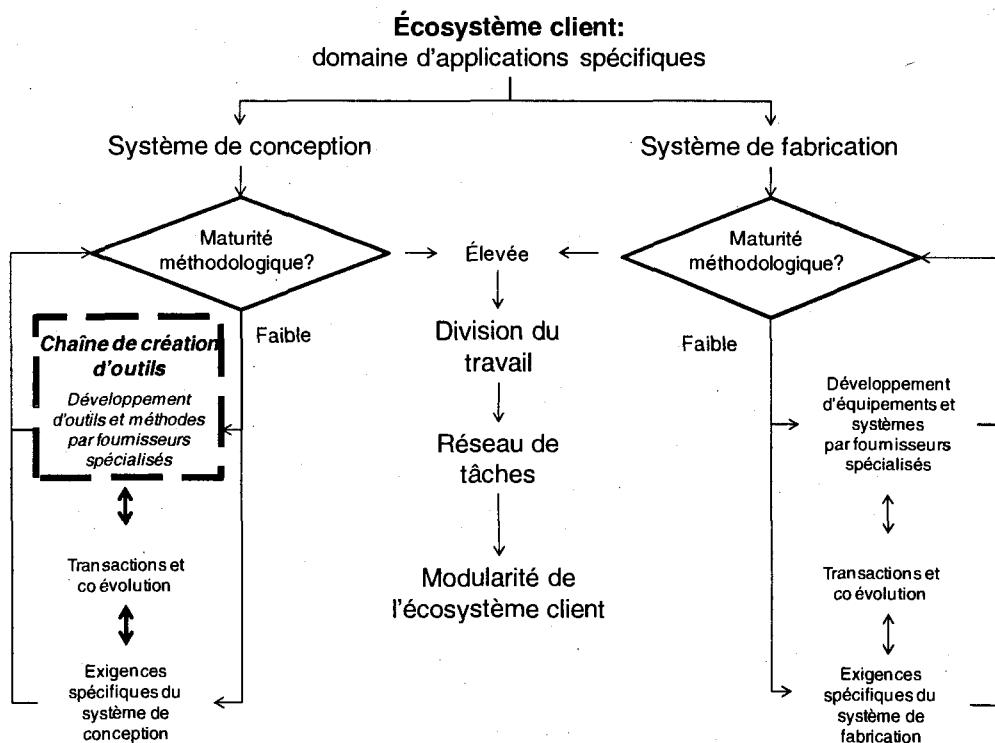


Figure 7.1 : Interrelations entre les systèmes de conception et de fabrication, la maturité méthodologique et la chaîne de création d'outils pour un domaine d'applications spécifiques

Par exemple, certains domaines comme ceux de l'automobile et les équipements industriels font globalement appel à des assises scientifiques, technologiques et méthodologiques établies et matures. La science de la conception est appliquée depuis longtemps dans ces domaines et des règles de conception et d'ingénierie de production sont bien formalisées, standardisées, matures et les processus sont récurrents. Bien avant l'ère numérique, des domaines d'applications comme ceux mentionnés ci-dessus bénéficiaient d'une maturité méthodologique élevée, celle-ci ayant entraîné avec le temps une division du travail et une maturité industrielle. L'arrivée

sur le marché dans les années 1970 et 1980 d'outils logiciels d'aide à la conception, a amené une numérisation rapide des tâches de conception et de fabrication de ces domaines. Les outils logiciels ont permis dans un premier temps une numérisation de la science formalisée et dans un deuxième temps, une accélération de la formalisation scientifique, technologique et méthodologique, entraînant par le fait même une division accrue du travail. En établissant des protocoles d'échanges de données numériques et des standards industriels avec l'appui de détenteurs d'enjeux (gouvernements, etc.), les fabricants ont pu rapidement numériser leurs tâches de conception et d'ingénierie. Grâce à une maturité méthodologique élevée, les fabricants œuvrant dans ces domaines jouissant préalablement d'une maturité industrielle élevée ont pu exploiter la modularité comme moyen de réorganisation de leur système de fabrication. Ainsi, les systèmes de production déjà matures ont pu migrer plus rapidement vers une organisation modulaire de la production même si les réseaux de conception associés étaient, et sont toujours en bonne partie, supportés par des outils caractérisés par un fort degré d'intégration. Néanmoins, dans ces domaines matures que sont ceux de l'automobile, des équipements industriels et de l'aérospatial, les développeurs d'outils ressentent de la part des clients, une pression élevée vers une organisation modulaire de la conception, nécessitant donc d'élèver la maturité méthodologique et l'inter opérabilité dans les systèmes de conception.

De plus, comme la demande est variée dans ces domaines et les exigences spécifiques des clients sont élevées, ces derniers mettent plus de valeur à une possibilité de recombinaison plus élevée d'outils dans leur écosystème d'innovation. Par ailleurs, plus les intrants (outils) sont hétérogènes, plus les recombinations possibles seront élevées grâce à la modularité selon Schilling (2000). Donc, plus la demande est variée et experte, ce qui est le cas dans les domaines de l'automobile, des équipements industriels et la microélectronique par exemple, plus la modularité sera renforcée comme

moyen d'organisation industrielle. Devant une grande hétérogénéité d'outils possibles et de possibilités de recombinaisons, les clients souhaitent diminuer leurs coûts d'opportunité en étant lié à une solution plus évolutive. Or, ce qui apparaît comme une solution « plus évolutive » aux yeux des clients est une solution performante, modulaire, inter opérable et spécifique avec le système de conception.

Le dynamisme du développement scientifique et technologique ainsi que les forces de marché affectent tous les domaines d'application, bien qu'ils y soient sujets de façon variable. Aussi, les consensus entourant la formalisation évoluent et changent continuellement au rythme des avancées scientifiques, technologiques et méthodologiques et des forces de marché. Tel que mentionnée, la conception est une activité de formalisation et les avancées scientifiques et la dynamique industrielle provoquent une dé maturité de cette formalisation et incidemment, une dé maturité méthodologique. Même dans les domaines matures des règles changent, de nouveaux matériaux apparaissent, de nouveaux standards et protocoles sont requis, etc. Ces changements entraînent le besoin de formaliser de nouveau la science et les règles, et de ramener la maturité méthodologique à un niveau plus élevée et acceptable pour le nouveau contexte scientifique, technologique, méthodologique et concurrentiel. Les écosystèmes d'innovation des clients dans des domaines d'applications spécifiques ont donc constamment besoin de re stabiliser la maturité méthodologique. Les développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement contribuent à cet effort grâce aux systèmes stratégiques qu'ils déploient, aux règles de gouvernance de l'innovation qu'ils utilisent et aux rôles qu'ils adoptent dans les écosystèmes des clients.

Comme les connaissances, processus et pratiques sont peu formalisés et standardisés dans les secteurs émergents, nous dirons que la maturité méthodologique y est faible. Dans certains domaines comme ceux des

nanotechnologies et des MEMS, les systèmes de conception ne bénéficient pas encore d'une maturité méthodologique élevée et par conséquent, les systèmes de fabrication demeurent immatures. Si la formalisation n'est pas ou peu établie ou encore n'est pas stable sur les plans de la conception et de la fabrication, le fabricant ne pourra pas produire d'artefact. Dans ces domaines, les développeurs d'outils contribuent d'abord à un effort d'exploration et de formalisation scientifique. Globalement, nos résultats nous indiquent que la pression est moins forte sur la modularité et l'inter opérabilité des outils destinés à ces domaines. Ceci s'explique par l'attention prioritaire portée dans ces domaines sur la formalisation scientifique. Incidemment, on y constate un effort moins important sur la formalisation et l'unification des processus.

Par ailleurs, nous suggérons que les outils logiciels d'aide à la conception des firmes étudiées peuvent être conçus avec une approche modulaire et afficher des caractéristiques intégratrices. Ce qui doit être considéré avant tout est le degré d'inter opérabilité de l'outil, soit le degré de facilité avec lequel celui-ci permet l'échange d'informations codifiées (et standardisées) soutenant la division du travail. Un outil peut être conçu de façon modulaire, être intégré au sein d'une suite logicielle et être inter opérable tout en étant très spécifique aussi bien dans son arrangement de connaissances et de technologies que dans le type de tâches qu'il permet de réaliser. Si un tel outil contribue à rehausser la maturité méthodologique du système de conception d'un domaine applications spécifiques, il contribuera à faire évoluer ce dernier, ainsi que le réseau de transactions associé, vers plus de modularité. Par ailleurs, un outil peut être modulaire dans sa conception mais pour des raisons reliées à des stratégies de dominance de marché ou de contrôle d'architecture du développeur, il peut-être peu ou pas inter opérable. En dépit des affirmations des développeurs, une telle offre contribuera négativement à l'implantation d'un système de conception et de production modulaire car il réduit la maturité méthodologique.

À l'égard de l'évolution des systèmes industriels, notre étude nous permet de suggérer que ceux-ci sont marqués par certaines étapes les menant à une maturité industrielle. La figure 7.2 montre les relations entre la maturité méthodologique et la maturité industrielle.

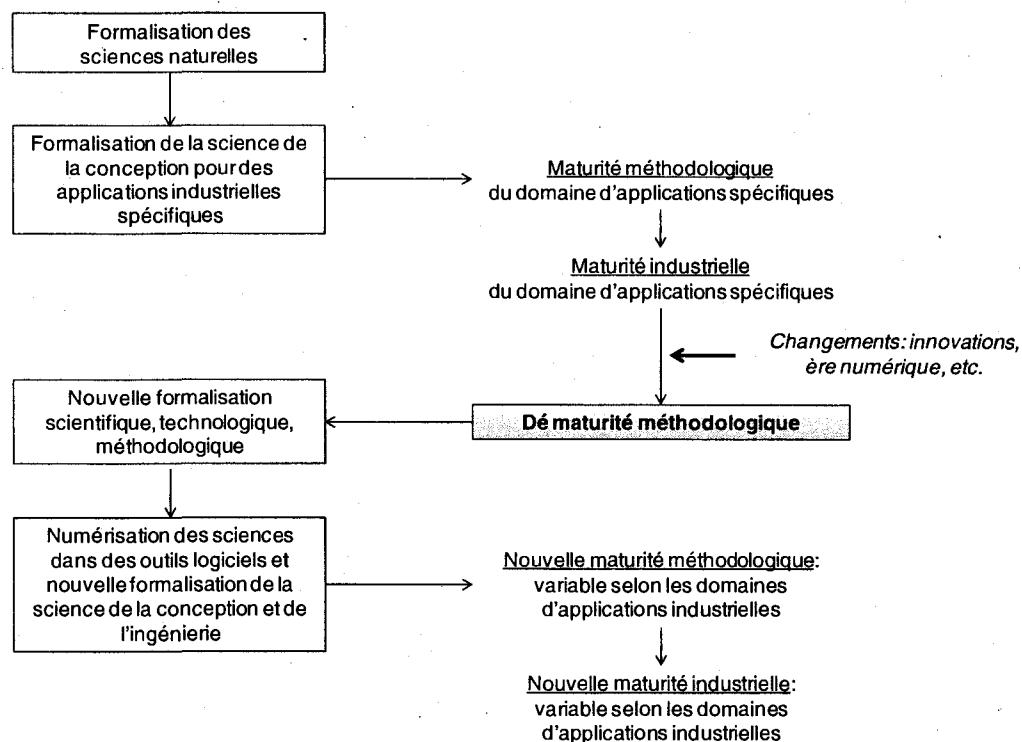


Figure 7.2 : Relations entre maturité méthodologique et maturité industrielle

Lorsque l'on considère comment cette évolution s'est illustrée historiquement sur le plan de la conception pour les fabricants dans un domaine mature comme celui de l'automobile, nous remarquons trois (3) phases :

- Conception internalisée au sein d'une large firme verticalement intégrée;

- Conception internalisée dans la firme en interaction avec un réseau de production plus ou moins modulaire regroupant des fournisseurs spécialisés;
- Conception modulaire où des tâches sont internalisées chez le fabricant alors que d'autres sont externalisées dans un système de conception modulaire en interrelation avec un système de production modulaire.

Les résultats de notre recherche nous montrent que les développeurs d'outils sont des intervenants de premier plan dans l'évolution de la maturité méthodologique qui soutient la division du travail et la modularité des systèmes de conception. Engagés dans un exercice fondamental de formalisation scientifique, technologique et méthodologique, la maturité méthodologique constitue la propriété émergente du travail d'intégration et de structuration des développeurs d'outils. Cette propriété émerge à mesure que les développeurs agissent sur les systèmes de conception, exprimant ainsi la logique d'innovation qui guide leur développement, une logique qui n'apparaît qu'une fois la maturité méthodologique manifestée.

7.1.3.2 Co évolution des chaînes de création d'outils et des systèmes de conception client

Tel que discuté précédemment, les spécificités des systèmes de conception d'applications obligent les développeurs à puiser dans l'écosystème client, des connaissances sur les systèmes techniques et les processus spécifiques pour créer de la valeur. Pour atteindre ce but, la firme doit ajuster continuellement sa logique d'innovation pour faire évoluer son offre logicielle ainsi que les processus et les connaissances qui la soutiennent. Étant donné la très grande spécificité qui découle de l'engagement des développeurs à rehausser continuellement la maturité méthodologique, les

deux espaces de conception sont appelées avec le temps à s'imbriquer et co évoluer.

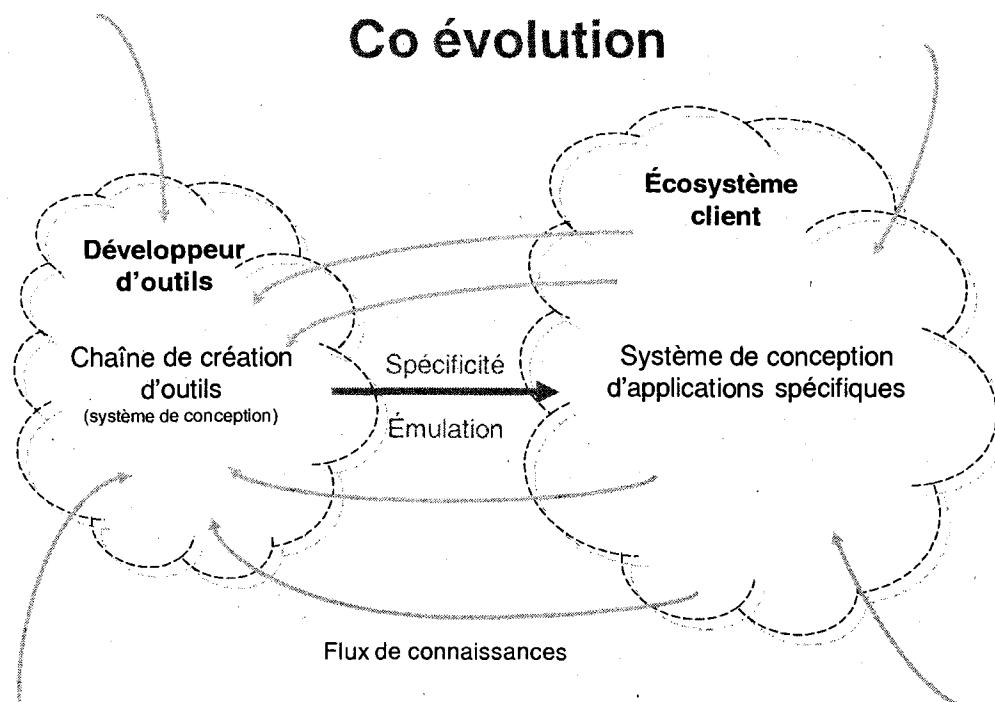


Figure 7.3 : Co évolution des chaînes de création d'outils et des systèmes de conception d'applications spécifiques clients

Comme le montre la figure 7.3, le développeur puise des flux de connaissances provenant de l'écosystème client et d'autres sources. La complexité, les singularités et les exigences élevées du système de conception de produits du client l'entraînent ainsi avec le temps à émuler celle-ci, ce qui induit une spécificité. Comme les deux deviennent intimement liées, les systèmes de conception évolueront au rythme des transactions effectuées et des forces techniques et économiques auxquelles ils sont soumis, indépendamment ou conjointement. En effet, tantôt les avancées technologiques des outils permettent une évolution marquée des systèmes de conception d'applications alors qu'à un autre moment, les

pressions exercées sur ces derniers exigent des améliorations importantes sur les outils. Les études de cas réalisées sur des firmes desservant divers domaines d'applications montrent bien cette co évolution. Par exemple, les outils de la firme Cadence contribuent à l'évolution du système de conception d'applications en microélectronique et à titre d'architecte intégrateur, les systèmes stratégiques déployés par la firme pour une telle évolution sont importants. À l'opposé, les exigences du système stimulent constamment l'évolution des outils de Cadence. Ainsi, la firme développe son offre d'outils en utilisant des ressources se trouvant dans l'écosystème client et lorsque mis en marché, celle-ci devient à son tour une ressource pouvant être utilisée par l'écosystème. Il y a donc co-évolution avec le temps du développeur d'outils et l'écosystème client, ce qui explique la très forte spécificité observée. Pour Cadence comme pour l'ensemble des développeurs d'outils, les réseaux de conception qui en découlent deviennent en effet inévitablement spécifiques au système desservi. Si une firme veut s'investir dans le développement d'outils destinés à un nouveau domaine, elle devra engager des ressources très importantes, par voie d'acquisitions ou à l'interne, pour acquérir les actifs spécifiques requis par le nouveau domaine.

La co évolution prend un autre aspect dans le domaine des applications nano technologiques. Tel qu'évoqué précédemment, ce domaine est aujourd'hui surtout desservi par des spécialistes contribuant à une formalisation scientifique. La formalisation technologique et méthodologique est encore peu établie et par conséquent, la chaîne de création d'outils et le système de conception des fabricants sont peu matures. Les efforts d'innovation sont principalement orientés à éléver et stabiliser la maturité méthodologique des systèmes de conception. De plus, l'intégration et la structuration globale des ressources restent à faire par un architecte intégrateur tant sur le plan de la chaîne de création d'outils que de celui du système de conception de ces types d'applications.

7.1.3.3 Modèle d'intégration et de structuration dans les systèmes de conception

Les résultats de notre recherche révèlent des différences et des similitudes entre les firmes quant aux intensités de perception des forces de marchés dominantes, des systèmes stratégiques déployés et des règles de gouvernance de l'innovation utilisées. Ces résultats ont des implications théoriques significatives lorsqu'on prend en considération la notion d'architecture de produit. Ils montrent que les systèmes stratégiques déployés et les règles de gouvernance de l'innovation utilisées par les développeurs sont orientés pour répondre aux besoins des architectures de l'offre d'outils logiciels et de l'application client à concevoir.

Comme l'offre logicielle du développeur d'outils vise à soutenir des tâches de clients experts impliqués dans la conception de produits dans un domaine d'applications spécifiques, le développeur doit l'élaborer de manière à adresser les trois (3) niveaux d'architecture du produit à concevoir dans le système de conception du client (Sanchez, 1999) :

- composants fonctionnels et interfaces;
- activités, processus et règles d'interaction;
- interactions des connaissances de l'organisation et l'écosystème.

Comme la figure 7.4 le montre, nous suggérons que les architectures de l'offre de logiciels d'aide à la conception et des applications dont ils sont destinés à soutenir la conception sont très inter reliées. Les flèches indiquent l'intensité des interrelations entre les deux architectures globales. L'application du client commande des architectures de produit, de processus et de connaissances qui sont propres au domaine d'application. Pour soutenir la conception d'une telle application, l'offre logicielle d'aide à la

conception doit fournir des capacités pour répondre à ces besoins spécifiques.

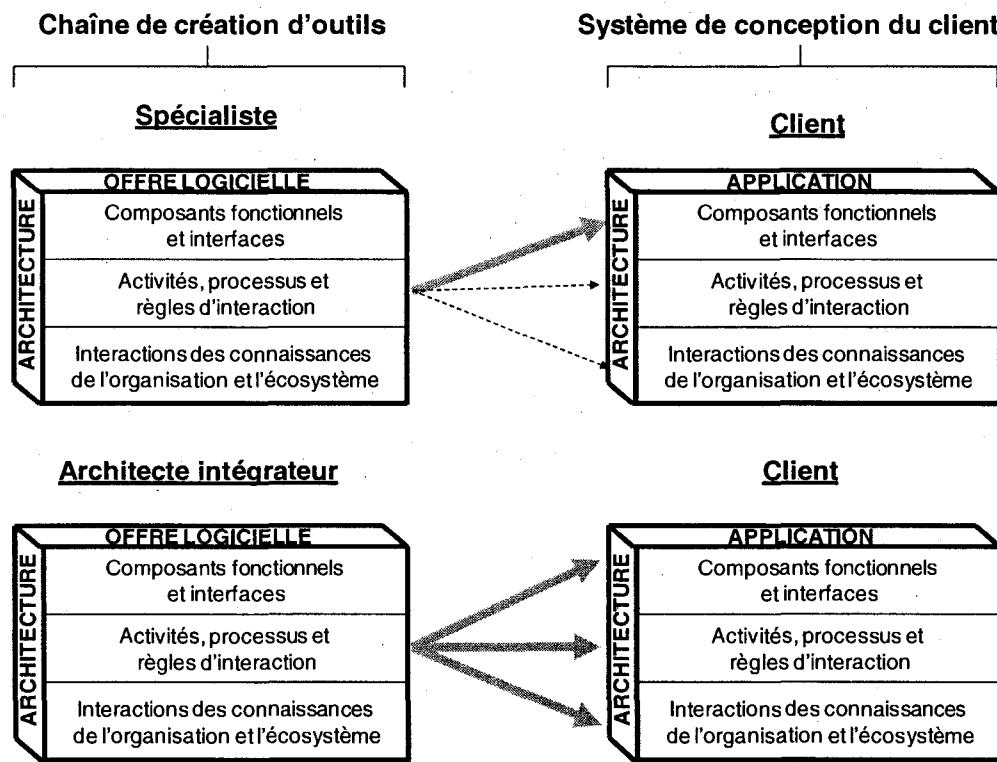


Figure 7.4 : Interrelations entre architecture de l'offre logicielle d'aide à la conception et architecture de l'application client

Par ailleurs, pour concevoir une telle offre, les développeurs ont besoin également de répondre aux trois (3) niveaux d'architecture de l'offre logicielle elle-même. Celle-ci se compose d'un ou plusieurs outils et de ressources complémentaires au sein d'une ou plusieurs firmes. Pour organiser cette offre, les développeurs peuvent travailler seuls ou exploiter des ressources présentes sur le marché. Nos résultats montrent que des développeurs conçoivent leurs offres logicielles en fonction des actifs répartis dans une chaîne de création d'outils et le système de conception client. L'exploitation des architectures de produit, de processus et de connaissances, offre aux développeurs un levier stratégique pour concevoir une offre, organiser une

chaîne de création d'outils et contribuer à structurer le système de conception d'application du client.

Ces interrelations expliquent de façon concrète comment les développeurs s'y prennent pour répondre au système de conception du client. Les buts ultimes des développeurs d'outils sont de fournir une plus grande capacité d'innovation aux clients tout en rehaussant la maturité méthodologique des systèmes de conception. Nous suggérons que les forces de marchés dominantes perçues, les systèmes stratégiques déployés et les règles de gouvernance de l'innovation utilisées sont l'expression des forces d'intégration et de modularité agissant sur les firmes pour qu'elles répondent aux besoins de la maturité méthodologique nécessaire pour stabiliser les architectures des deux (2) systèmes inter reliés. L'expression des forces d'intégration et de modularité envers les architectures de l'offre d'outils et l'application client à concevoir, nous permet de distinguer les développeurs entre eux et différencier leurs rôles respectifs dans cette dynamique de co évolution.

Par exemple, l'offre de solutions des architectes intégrateurs comme Dassault, UGS et Accelrys vise à gérer les trois niveaux d'architecture de l'application client en tentant d'intégrer et structurer les ressources spécifiques requis aux trois niveaux. Leurs offres de solutions visent à permettre alors aux clients de gérer tous les aspects reliés au cycle de vie du produit. Les outils composant leurs offres visent à permettre la conception et l'optimisation des composants d'un produit, gérer les processus et les règles d'interactions entre des équipes et partenaires et finalement, intégrer et structurer des connaissances dans la chaîne de valeur. De plus, en proposant une plate-forme et en invitant des partenaires de conception à développer des modules spécifiques pouvant s'y intégrer, les architectes intégrateurs se voient conférer des avantages concurrentiels grâce à des offres plus complètes, plus différenciées et constamment renouvelées. Les

systèmes stratégiques déployés et les règles de gouvernance de l'innovation utilisées dirigées dans ce sens ont pour effet de structurer une chaîne de création d'outils autour de l'architecture d'une offre. De cette façon, les modèles d'affaires des architectes intégrateurs leur permettent de tirer avantage d'une position privilégiée pour créer et capturer la valeur.

À l'opposé, comme le montre la figure 7.4 les spécialistes répondent principalement aux exigences reliées à l'optimisation de la conception de sous-composants ou composants fonctionnels et de leurs interfaces, soit un des trois niveaux de l'architecture de l'application client.

L'analyse des données de trente-cinq (35) cas nous conduit à proposer un modèle d'intégration et de structuration permettant d'expliquer la logique d'innovation des développeurs et de prédire leurs rôles dans les systèmes de conception. Présenté à la figure 7.5, ce modèle établit des liens entre l'indice d'intégration et de structuration des firmes, leurs rôles et leurs impacts sur la maturité méthodologique et la modularité des systèmes de conception. Il nous permet d'élaborer huit (8) propositions lesquelles sont discutées ci-après.

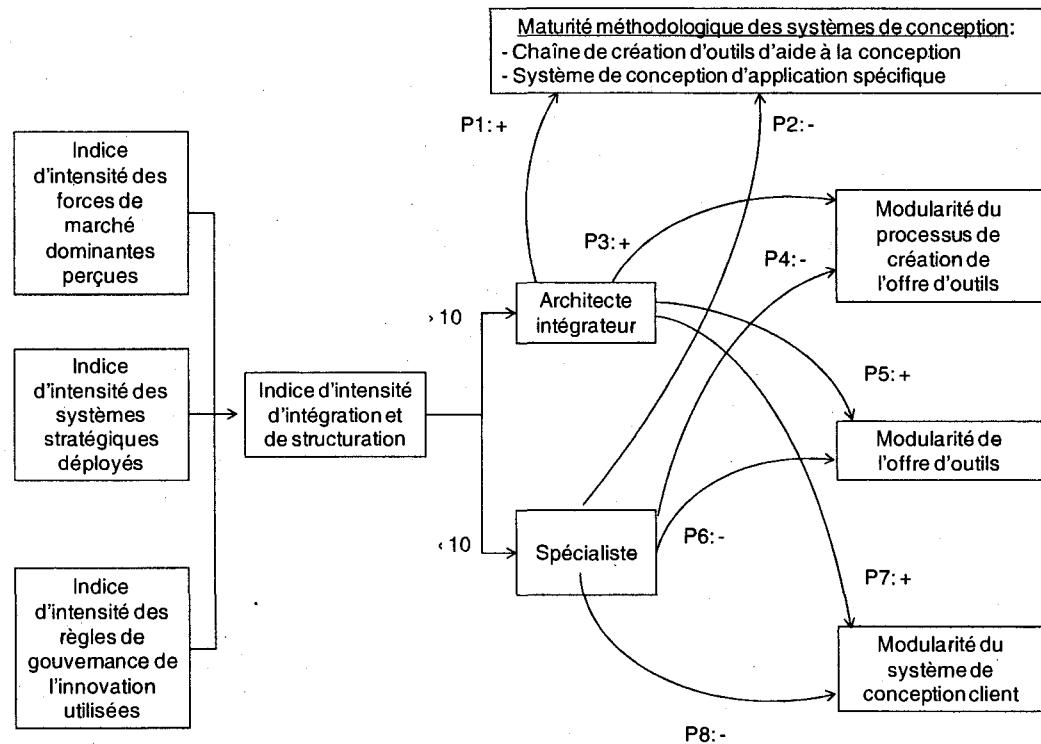


Figure 7.5 : Modèle d'intégration et de structuration dans les systèmes de conception

Degré de maturité méthodologique des systèmes de conception

À la section 7.1.3.1, nous avons énoncé que la maturité méthodologique constitue la propriété émergente du travail d'intégration et de structuration des développeurs d'outils sur les systèmes de conception. Nous avons également énoncé que c'est une maturité méthodologique élevée qui permet la réalisation de transactions dans un système de conception. En s'appuyant sur la définition de la science de la conception (Hubka et Eder, 1987), nous suggérons que c'est une maturité méthodologique élevée qui entraîne l'interopérabilité des outils et des systèmes logiciels, la maturité de la conception, la division du travail et enfin, permet l'organisation modulaire des tâches dans un domaine d'applications.

Dans les diverses chaînes de création d'outils discutées au chapitre 5, nos résultats montrent que les firmes se différencient sur le plan des indices d'intensité d'intégration et de structuration. En soi, nous suggérons que cet indice caractérise la réponse des développeurs aux besoins de stabilisation des trois niveaux des architectures de l'application client et de l'offre d'outils. Les spécialistes priorisent l'approfondissement de la formalisation scientifique, technologique et méthodologique pour résoudre des problèmes associés au niveau « composants fonctionnels et interfaces » de l'architecture de l'application client. En plus d'avoir une portée limitée sur la stabilisation de l'architecture de l'application client et la structuration du système de conception correspondant, ils ont aussi des contributions moins significatives sur le plan de la maturité méthodologique dans la chaîne de création d'outils. La portée de leurs actions de formalisation pour éléver la maturité méthodologique est moins systémique et structurante que celle des architectes intégrateurs. Ces derniers ont des actions qui contribuent davantage à rehausser et stabiliser la maturité méthodologique des deux systèmes de conception inter reliés. La maturité méthodologique est élevée par les architectes intégrateurs à un niveau systémique grâce à la mise en place de stratégies compétitives et collaboratives, au profit d'une création et d'une capture partagée de la valeur, celle-ci découlant de systèmes de conception plus matures et plus stables. Compte tenu de ce qui précède, nous formulons les propositions suivantes :

P1 : La maturité méthodologique des systèmes de conception est reliée positivement aux actions d'intégration et de structuration des architectes intégrateurs.

P2 : La maturité méthodologique des systèmes de conception est reliée négativement aux actions d'intégration et de structuration des spécialistes.

Degré de modularité du processus de création de l'offre d'outils

Tel que mentionné, les logiciels du spécialiste s'appuient généralement sur les caractéristiques exceptionnelles de composants clés. Le spécialiste maîtrise donc des connaissances très avancées au plan scientifique ce qui en soi le différencie de la concurrence. De ce fait, nous pouvons suggérer que peu d'individus maîtrisent ces connaissances spécialisées reflétant une spécificité synergistique élevée (Schilling, 2002). La firme dans ce rôle est par conséquent généralement contrainte d'innover sur son offre en comptant sur un nombre plus limité de ressources (internes et externes), celles-ci étant hautement spécialisées. Aussi, ce qui le distingue de l'architecte intégrateur est un plus faible degré de modularité du processus de création de son offre logicielle, soit le degré avec lequel il utilise un écosystème de partenaires pour concevoir son offre.

À l'opposé, en invitant et supportant une communauté de partenaires à développer des composants spécifiquement alignés à une architecture d'offre, l'architecte intégrateur profite de l'innovation externe et structure une chaîne de création d'outils. En contrôlant à la fois l'architecture de son offre d'outils logiciels, les processus et les connaissances qui la supportent, l'architecte intégrateur optimise sa proposition d'affaires. Avec des systèmes stratégiques orientés sur la structuration de l'écosystème client, la proposition de plates-formes technologiques et l'inter opérabilité, la création de réseaux de conception, l'architecte intégrateur développe une offre logicielle que ses seules ressources ne lui permettraient pas de développer si rapidement et si économiquement. Ils perçoivent également plus fortement que les spécialistes l'importance de l'interdépendance des firmes, du système de conception et du paradigme d'innovation.

Garud et Kumaraswamy (1995) et Sanchez (1995, 1999) ont souligné que la modularité permettait la mise en place de processus d'affaires simultanés et distribués. Selon Meyer et Seliger (1998), les architectures de plate-forme pour les logiciels constituent des modèles d'affaires en soi. Dans cette

optique, les modèles d'affaires sont l'expression de l'intention stratégique des firmes à utiliser la modularité d'une manière qui leur est propre. Même si les architectes intégrateurs comptent sur une grande capacité d'innovation interne et des acquisitions, la structuration et l'exploitation des ressources d'une chaîne de création d'outils est une façon de profiter de l'innovation ouverte. Ceci leur permet de renouveler des solutions plus rapidement et incidemment, d'élargir le champ de spécialisation de leurs offres au profit de leurs clients. Cette approche d'innovation est aujourd'hui utilisée par de nombreux développeurs comme Accelrys qui nous en donne une illustration manifeste :

« Many of our products are based upon open architectures that allow customers, collaborators and third parties to develop software applications in the same development environment we use internally. Core modeling functions are included in this open environment, which permits developers to focus on their particular scientific interests and increase the power and utility of their programs by integrating them with our products. » Bill Taylor, Vice President Marketing, Accelrys

Les développeurs qui déploient des efforts d'innovation exploitant une approche modulaire pour organiser leur processus de création d'offre d'outils, sont susceptibles d'élargir leurs options de concurrence et migrer vers un rôle d'architecte intégrateur. Aussi, les développeurs qui procèdent de façon active et continue à des acquisitions de technologies et de concurrents développent et consolident avec le temps un rôle d'architecte intégrateur.

Néanmoins, l'évolution d'une chaîne de création d'outils basée sur une modularité accrue du processus de création de l'offre n'en résulte pas à une situation où seuls les architectes intégrateurs sont gagnants. Les études de cas réalisées démontrent que les architectes intégrateurs ont besoin des

spécialistes tout autant que ces derniers ont besoin des premiers. Le degré de modularité de leurs processus respectifs de création d'offres d'outils est cependant différent. Par leurs actions collaboratives et compétitives, les firmes répondent chacune à leur façon, à la logique d'innovation correspondante à l'environnement concurrentiel à l'étude. Compte tenu de ce qui précède, nous sommes en mesure d'élaborer les propositions suivantes :

P3 : La modularité du processus de création de l'offre d'outils est relié positivement aux actions d'intégration et de structuration des architectes intégrateurs.

P4 : La modularité du processus de création de l'offre d'outils est relié négativement aux actions d'intégration et de structuration des spécialistes.

Degré de modularité de l'offre d'outils

À une extrémité du spectre, nous observons des spécialistes de tailles modestes avec une offre s'appuyant sur un seul logiciel. Ce dernier incorpore typiquement une technologie clé autour de laquelle le développeur a ajouté une interface conviviale, d'autres fonctionnalités accessoires, etc. pour en faire un produit relativement monolithique. D'autres spécialistes ont une offre se limitant à quelques outils plus ou moins intégrés au sein d'une suite dont la modularité demeure limitée. Dans ces cas, la mise en marché des divers outils qui compose l'offre est le résultat de plusieurs cycles de développement et parfois de philosophies différentes de programmation pouvant ainsi induire des limitations sur le plan de la modularité. Par ailleurs, d'autres spécialistes développent des offres plus modulaires c'est-à-dire qu'ils peuvent assembler plus facilement à l'intérieur de celles-ci, des solutions disponibles dans l'écosystème.

De façon générale, les firmes aux caractéristiques ci-devant mentionnées se distinguent des architectes intégrateurs. L'intention des architectes intégrateurs est de proposer des offres de solutions spécifiques et structurantes répondant aux besoins évolutifs de clients exigeants possédant des systèmes de conception complexes et globalisés. Dans cette optique, les architectes intégrateurs misent sur un plus haut degré de modularité de leurs offres d'outils, leur permettant de configurer des solutions selon les besoins spécifiques des clients tout en intégrant et structurant des ressources de l'écosystème.

Malgré des contraintes liées à l'intégration et à la « fermeture », les architectes intégrateurs développent néanmoins des offres plus globales et avec un meilleur potentiel d'évolution que les spécialistes sur le plan de la modularité et de l'inter opérabilité. Les architectes intégrateurs sont en mesure non seulement d'identifier sur le marché les meilleurs composants susceptibles de répondre aux besoins spécifiques du client, mais aussi d'encourager le développement de composants (Ghosh et al. 2006). Devant le développement accéléré d'options technologiques, ces firmes deviennent des partenaires privilégiées des clients, lesquels souhaitent alors limiter leurs risques en adhérant à des solutions intégrées et fédératrices. De façon générale, des architectes intégrateurs comme Dassault, Cadence, Telelogic et Accelrys possèdent de telles ressources mobilisatrices des connaissances du client et proposent des offres de solutions intégrées et fédératrices. Nous suggérons qu'une partie significative des investissements élevés en R&D et en développement des capacités d'innovation de ces firmes est destinée à développer ces importantes ressources mobilisatrices. Les architectes intégrateurs gouvernent l'innovation en réalisant ces intégration et structuration multi niveaux des actifs complémentaires des partenaires de développement (Teece, 1978) et des ressources relationnelles (Dierickx et Cool, 1989). L'innovation ainsi gouvernée, les spécialistes de l'écosystème

peuvent à leur façon utiliser les règles de gouvernance de l'innovation pour déployer leurs stratégies et positionner leurs offres.

Les technologies au cœur des offres des architectes intégrateurs représentent des illustrations des technologies systémiques telles que définies par Winter (1987) et considérées par Garud et Kumaraswamy (1995), soit des technologies imbriquées dans des offres multi composants qui se connectent les uns aux autres. Que le développeur procède par acquisition, développement interne ou collaboratif s'appuyant sur la modularité, le but demeure le même dans l'élaboration de l'offre d'outils, soit augmenter la maturité méthodologique et le niveau d'intégration et de structuration des ressources dans les systèmes de conception. Ces considérations nous conduisent à formuler les propositions suivantes :

P5 : La modularité de l'offre d'outils est reliée positivement aux actions d'intégration et de structuration des architectes intégrateurs.

P6 : La modularité de l'offre d'outils est reliée négativement aux actions d'intégration et de structuration des spécialistes.

Degré de modularité du système de conception client

Des spécialistes comme ESI et Atomistix se concentrent principalement sur le niveau « composants fonctionnels et interfaces » dans l'architecture du produit du client tel que défini par Sanchez (1999). Ils offrent principalement des logiciels avec des capacités ciblées sur des tâches de conception des composants, sous-composants et interfaces associées. Ce qui caractérise ces firmes est qu'elles n'intègrent dans leurs offres logicielles pas ou peu d'éléments concernant les trois (3) niveaux d'architecture du produit du client, tel que montré à la figure 5.4. Par exemple, de nombreux outils d'analyse sont commercialisés par des spécialistes pour uniquement

optimiser un aspect de la conception de composants, soit la structure, l'écoulement, la résistance, etc. Les niveaux « Activités, processus et règles d'interaction » et « Interactions des connaissances de l'organisation et l'écosystème » sont peu adressés dans leurs offres aux clients. Par conséquent, de telles offres n'ont pas d'effet intégrateur et structurant et ne contribuent pas, à structurer le système de conception du client. Elles concurrencent comme concepteur de modules s'alignant sur une ou plusieurs architectures dominantes et leurs systèmes stratégiques priorisent l'excellence dans la *virtualité de l'expérience scientifique dans l'immersion*. Pour des clients exigeants comme Nissan et BMW, l'excellence dans la virtualité est importante et valorisée (Thomke, 2006) et c'est la raison pour laquelle les spécialistes utilisent principalement sur cette règle de gouvernance de l'innovation. Par ailleurs, les modèles d'affaires de certains d'entre eux répondent spécifiquement aux exigences liées à l'architecture des processus (Agile et ARTVPS) ou des connaissances (Elsevier). Ces développeurs priorisent davantage les règles de gouvernance de l'innovation *formalisation et numérisation des processus et accessibilité de l'information technique*.

Du reste, Sanchez et Mahoney (1996) suggèrent que le modèle de conception des produits qu'adopte la firme constraint le modèle organisationnel de la firme. Henderson et Clark (1990) suggèrent de plus que les organisations qui créent des produits tendent à développer des structures de savoirs technologiques qui reflètent la décomposition des composants fonctionnels dans leurs architectures de produits. Ils suggèrent en outre que les firmes qui approfondissent leurs capacités techniques dans des composants ou modules tendent à développer des limites cognitives qui les rendent moins aptes à détecter et répondre aux innovations radicales apportées sur d'autres aspects. De telles firmes possèdent donc une spécificité synergistique élevée (Schilling, 2002) leur assurant la réalisation de réaliser des transactions particulières (Williamson, 1985) dans un réseau de tâches spécialisées et modulaires (Baldwin, 2008). C'est ce qui arrive à

de nombreux spécialistes dont les modèles d'affaires les entraînent à devenir de plus en plus spécialisés dans des créneaux spécifiques. De cette façon, ils sont petit à petit engagés dans une voie où ils ne peuvent plus gouverner les avancées et enjeux relatifs aux autres leviers de création de valeur. La valeur pour le spécialiste réside donc à maîtriser les spécificités et « l'information cachée » des modules (Baldwin et Clark, 1997). Comme la majorité des améliorations sur les produits sont le résultat d'innovations incrémentales sur des composants compatibles avec une architecture dominante (Abernathy et Clark, 1985), les spécialistes développent de ce fait des modèles d'affaires qui les contraignent à l'alignement sur des plates-formes des architectes intégrateurs, ces dernières ayant un impact plus systémique.

À l'opposé, les architectes intégrateurs, comme leur nom l'indique, intègrent dans leurs solutions des tâches et dimensions relatives aux trois (3) niveaux d'architecture de l'application à concevoir dans le système de conception du client. Leurs offres d'outils permettent aux clients d'intégrer et structurer des données, des connaissances, des équipes, des processus, des outils tiers, des partenaires de l'écosystème, etc. De telles offres couvrent donc l'ensemble des enjeux du système de conception du client. Alors que les architectes intégrateurs contribuent davantage à structurer l'écosystème d'innovation et s'assurer une place privilégiée dans le réseau de transactions, les spécialistes tendent plutôt à approfondir la formalisation de classes de problèmes spécifiques à résoudre au sein de celui-ci. Il va de soi que les architectes intégrateurs contribuent également à résoudre des problèmes spécifiques. Toutefois, leur contribution est cruciale envers l'intégration et la structuration sur le plan systémique, car autrement, la maturité méthodologique du système de conception client en souffrirait. Ainsi, les firmes intégrant dans leurs offres des capacités de gérer les trois (3) niveaux d'architecture des produits des clients ciblés, ont une meilleure position pour créer de la valeur pour ces derniers par l'intégration et la

structuration des ressources dans le système de conception. C'est dans ce sens que l'architecture de l'offre rencontre l'architecture de l'application client. Au niveau systémique, les divers outils et intervenants constituent des « modules » et leur intégration et structuration entraînent une modularité des efforts et des ressources. Élevées au niveau systémique, la modularité et l'inter opérabilité contribuent à la structuration du système de conception.

Globalement, l'analyse des données révèlent que les actions des architectes intégrateurs sont basées sur une utilisation maximale des systèmes stratégiques et des règles de gouvernance de l'innovation définis. L'impact de ces actions sur l'intégration et la structuration des ressources dans le système de conception du client, permet à ce dernier d'innover dans son réseau de valeur et de transactions. De plus, en tenant compte de l'intégration du système de conception du client dans ses modèles d'affaires et en proposant, par le biais d'une offre systémique et plus modulaire de solutions et de services, les architectes intégrateurs accompagnent le client dans la transformation et la division du travail. Les ressources importantes (offre d'outils, expertises, expériences, réseaux, capitaux, etc.) à la disposition d'architectes intégrateurs comme Telelogic et Cadence, contribuent ainsi significativement à l'évolution des systèmes de conception client vers plus de maturité et de modularité. En somme, plus le développeur intègre dans son offre des capacités pour répondre globalement à l'architecture de l'application à concevoir, plus il contribue à modulariser le système de conception de produit de celui-ci. Ainsi, le champ de spécialisation de l'architecte intégrateur s'élargit à l'ensemble du système de conception client, ce qui est consistant avec Sturgeon (2002) à propos de l'élargissement des capacités de fournisseurs stratégiques. Une telle offre systémique permet au client de capitaliser sur une modularité accrue de son réseau, profiter d'une innovation plus ouverte et faire évoluer son système industriel dans l'ensemble. Ces considérations nous suggèrent les propositions suivantes :

P7 : La modularité du système de conception client est reliée positivement aux actions d'intégration et de structuration des architectes intégrateurs.

P8 : La modularité du système de conception client est reliée négativement aux actions d'intégration et de structuration des spécialistes.

Selon nos résultats, il appert que les offres des architectes intégrateurs comme Dassault, Accelrys et Telelogic contribuent à la modularité de l'espace d'innovation du client. Toutefois, cet élan vers la modularité est contrebalancé par une force d'intégration intrinsèque à l'exercice de la conception, laquelle influence les actions de tous les développeurs d'outils. Par conséquent, l'équilibre doit être gouverné au profit du développeur mais surtout, du client et des partenaires de son écosystème. Par les actions structurantes des architectes intégrateurs, la science et l'ingénierie sont structurées et l'innovation modulaire est stimulée dans un cadre donnant une stabilité et une direction d'évolution aux réseaux de tâches et de transactions. En somme, en acquérant des technologies et des concurrents et en gouvernant une innovation exploitant la modularité, les architectes intégrateurs contribuent à une exploitation optimale des ressources de l'écosystème d'innovation. Ils mettent en œuvre des modèles d'affaires pour répondre aux forces de marché dominantes auxquels ils font face, individuellement et collectivement. Ces modèles d'affaires reflètent leurs rôles ainsi que leurs engagements envers l'orchestration d'une chaîne de création d'outils et une structuration de l'innovation au bénéfice d'un écosystème client.

7.2 Implications managériales

Les résultats obtenus dans la présente thèse ont des implications managériales importantes. Pour les gestionnaires des firmes développant des outils, ils offrent un guide pour mieux prédire l'impact de leurs décisions concernant l'évolution de leur offre de logiciels d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Ce guide les incitent à bien saisir qu'il n'est pas suffisant d'exceller dans la maîtrise d'un aspect scientifique spécifique à la conception d'une application industrielle. Il est impératif pour eux de positionner leur offre selon des règles de gouvernance de l'innovation bien définies et considérer leurs rôles et contributions dans un réseau de tâches et de transactions supportant un processus globalisé et collectif de création et de capture de valeur. Face à l'intensité de la production scientifique et technique ainsi que des forces techniques en jeu, les gestionnaires doivent prendre des décisions permettant à la firme d'assurer la gouvernance du développement de ses produits, en mettant en œuvre des initiatives d'intégration à plusieurs niveaux. Les gestionnaires doivent considérer que l'exploitation, l'intégration et la structuration des ressources au sein d'une chaîne de création d'outils et du système de conception d'applications client qu'ils visent, sont des éléments qui méritent une haute considération de leur part.

Les dirigeants doivent mettre en place au sein de leurs firmes des mécanismes contribuant au développement des connaissances et savoirs-faires spécifiques aux domaines d'applications industrielles dont leurs outils se destinent à soutenir l'ingénierie. La firme doit de plus maîtriser parfaitement les outils et techniques avancées d'ingénierie logicielle pour exploiter au maximum les ressources disponibles dans les réseaux de développeurs externes et l'écosystème client. En outre, la spécialisation, la diversité et le rythme de production des connaissances produites, nécessitent de la part de la firme qu'elle renouvelle continuellement sa base concurrentielle en déployant des systèmes stratégiques résolument orientées

sur les règles de gouvernance de l'innovation discutées. Nous croyons que la compréhension des interactions entre les forces de marché dominantes à percevoir, les systèmes stratégiques à déployés et les règles de gouvernance de l'innovation à utiliser, sont des éléments qui doivent être absolument maîtrisés par les gestionnaires. S'ils souhaitent maximiser le positionnement de leurs firmes dans les réseaux de conception des divers systèmes industriels, ils doivent comprendre comment leurs modèles d'affaires contribuent à l'évolution de ces réseaux de conception tâches et de transactions.

De plus, au-delà des fonctions et besoins spécifiques auxquels les outils répondent, ils s'intègrent dans des environnements d'entreprise qui contiennent de nombreuses autres applications logicielles. On estime au sein d'une entreprise manufacturière de la taille de celles composant le Fortune 500 et qui constituent des clients typiques des développeurs, à plus de 500 applications logicielles dites d'entreprise. Les particularités de l'infrastructure logicielle soutenant le système de conception d'un fabricant opérant à l'échelle mondiale, doit lui permettre d'explorer, créer, modéliser et simuler la performance d'un produit en développement. Avec des telles capacités, une organisation industrielle dotée de centres d'opération globalisés peut modéliser l'impact global d'un port folio de produits sur la performance générale de l'entreprise. Par conséquent, l'arrimage de cette infrastructure avec les autres systèmes de l'organisation est essentiel et doit se faire à l'aide d'une vision systémique de l'ensemble des systèmes d'information de l'organisation. Cette vision réfère aux infrastructures technologiques, aux systèmes d'information, aux processus, stratégies et objectifs d'affaires, et finalement, au modèle d'entreprise (Zachman, 1987).

Par conséquent, les outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et au développement représentent une des pièces technologiques de la base essentielle pour l'organisation en ce qui a trait à sa capacité

d'innover. Les gestionnaires au sein des firmes développant des outils logiciels doivent intégrer ces considérations l'évolution de leurs offres.

La figure 7.6 montre le rôle des outils et systèmes logiciels d'aide à la conception au sein d'un tel modèle d'entreprise industrielle s'appuyant sur des capacités de modélisation et de simulation destinée à l'ingénierie d'entreprise et à l'innovation.

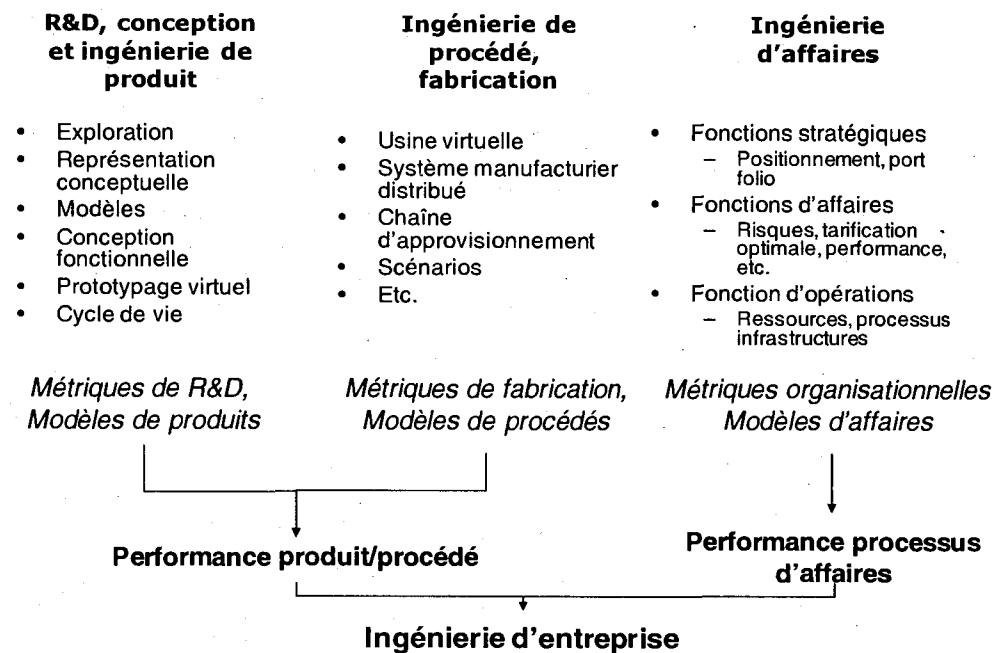


Figure 7.6 : Architecture de modélisation et de simulation destinée à l'ingénierie d'entreprise et à l'innovation d'une organisation industrielle globalisée

Dans ce contexte, les développeurs d'outils doivent non seulement offrir des solutions répondant aux clients, mais aussi, bâtir des cas d'affaires solides démontrant leur contribution dans cette architecture destinée à soutenir la division du travail, l'ingénierie d'entreprise et l'innovation d'une organisation industrielle globalisée.

CHAPITRE 8

CONCLUSION

Les développeurs d'outils aident d'autres firmes à être plus productives dans leur développement de produits. Ils développent des outils et systèmes logiciels intégrant des capacités avancées en matière de conception, d'ingénierie et de recherche et développement. La question de recherche formulée en introduction à cette thèse, vise à expliquer pourquoi les développeurs de tels outils montrent un profil d'innovation si distinctement caractérisé par une interdépendance élevée avec d'autres firmes, la présence d'interrelations fortes avec des clients experts, et l'importance d'initiatives stratégiques visant la supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la dimension d'architecture de produit.

Une revue de la littérature pertinente au problème de recherche révèle des limitations quant à l'étude des relations entre des dimensions associées aux domaines de la science de la conception, de la gestion de l'innovation et de la gestion stratégique des firmes. En dépit du rôle reconnu des outils logiciels d'aide à la conception dans la reconfiguration des systèmes industriels de production vers une plus grande modularité, les travaux précédents n'ont toutefois peu ou pas couvert le rôle des outils sur les systèmes de conception en tant que tel et incidemment, sur la logique d'innovation des développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement. Notre contribution permet de répondre au paradoxe où les travaux existants nous conduisent à savoir comment des solutions informatiques sophistiquées évoluant vers davantage d'intégration peuvent soutenir la modularité dans les systèmes de production, et quelles sont les contributions réelles des outils à l'échelle du système de conception à proprement parler.

La réalisation d'études de cas au sein de trente-cinq (35) firmes canadiennes, américaines et européennes se révèle d'une grande richesse sur le plan conceptuel. La diversité de l'échantillon et la profondeur des études de cas réalisées nous procurent une granularité élevée sur le plan des données et l'analyse de celles-ci en regard de perspectives théoriques discutées dans la présente thèse, nous conduisent à une théorisation solide.

La présente thèse permet de décrire et d'expliquer pourquoi et comment, lorsque les développeurs d'outils effectuent les tâches de conception, ils incorporent à la fois des forces d'intégration et de modularité. Nous réexaminons les travaux antérieurs en suggérant qu'il ne s'agit pas tant d'opposer intégration et modularité comme modèle d'évolution industrielle mais plutôt reconnaître qu'il s'agit de deux facettes d'une même réalité sur le plan de la conception d'artefacts. Nous expliquons qu'un développeur d'outils répond aux besoins d'un système de conception client avec la logique suivante : plus ses connaissances et technologies deviennent spécifiques à un système de conception dans un domaine d'applications, plus il a de la valeur pour une transaction particulière au sein de celui-ci. Nous soulignons en outre que la spécificité et la force d'intégration inhérentes à l'activité de conception contribuent à augmenter les pressions d'acquisitions et de « fermeture » des systèmes logiciels entraînant ainsi, une réduction de l'inter opérabilité de ces derniers voire même parfois, de la modularité elle-même.

Nos résultats montrent que ce qui caractérise l'application de la science de la conception est non seulement la présence d'une force d'intégration mais aussi, l'utilisation de la modularité comme méthodologie de conception et stratégie d'organisation de l'innovation dans les systèmes de conception. En effet, les obligations d'interdépendances des firmes renforcent la nécessité d'utiliser une approche modulaire comme moyen stratégique d'innover et d'orchestrer les ressources requises. Par conséquent, il appert que force de

modularité contrebalance continuellement la force d'intégration inhérente à l'exercice de la conception et vice versa. Cette dualité pose des dilemmes aux développeurs quant aux moyens à mettre en œuvre pour répondre à des besoins spécifiques et évolutifs de clients dans des domaines précis d'applications industrielles (organiser l'innovation, créer et soutenir des réseaux de conception, assurer l'inter opérabilité des systèmes, renouveler leurs offres, etc.). Notre analyse montre que l'obtention et l'exploitation par les firmes des ressources de l'écosystème se font au moyen des deux forces : i) l'intégration au moyen d'acquisitions de ressources concurrentes (firmes et technologies) et ii) l'adoption d'une approche modulaire pour intégrer et structurer des ressources, en s'appuyant sur l'inter opérabilité des composants, outils et systèmes.

Une des contributions principales de cette thèse est qu'il est impératif pour les promoteurs d'outils de maîtriser les connaissances spécifiques aux systèmes de conception d'application des clients desservis, ainsi que la logique inhérente à une chaîne de création d'outils d'aide à la conception associé au domaine d'applications. La spécificité rend les développeurs et leurs outils spécifiques au système dont ils visent à soutenir la conception et non pas à tous. L'analyse de l'environnement à l'étude et les entrevues réalisées nous révèlent que la forte spécificité des domaines d'applications industrielles crée ainsi des sous-ensembles de firmes associées.

La présente thèse contribue à la littérature sur l'évolution des systèmes industriels. Elle approfondit la réflexion théorique sur le rôle des outils à l'égard de l'augmentation de la division du travail et de la modularité. Sans contredit, pour qu'il y ait division et répartition dans les systèmes industriels, il faut tout d'abord qu'il y ait compréhension du travail à faire. Cette compréhension passe par une formalisation rigoureuse des problèmes scientifiques à résoudre ainsi que des méthodes, pratiques et processus à mettre en œuvre pour soutenir d'abord la conception et ensuite la fabrication

d'un produit. De plus, ce qui peut être transféré facilement et sans ambiguïté dans un processus de conception est ce qui est bien formalisé, codifié, établi et standardisé. Engagés dans un exercice fondamental de formalisation scientifique, technologique et méthodologique, la maturité méthodologique constitue la propriété émergente du travail d'intégration et de structuration des développeurs d'outils logiciels d'aide à la conception. L'intégration dans des outils logiciels d'aide à la conception de connaissances, spécifications, règles et normes formalisées et établies engendre une stabilité et une maturité sur le plan de la conception et de l'ingénierie.

L'utilisation des outils engendre donc des transformations au sein des organisations industrielles et en même temps assure au sein de celles-ci, la conservation des connaissances accumulées et la stabilité des savoir-faire. Les outils stimulent l'innovation laquelle rehaussent constamment les exigences des systèmes industriels, ce qui incidemment encourage par la suite la création d'outils encore plus sophistiqués.

Des études de cas réalisées sur des développeurs desservant divers domaines d'applications, nous démontrent que ce n'est pas les outils en tant que tel qui contribuent à la modularité du système de conception mais bien le degré de maturité de la formalisation de la science et des méthodes intégrées dans les outils ainsi que des règles d'échanges d'informations techniques numérisées dans l'écosystème spécifique. Des cas révèlent que les développeurs desservant des domaines émergents (MEMS, nanotechnologie) ont d'abord comme mission de contribuer à la formalisation scientifique, méthodologique et technologique pour établir la maturité d'un système de conception d'artefact. À l'opposé, les développeurs soutenant des domaines industriels plus matures (automobile, aérospatial) ont le défi de soutenir des systèmes de conception globalisés et intégrés dans des réseaux de production modulaires où le travail est fortement divisé et spécialisé.

Nos suggérons que c'est une maturité méthodologique élevée qui permet la réalisation de transactions dans un système de conception et engendre la division du travail. Ainsi, la division du travail et la modularité d'un système industriel découlent de la maturité méthodologique établie en premier lieu dans l'espace de conception et en second lieu, dans le système de production associé. Les résultats de notre recherche nous montrent que les développeurs d'outils sont des intervenants de premier plan dans l'évolution de la maturité méthodologique qui soutient la division du travail et la modularité des systèmes de conception.

Nous contribuons à la littérature sur la modularité en montrant aussi que l'exploitation des principes d'architectures de produit, de processus et de connaissances, offre aux développeurs un levier stratégique pour :

- i) organiser et architecturer une chaîne de création d'outils dans de le but de concevoir une offre et;
- ii) structurer le système de conception d'application du client.

Nous suggérons que les indices d'intensité d'intégration et de structuration calculés représentent l'expression des forces d'intégration et de modularité agissant sur les firmes, pour qu'elles répondent au besoin d'élever la maturité méthodologique nécessaire pour stabiliser les architectures des deux (2) systèmes de conception inter reliés. De plus, ces indices nous permettent de distinguer les développeurs entre eux et différencier leurs rôles respectifs dans une dynamique de co évolution.

En outre, les résultats de cette thèse nous conduisent à contribuer à la perspective théorique des joutes d'innovation en montrant pourquoi les développeurs de tels outils montrent un profil d'innovation si distinctement caractérisé par une interdépendance élevée avec d'autres firmes, la présence d'interrelations fortes avec des clients experts, et l'importance

d'initiatives stratégiques axées sur une supériorité technologique s'appuyant sur une maîtrise de l'ingénierie et la dimension d'architecture de produit. Les études de cas réalisées nous montrent que les stratégies et pratiques des firmes à l'étude, tiennent compte d'activités de création et de capture de valeur et de mécanismes de gouvernance intra et inter organisationnels privilégiées et persistants dans leur environnement concurrentiel, ce qui est consistant avec Miller et Floricel (2007), Miller et Olleros (2007) et Miller et a. (2008).

Enfin, le cadre conceptuel émergent des trente-cinq (35) études de cas réalisées nous mène à établir un modèle de logique d'innovation des développeurs d'outils. Le modèle proposé, soutenant (8) propositions, illustre les contributions respectives des développeurs d'outils en fonction des modèles d'affaires déployés et des rôles adoptés. La typologie et le modèle développés suggèrent que la maturité méthodologique des systèmes de conception, la modularité du processus de création, la modularité de l'offre et la modularité du système de conception client sont reliés positivement aux actions d'intégration et de structuration de l'offre d'affaires des architectes intégrateurs alors qu'ils sont reliés négativement aux actions des spécialistes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABERNATHY, W. J. et UTTERBACK, J. M. (1978). Patterns of Industrial Innovation. *Technology Review*, 80, 40-47.
- ABERNATHY, W. J. et CLARK, K. B. (1985). Innovation: Mapping the Winds of Creative Destruction. *Research Policy*, 14, 2-22.
- ABRAHAMSON, E. (1991). Managerial Fads and Fashions: The diffusion and rejection of innovations. *Academy of Management Review*, 16, 586-612.
- ACCELRYS ANNUAL REPORT (2005). *Form 10-K*, U.S. Securities and Exchange Commission, Washington D.C., 79p.
- AFUAH, A. N. et UTTERBACK, J. M. (1997). Responding to Structural Industry Changes. *Industrial and Corporate Change*, 6 (1), 183-202.
- AGILE SOFTWARE CORPORATION ANNUAL REPORT (2005). *Form 10-K*, U.S. Securities and Exchange Commission, Washington D.C., 86p.
- ALEXANDER, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.
- ANDO, H., KUBOTA, A. et KIRIYAMA, T. (1998). Study on the collaborative design process over the Internet: a case study on VRML 2.0 specification design. *Design Studies*, 19, 289-308.
- ANDREASEN, M.M. (1991). Design Methodology. *Journal of Engineering Design*, 2 (4), 321-335.

ARCHER, B. (1999). Design, innovation, agility. *Design Studies*, 20, 565-571.

AUTODESK ANNUAL REPORT (2005). *Form 10-K*, U.S. Securities and Exchange Commission, Washington, D.C., 72 p.

BALDWIN, C. Y. et CLARK, K. B. (1997). Managing in an Age of Modularity. *Harvard Business Review*, 75 (5), 84-93.

BALDWIN, C.Y. (2008). Where do transactions come from? Modularity, transactions and the boundaries of firms. *Industrial and Corporate Change*, 17, 1, 155-195.

BARNEY, J. B. et HOSKISSON, R. E. (1990). Strategic Groups: Untested Assertions & Research Proposal. *Managerial & Decision Economics*, 11, 187-98.

BARNEY, J. B. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.

BAUM, J. A. C., CALABRESE, T. et SILVERMAN, B. S. (2000). Don't Go it alone: Alliance Networks and Start-up Performance in Canadian Biotechnology. *Strategic Management Journal*, 21, 267-94.

BAUMOL, W. (2002). *The Free market Innovation Machine: Analysing the Growth Miracle of Capitalism*. Princeton University Press, 316p.

BEST, M.H. (1990). *The new competition, Institutions of industrial restructuring*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 296pp.

BEST, M.H. (2001). *The new competitive advantage, the renewal of American Industry*. N.Y.: Oxford University Press, 286p.

BRANDERBURGER, A. et NALEBUFF, G. (1998). *Co-opetition*. Boston: Harvard Business School Press.

BROWN, S. L. et EISENHARDT, K. M. (1997). The Art of Continuous Change: Linking Complexity Theory and Time-paced Evolution in Relentlessly Shifting Organization. *Administrative Science Quarterly*, 42, 1-34.

BRUSONI, S. et PRENCIPE, A. 2001. Unpacking the Black Box of Modularity: technologies, products, organizations. *Industrial and Corporate Change*, 10, 179-205.

BRUSONI, S., PRENCIPE, A. et PAVITT, K. (2001). Knowledge Specialisation and the Boundaries of the Firm: Why do firms know more than they make. *Administrative Science Quarterly*, 46, 597-621.

BURNS, T. et STALKER, G.M. (1961). *The Management of Innovation*. Tavistock, 287p.

CADENCE ANNUAL REPORT (2005). *Form 10-K*, U.S. Securities and Exchange Commission, Washington, D.C., 122p.

CAMERER, C.F. (1985). Redirecting research in business policy and strategy. *Strategic Management Journal*, 6, 1-15.

CAMERER, C.F. (1991). Does strategy research need game theory? *Strategic Management Journal*, (Special Issue), 12, 137-52.

- CARTER, D.E., STILWELL BAKER, B. (1992). *Concurrent Engineering, The Product Development Environment for the 1990s.* Addison-Wesley Publishing Company. 175p.
- CHANDLER, A. (1977). *The Visible Hand: the Managerial Revolution in American Business.* Cambridge, Mass.: Bellknap/Harvard University Press.
- CHEMICAL INDUSTRY VISION 2020 - TECHNOLOGY PARTNERSHIP (2003). *Chemical Industry Roadmap for Nanomaterial by Design: From fundamentals to function.* Energetics inc., 93p.
- CHESBROUGH, H. et TEECE, D.J. (1996). When is Virtual Virtuous? Organizing for Innovation. *Harvard Business Review*, 74 (1), 65-72.
- CHESBROUGH, H. ET ROSEMBLOOM, R.S. (1998). The Role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 529-555.
- CHESBROUGH, H. (2003a). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology.* Boston, MA: Harvard Business School Press. 227p.
- CHESBROUGH, H. (2003b). The Logic of Open Innovation: Managing Intellectual Property. *California Management Review*, 45 (3), pp 33.
- CHRISTENSEN, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail.* Boston, MA: Harvard Business School Press.

- CHRISTENSEN, C.M. et ROSENBLOOM, R.S. (1995). Explaining the Attacker's Advantage: Technological Paradigms, Organizational Dynamics, and the Value Network. *Research Policy*, 24 (2), 233-57.
- CHRISTENSEN, C.M., SUAREZ, F.F. et UTTERBACK, J.M. (1998). Strategies for Survival in Fast-Changing Industries. *Management Science*, 44 (12), Part 2 of 2, S207-S220.
- CLARK, K.B. (1985). The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution. *Research Policy*, 14 (5), 235-251.
- COASE, R.H. (1937). The Nature of the firm, *Economica*, 4, 386-405.
- COOL, K. et DIERICKX, I. (1993). Rivalry, Strategic Groups and Firm Profitability. *Strategic Management Journal*, 14, 57-59.
- COOPER, R. G. (1994). Third Generation New product Processes. *Journal of Product Innovation Management*, 11, 3-14.
- COOPER, R. G. (1999). *Product Leadership: Creating and Lauching Superior New Products*. Cambridge, Mass.
- COOPER, R. G. (2001). *Winning at New Products*. Cambridge, Mass, Perseus.
- COYNE, R.D. et NEWTON, S. (1990). Design reasoning by association; Environment and Planning B. *Planning and Design*, 17, 39-56.
- CROSS, N. (1981). Design Method and Scientific Method. In: R. Jacques and J. Powell (ed.) *Design, Science, Method*. Guildford, Westbury House.

CROSS, N. (1986). Design Intelligence: the use of codes and language systems in design. *Design Studies*, 5 (1), 31-39.

CROSS, N. (1993). Science and design Methodology: A Review. *Research in Engineering Design*, 5, 63-69.

CUSUMANO, M. et GAWER, A. (2002). The Elements of Platform Leadership. *MIT Sloan Management Review*, (Spring), 43 (3), 51-58.

CYERT, R.M. et MARCH, J.G. (1963). *A behavioural theory of the firm*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, N.J.

DABERKOW, A., et KREUZER, E.J. (1999). An integrated Approach for Computer Aided Design in Multibody System Dynamics. *Engineering with computers*, 15, 155-170.

DARATECH inc. (2005a). Industry update, 17 (2).

DARATECH inc. (2005b). Industry trends. Daratech Summit 2005, Cambridge Mass. p21.

DARATECH inc. (2005c). Industry trends. Daratech Summit 2005, Cambridge, Mass., 26-29.

DASSAULT SYSTÈMES, RAPPORT ANNUEL (2004). *Form 20-F*, U.S Securities Exchange Commission, Washington D.C., 162p.

DAY, M. (2006). The Open format war. *Product Development and Manufacturing Solutions*, (July/August), 34-35.

- D'ADDERIO, L. (2001). Crafting the Virtual Prototype: How Firms Integrate Knowledge and Capabilities across Organisational Boundaries. *Research Policy*, 30 (9), 1409-1424.
- D'AVENI, R. (1994). *Hypercompetition: Managing the Dynamic of Strategic Maneuvering*. New York: Free Press.
- DIERICKX, I., et COOL, K. (1989). Asset stock accumulation and sustainability of competitive advantage. *Management Science*, 35, 1504-1511.
- DIXON, J.R. (1988). On a research methodology towards a scientific theory of design. In: *Design Theory*, S.L., Newsome, W.R. Spillers et S. Finger (éd.). Berlin: Springer-Verlag.
- DOSI, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories. *Research Policy*, 11, 147-162.
- DOSI, G. MALERBA, F., MARSILI, O. et ORSENIGO, L. (1997). Industrial Structure and Dynamics: Evidence, Interpretation and Puzzles. *Industrial and Corporate Change*, 6 (1), 3-24.
- DOSI, G., HOBDAY, M., MARENKO, J. (2000). *Problem solving behaviours, organizational forms and the complexity of tasks*. Working Paper Series, Laboratory of Economics and Management, Sant'Anna school of Advanced Studies. Pise, Italie, 27p.
- DOSI, G., HOBDAY, M., MARENKO, J. et PRENCIPE A., (2002). *The Economics of system integration: toward an evolutionary interpretation*. Working Paper Series, Laboratory of Economics and Management, Sant'Anna school of Advanced Studies. Pise, Italie, 25p.

DUFFY, A.H.B., ANDREASEN, M.M., MACCULLUM, K.J (1993). Design coordination for concurrent engineering. *Journal of Engineering Design*, 4 (4), 251-265.

EDQUIST, C. (1997). *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London: Pinter.

EPPINGER, S.D et CHIKARA, A.R. (2006). The new practice of global product development. *MIT Sloan Management Review*, (Summer), 22-30.

EISENHARDT, K.M. (1989). Making fast decision in high-velocity environment. *Academy of Management Science*, 543-576.

EISENHARDT, K.M. (1999). Strategy as Decision Making. *Sloan Management Review*, 40 (3).

EISENHARDT, K.M., MARTIN, J.A. (2000). Dynamic Capabilities: What Are They? *Strategic Management Journal*, 21, 1105-1121.

EISENHARDT, K.M. (2002). Building Theories from Case Study Research. Dans: Huberman, A.M. et Miles, M.B., *The Qualitative Researcher's Companion*, London: Sage Publications, 5-35.

FAMA, G.F. et JENSEN, M.C. (1983). Separation of ownership and control. *Journal of Law and Economics*, 26, 327-349.

FENG, J.J., KRISNAMOORTHY, S. et SUNDARAM, S. (2005). A multi-scale, integrative model of cellular electrophysiological response incorporating intra/extracellular transport & dynamics. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie. 1, 548-555.

- FINGER, S., KONDA, S. et SUBRAMANIAN, E. (1995). Concurrent design happens at the interfaces. *AI EDAM*, 9 (2), 89-99.
- FIXSON, S.K. (2007). Modularity and Commonality Research: Past Developments and Future Opportunities. *Concurrent engineering: Research and Applications*, 15, 2, 85-105.
- FLORICEL, S. et MILLER, R. (2003a). An investigation of the conditions leading to distinct games of innovation. *Academy of Management Conference*, Seattle.
- FLORICEL, S., et MILLER, R. (2003b). An exploratory comparison of the management on innovation in the New and Old economies. *R&D Management*, 35, 5, 501-525.
- FRIEDMAN, K. (2003). Theory construction in design research: criteria, approaches and methods. *Design Studies*, 24, 507-522.
- FOUNDELLER, C. (2005). PLM Implementation Challenges: Practical Solutions. *Daratech Summit*, Cambridge, USA.
- GARUD, R. et KUMARASWAMY, A. (1993). Changing competitive dynamics in network industries: an exploration of Sun Microsystems' open systems strategy. *Strategic Management Journal*, 16, 93-110.
- GARUD, R. et KUMARASWAMY, A. (1995). Technological and organizational designs for realizing economies of substitution. *Strategic Management Journal*, (Summer Special Issue), 16, 93-109.

- GHOSH, M., DUTTA, S. et STREMERSH, S. (2006). Customizing Complex Products: When Should the Vendor Take Control? *Journal of Marketing Research*, (Nov.), 664-679.
- GILDE, M.J., VAN DEN VLEKKERTT, H., LEEUWIS, H. et PRAK, A. (2005). Modular design approach for microfluidic systems. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie, 1, 684-687.
- GLASER, B.G. (1992). *Basics of Grounded Theory Analysis, Emergence versus Forcing*. Mill Valley, CA: The Sociology Press.
- GLAZER, R. (1991). Marketing in an Information-Intensive Environment: Strategic Implications of Knowledge as an Asset. *Journal of Marketing*, 55, 1-19.
- GLYNN, S. (1985). Science and Perception as Design. *Design Studies*, 6 (3), 122-133.
- GONZALEZ-ZUGASTI, J.P., OTTO, K.N., et BAKER, J.D. (2000). A method for architecting product platforms. *Research in Engineering Design*, 12, 61-72.
- GREGORY, S.A. (1966). *The Design Method*. London: Butterworth.
- HANNAN, M.T. et FREEMAN, J.H. (1977). The population ecology of organizations. *American Journal of Sociology*, 82 (5), 929-964.
- HARTLEY, J.R. (1992). *Concurrent Engineering, Shortening lead times, raising quality and lowering costs*. Cambridge, Mass: Productivity Press. 308p.

HAUSER, J.R., CLAUSING, D. (1988). The House of Quality. *Harvard Business Review*, (may/june), 63-73.

HEIDE, J.B. et WEISS, A.M. (1995). Vendor Consideration and Switching Behavior for Buyers in High-Technology Markets. *Journal of Marketing*, 59, (July), 30-43.

HENDERSON, M. et 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.

HILLIER, E. (1972). Knowledge and design. In W.J. Mitchell (éd.), *Environmental design: Research and Practice*. Los Angeles, CA: University of California Press.

HOBDAY, M. (1998). Product Complexity, Innovation and Industrial Organisation. *Research Policy*, 26, 689-710.

HOSKISSON, R.E. (1987). Multidivisional structure and performance: the contingency of diversification strategy. *Academy of Management Journal*, 30, 625-644.

HOSKISSON, R.E. et HITT, M.A. (1990). Antecedents and performance outcomes of diversification: a review and critique of theoretical perspectives. *Journal of Management*, 16, 461-509.

HUBKA, V. (1982). *Principles of Engineering Design*. Guildford Butterworth.

HUBKA, V., EDER, W.E. (1987). A scientific Approach to Engineering Design. *Design Studies*, 8 (3), 123-137.

IANSTITI M. et WEST J. (1997). Technology Integration: Turning Great Research into Great Products. *Harvard Business Review*, (May-June), 69-79.

INTEGRATED MANUFACTURING TECHNOLOGY INITIATIVE Inc., IMTI, 2000. *Manufacturing Success in the 21st Century; A strategic view*, 72p.

JO, H.H., PARSAEI, H.R. et SULLIVAN, W.G. (1993). Principles of concurrent engineering. In *Concurrent Engineering, Contemporary Issues and Modern Design Tools*. (éd.) Hamid R. Parsaei et William G. Sullivan. Chapitre 1, 3-23. London: Chapman & Hall.

JOHN, G., WEISS, A.M. et DUTTA, S. (1999). Marketing in Technology Intensive Markets: Toward a Conceptual Framework. *Journal of Marketing*, 63, (Special Issue), 78-91.

JURGENS, D.E. (2005). PLM Situation at GM. *Daratech Summit*, Cambridge, USA.

KATZENBACH, A. (2005). Information Technology Strategy, Mercedes Benz Car Group, Daimler Chrysler. *Daratech Summit*, Cambridge, USA.

KAMAN, S.K., KAO, D.J., TROPEL, D., GRAFF, A., MACHAIDZE, G., HODGE, R.S et BURKHARD, P. (2005). Peptide based nanoparticles as a platform for vaccine design. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie, 1, 47-50.

KLEIN, B.H. (1977). *Dynamic Economics*. Cambridge: Harvard University Press.

KOGUT, B. et KULATILAKA, N. (1994). Operating flexibility, global manufacturing, and the option value of a multinational network. *Management Science*, 40 (1), 123-139.

KONDA, S., MONARCH, I. SARGENT, P. SUBRAHMANIAN, E. (1992). Shared memory in design: A unifying theme for research and practice. *Research in Engineering design*, 4,1, 23-42

LA TROBE BATEMAN, J., WILD, D. (2003). Design for manufacturing: use of a spreadsheet model of manufacturability to optimize product design and development. *Research in Engineering Design*, 14, 107-117.

LANGLEY, A. (1999). Strategies for theorizing from process data. *Academy of Management Review*, 24 (4), 691-710.

LANGLOIS, R. et ROBERTSON, B. (1992). Networks and innovation in a modular system: lessons from the microcomputer and stereo component industries. *Research Policy*, 21, 297-313.

LEE, Y., PARK, Y., NIU, F. et FILPOVIC, D.S. (2005). Computer aided design and optimization of integrated circuits with RF MEMS devices by an ANN based macro-modelling approach. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie, 3, 565-568.

LEONARD-BARTON, D. (1990). A dual methodology for case studies: Synergistic use of a longitudinal site with replicated multiple sites. *Organization Science*, 1 (3), 248-266.

LEVY, R. (1985). Science, Technology and Design. *Design Studies*. 6 (2), 66-72.

- LI, L. (2005). Ontological modeling for software application development. *Advances in Software Engineering*, 36, 147-157.
- LINCOLN, Y.S. et GUBA, E.G. (1985). *Establishing trustworthiness*. Naturalistic Inquiry, Chapitre 11, 289-331.
- MACCORMACK, A., VERGANTI, R. et IANSITI, M. (2001). Developing Products on Internet Time: The Anatomy of a Flexible Development Process. *Management Science*, 47 (1), 133-50.
- MAHONEY, J.T. (1992). Organizational economics within the conversation of strategic management. *Advances in Strategic Management*, 8, 103-155.
- MALLEO, D., HAAS, C. et KRAFT, M. (2005). Design, modeling and simulation of a PZN-PT actuated micropump. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*, Los Angeles, Californie, 1, 700-707.
- MARCH, J.G. et SIMON, H.A. (1958). *Organizations*. New York: Wiley.
- MARKIDES, C. (2001). Strategy as Balance: From « Either-or » to « And ». *Business Strategy Review*, 12 (3), 1-10.
- MARTIN, M.V., et ISHII, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. *Research in Engineering Design*, 13, 213-235.
- MEYER, M.H. et SELIGER, R. (1998). Product Platform in software development. *Sloan Management Review*, (Fall), 61-74.
- MILES, R., et SNOW, C. (1978). *Organization Strategy, Structure and Process*. New York: McGraw-Hill.

MILES, M.B. et HUBERMAN, A.M. (2003). *Analyse des données qualitatives*, 2e édition, Bruxelles: De Boeck & Larcier s.a., 626p.

MILLER, R. et FLORICEL, S. (2004). Value creation and games of innovation. *Research technology Management*, 47 (6), 25-37.

MILLER, R. et FLORICEL, S. (2007). Games of innovation: A new theoretical perspective. *International Journal of Innovation Management*, 11 (1), (March), 1-35.

MILLER, R. et OLLEROS, X. (2007). The dynamics of games of innovation. *International Journal of Innovation Management*, 11 (1), (March), 37-64.

MILLER, R. (2008). Analyse comparative de données obtenues auprès de 815 firmes sondées dans le cadre du projet MINE. Communication personnelle.

MILLER, R., OLLEROS, X. et MOLINIÉ, L. (2008). Innovation Games : A New Approach to the Competitive Challenge. *Long Range Planning*, 41, 378-394.

MIZE, S., (2004). *Toward Nanomaterials by design: A rational approach for reaping benefits in the short and long term*. San Diego: Foresight Institute. 18p.

MOLINA, A., AL-ASHAAB, A.H., ELLIS, T.I.A. et YOUNG, R.I.M. (1995). A Review of computer-Aided Simultaneous Engineering Systems. *Research in Engineering Design*, 7, 38-63.

MOORE, G. A. (1991). *Crossing the Chasm*. New York: Harper Business.

NAM, T.J. 2001. The development and evaluation of Syco3D: a real-time collaborative 3D CAD System. *Design Studies*, 22, 557-582.

NELSON, R. et WINTER, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

NOBEOKA, K. et CUSUMANO, M.A. (1997). Multiproject strategy and sales growth : The benefits of rapid design transfer in new product development. *Strategic Management Journal*, 18 (3), 169-186.

NORMANN, R. et RAMIREZ, R. (1993). From value chain to value constellation : Designing interactive strategy. *Harvard Business Review*, 71 (4), 65-77.

OWEN, C.L. (1998). Design research: building the knowledge base. *Design Studies*, 19, 9-20.

PAVITT, K. (2003). *Specialisation and Systems Integration: Where Manufacture and Services Still Meet*. SPRU Electronic Working Paper Series, Paper no. 95, University of Sussex, UK, 31p.

PAVITT, K. et STEINMUELLER, W.E. (2002). Technology in Corporate Strategy: Change, Continuity and the Information Revolution. In Pettigrew, A., Thomas, H. and Whittington, R., (éd.). *Handbook of strategy and management*, London: Sage Publications, 344-372pp.

PFEFFER, J. et SALANCIK, G.R. (1978). *The external control of organizations : A resource dependence perspective*. New York: Harper & Row.

PENROSE, E.T. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. New York: Wiley.

PETTIGREW, A., THOMAS, H. and WHITTINGTON, R. (2002). *Handbook of strategy and management*. London: Sage Publications.

PORTR, M. 1980. *Competitive Strategy*. New York: Free Press.

PORTR, M. 1985. *Competitive Advantage*. New York: Free Press.

PRAHALAD, C.K. et HAMEL, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business review*, 68 (3), 43-60.

PRAHALAD, C.K. et HAMEL, G. (1994). Strategy as a Field of Study: Why Search for a New Paradigm? *Strategic Management Journal*, 15, (Special Issue: Summer), 5-16.

PRASAD, B. (1996). *Concurrent engineering fundamentals, vol. I: integrated product and process organization*. New Jersey, Prentice Hall.

PRESSMAN, R. S. (2005). *Software Engineering: A practitioner's Approach*. Sixth edition, New York: McGraw Hill, 880p.

RAMANI, K., AGRAWAL et BABU, M. (2003). CADDAC : Multi-Client Collaborative Shape Design System with Server-based Geometry Kernel. *Transactions of ASME*. 3, 170-173.

RAPHAEL, B et SMITH, I.F.C (2003). *Fundamentals of Computer-Aided Engineering*. Wiley, Chichester; England, 306p.

REICH, Y. (1995). A critical Review of General Design Theory. *Research in Engineering Design*, 7, 1-18.

REICH, Y., KONDA, S., LEVY, S.N., MONARCH, I. et SUBRAMANIAN, E. (1996). Variety and issues of participation in design. *Design Studies*, 17 (2), 165-180.

ROBERTSON, D. et ULRICH, K. (1998). Planning for product platforms. *Sloan Management Review*, Summer, 19-31.

RODGERS, P.A., HUXOR, A.P. et CALDWELL, N.H.M. (1999). Design Support Using Distributed Web-based AI Tools. *Research in Engineering Design*, 11, 31-44.

ROSENBLOOM, R.S. et CHRISTENSEN, C. M. (1994). Technological Discontinuities, Organizational Capabilities, and Strategic Commitments. *Industrial and Corporate Change*, 3 (3), 655-85.

ROSS, P.J. (1988). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill.

ROTEMBERG, J. et SALONER, G. (1991). Interfirm competition and collaboration. In *The corporation of the 1990s: Information technology and Organizational Transformation*, M. Morton (éd.).

ROTHWELL, R. (1992). Successful Industrial Innovation: critical factors for the 1990s. *R&D Management*, 22: 221-239.

SALONER, G. (1991). « Modeling, game theory and strategic management. » *Strategic Management Journal*, Special Issue, 12, 199-136.

SANCHEZ, R. (1995). Strategic Flexibility in Product Competition. *Strategic Management Journal*, 16, 135-59.

SANCHEZ, R. et MAHONEY, J.T. (1996). Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design. *Strategic Management Journal*, 17, (Winter), 63-76.

SANCHEZ, R. (1999). Modular Architectures in the Marketing Process, *Journal of Marketing*, 63, (Special Issue), 95-111.

SCHIEK, R.L. et SCHMIDT, R.C. (2005). Automated and integrated mask generation from a CAD constructed 3D model. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie, 3, 443-446.

SCHILLING, M. A. et HILL, C.W.L. (1998). Managing the New Product Development Process: Strategic Imperatives. *Academy of Management Executive*, 12 (3), 67-81.

SCHILLING, M. A. (2000). Toward a General Modular Systems Theory and Its Application to Interfirm Product Modularity. *Academy of Management Review*, 25, 2, 312-334.

SCHUMPETER, J. (1947). *Capitalism, Socialism and Democracy*, Harper and Brothers. 652p.

SHAI, O. et REICH, Y. (2004). Infused Design. I. Theory. *Research in Engineering Design*, 15, 93-107.

SIMPSON, T.W., MAIER, J.R.A., et MISTREE, F. (2001). Product platform design: method and application. *Research in Engineering Design*, 13, 2-22.

SINNER, F. (2005). New highly efficient non-invasive nanoparticule delivery systems for the treatment of chronic diseases. *Compte rendu de NSTI-Nanotech 2005*. Los Angeles, Californie, 1, 156-159

SPANOS, Y.E., LIOUKAS, S. (2001). An examination into the causal logic of rent generation: contrasting Porter's competitive strategy framework and the resource-based perspective. *Strategic Management Journal*, 9 (22), 907-934.

STORPER, M et SALAIS, R. 1997. *Worlds of Production, The Action framework of the economy*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 370p.

STRAUSS, A., CORBIN, J. (1994). *Grounded Theory Methodology: An overview*. In *Handbook of Qualitative Research*. Denzin, Norman K. and Yvonna Lincoln (éd.), Sage Publications, Newbury Park, CA.

STREMERSCH, S., WEISS, A.M., DELLAERT, B.G.C. et FRAMBACH, R.T. (2003). Buying Modular Systems in Technology-Intensive Markets. *Journal of Marketing Research*, 40 (August), 335-50.

STURGEON, T.J. (2002). Modular production networks: a new American model of industrial organisation. *Industrial and corporate change*, 11, 1 451-496.

SZYKMAN, S., RACZ, J., BOCHENEK, C. et SRIMAM, R.D. (2000). A Web-based system for design artifact modeling. *Design Studies*, 21, 145-165.

TEECE, D. (1978). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. In *The Competitive Challenge*, D. Teece (éd.), Ballinger: Cambridge, MA; 185-219.

TEECE, D. (1986). « Profiting from Technological Innovation. *Research Policy*, 15, 285-305.

TELELOGIC ANNUAL REPORT (2005). 77p.

THOMKE, S.T. (2006). Capturing the real value of innovation tools. *MIT Sloan Management Review*, Winter, 24-32.

TUSHMAN, M.L. et ANDERSON, P. (1986). Technological discontinuities and organizational environments. *Administrative Science Quarterly*, 31, 439-465.

TUSHMAN, M. L. et ANDERSON, P. (1990). Technological Discontinuities and Dominant Designes: A Cyclical Model of Technological Change. *Administrative Science Quarterly*, 35, 604-33.

ULRICH, K. (1995). The Role of Product Architecture In The Manufacturing Firm. *Research Policy*, 24, 419-440.

ULRICH, K. et EPPINGER, S.D. (2000). Product Design and Development. McGraw Hill, 2nd edition, USA, 358p.

UTTERBACK, J.M., (1994). *Mastering the dynamic of Innovation, How Companies can seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston, Mass: Harvard Business School Press. 253 p.

UTTERBACK, J.M. et SUAREZ, F.F. (1995). Dominant Designs and the Survival of Firms. *Strategic Management Journal*, 16, 415-30.

- VAN DE VEN, A.H. et POOLE, M.S. (1995). Explaining development and change in organizations. *Academy of Management Review*, 20, 510-540.
- VENKATESAN, R. (1992). Strategic Sourcing: To make or not to make. *Harvard Business Review*, 70, (Nov.-Dec.), 98-107.
- VON HIPPEL, E. (1986). Lead users: A source of novel product concepts. *Management Science*, 32 (7), (July), 791-805.
- VON HIPPEL, E. (1998). Economics of Product Development by users: The impact of sticky local information. *Management Science*, 44 (5), May, 629-644.
- VON HIPPEL, E. (2005). *Democratizing Innovation*. Cambridge, MA: The MIT Press. 204p.
- WADE, J. (1995). Dynamics of organizational communities and technological bandwagons: an empirical investigation of community evolution in the microprocessor market. *Strategic Management Journal*, 16, 111-133.
- WALLACE, D. YANG, E. et SENIN, N. (2003). *Integrated Simulation and Design Synthesis*. Research Papers Series, Center for Innovation in Product Development, MIT. Cambridge, Mass., 27p.
- WERNERFELT, B. (1984). A Resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5 (2), 171-180.
- WEISS, A.M. et HEIDE, J.B. (1993). The Nature of Organizational Search in High Technology Markets. *Journal of Marketing Research*, 30 (May), 220-33.

WEISS, A.R. et BIRNBAUM, P.H. (1989). Technological infrastructure and the implementation of technological strategies. *Management Science*, 35, 8, 1014-1024.

WHITNEY, D.E., (1990). Designing the design process. *Research in Engineering Design*, 2, 3-13.

WHITFIELD, R.I., DUFFY, A.H.B., COATES, G., et HILLS, B. (2002). Distribution design coordination. *Research in Engineering Design*, 13, 243-252.

WILLEM, R.A. (1990). Design and Science. *Design Studies*, 11 (1), 43-47.

WILLIAMSON, O.E. (1975). *Markets and Hierarchies: Analysis and antitrust implications*. New York: Collier Macmillan.

WILLIAMSON, O.E. (1981). The Modern Corporation: Origins, Evolution, Attributes. *Journal of Economic Literature*, 19, 1537-1568.

WILLIAMSON, O.E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism. Firms, Markets and Relational Contracting*. N.Y.: New York Free Press.

WILSON, L.O., WEISS, A.M. et John, G. (1990). Unbundling of Industrial Systems, *Journal of Marketing Research*, 27 (May), 123-38.

WINTER, S. (1987). Knowledge and competence as strategic assets. In *The competitive challenge: Strategies for industrial innovation and renewal*. D.J. Teece (éd.), Ballinger, Cambridge, MA. 159-184.

WORREN, N., MOORE, K. et CARDONA, P. (2002). Modularity, Strategic flexibility, and firm performance: A study of the home appliance industry. *Strategic Management Journal*, 23, 1123-1140.

WUYTS, S., STREMERSCH, S., VAN DEN BULTE, C. et FRANSES P.H. (2004). Vertical Marketing Systems for Complex Products: A Triadic Perspective. *Journal of Marketing Research*, 41, (Nov.), 479-87.

YIN, R.K. (1994). *Case Study Research*.

YOSHIMURA, M. (1993). Concurrent optimization of product design and manufacture. In *Concurrent Engineering, Contemporary Issues and Modern Design Tools*, (éd.) Hamid R. Parsaei et William G. Sullivan. London: Chapman & Hall. Chapitre 9, 159-183.

ZACHMAN, J.A (1987). A framework for information systems architecture. *IBM Systems Journal*, 26, no. 3, 276-292.

ANNEXE I

**LISTE DE DÉVELOPPEURS D'OUTILS D'AIDE À LA CONCEPTION,
À L'INGÉNIERIE ET À LA RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT**

Liste de développeurs d'outils d'aide à la conception, à l'ingénierie et à la recherche et développement

ABAQUS, Inc.	Dalsa Semiconductor
Actuality Systems, Inc.	Decision Software Inc
Alibre Inc.	Informatica
ANSYS Inc.	Intellisync
Arena Solutions.	MathConsult
ASD (Advanced Software Design)	Numerical Algorithms Group
Aspen Technology, Inc.	OpenLink
Automated Precision	Scientific Software Tools, Inc.
AVEVA Group plc	Summit Systems
Bentley Systems, Incorporated	Sungard
Bricsnet	The MathWorks
Buzzsaw.com, acheté par Autodesk	Trema
Cadcentre plc	Visual Numerics
CEA Systems	Wolfram Research, Mathematica
Centric Software, Inc.	AAI Corporation
Cimmetry	Aegis Technologies Group
CoCreate Software, HP spinoff	AGFA Technology
Dassault Systèmes S.A.	Alphatech
DELMIA Corporation, DS	Altersys, sub. of ICS Triplex
Design Power, Inc.	Altia
DIPRO	ATENA
EDS PLM Solutions	Avilar Technologies
Eigner, sub. Of Agile	CACI Products Company
EMC Corporation	Cadence Design
Engineous Software	CMLabs
ENOVIA Corporation, sub of DS	COADE Eng. Software
Entrada Software, sub. Of Cimmetry	Codagen Technologies
Fedem Technology AS	Comsol
i2 Technologies	Create a soft
IBM Corporation	Decisioneering
iEngineer.com, sub. Of Lucent	Devonyx
iManage, sub of Interwoven	DSM Biologics
ImpactXoft Corporation	Dynasim
Infosys Technologies, Ltd.	EDAG Engineering
Intergraph Corporation	Engenuity Technologies, virtual prototype
Intersect Software	EnviroSim
Interwoven	Fluent.com
Invensys SIMSCI-Esscor	Gamma Technologies
Legato, sub. Of EMC	Hydromantis
LMS International N.V.	ICE Group, Oracle partner
Lucent Technologies	ICS Triplex
MatrixOne, Inc.	Imagine SA
McLaren Ltd.	ITK Engineering Modeling
Mechanical Dynamics, Inc., sub. Of MSC	JT Open
MSC.Software Corporation	LK Software
MTS	LSI Logic
Nemetschek AG	MathEngine
NexPrise	Mathengine, openmediagroup

ANNEXE II

**PREMIERS GRANDS THÈMES ÉMERGENTS EN LIEN AVEC
LES QUESTIONS SPÉCIFIQUES POSÉES EN ENTREVUE**

Premiers grands thèmes émergents en lien avec les questions spécifiques posées en entrevue

Questions spécifiques posées en entrevue	Premiers thèmes émergents en lien avec les questions posées
<p>How do you serve your customers? How do you approach your market? How do you see your market? How Dassault approaches the specificity of the different industrial sectors? How would you describe your business environment? How do you see future? What are the major obstacles or constraints you face? What is the market you serve? What characterizes your approach of the nanotechnology market? How do you define nanotechnology? Can you describe briefly the design context you address with your offer? Can you describe how you approach your market? What do you want to disrupt? How do you see the future in terms of innovation? What is the general profile of your customers? Can you talk briefly about the business environment and innovation in your sector?</p>	Vision du marché
<p>How innovation is stimulated? How would qualify pacing of innovation? Can you talk about any significant changes that affect the pace of innovation in your market? What are the changes that occurred in the last 5 years? What are the drivers for innovation?</p>	Changements et évolution
<p>Can you tell me what do you think about the open source software movement? Can it be applied to engineering tools? How do you approach the open source code movement? How do you approach openness?</p>	Ouverture des systèmes
<p>Vous parlez d'obstacles, pouvez-vous nous donner des détails sur ces obstacles What are the obstacles to innovation? Can you talk about challenges there are concerning human resources? Can you give me an example of the difficulties involved?</p>	Obstacles et défis
<p>How Dassault manages its own IP and the IP available from third parties on the market? Can you talk about the relations UGS has with other software developers and partners? How do you approach the platform issues? How do you manage to fit in systems provided by others? Can you talk about alignment of tools? Comment Polyclan s'est positionnée au plan technologique dans l'environnement d'affaires? Did you made a strategic decision to get more involved in the embedded systems sector? Can you talk about how you approach the integration of your offer in the existing market? How do you approach the integration of tools and companies acquired by Telelogic? Can you talk about the way you approach inter operability? How do you approach the architecture of solutions? Can you give an example of the integration or link of your solutions with other systems like CRM or ERP?</p>	Modèles d'affaires

<p>Can you talk about the origin of the firm? How did Lurgi became expert?</p>	
<p>What type of value you provide to customers? How would you define your core business? What would be your main advantages in the market? Could you talk briefly about your firm? Can you describe your business? What is the profile of your typical customer? Quels sont éléments critiques d'une conception basée sur la simulation?</p>	Création de valeur
<p>How you Intellisense ispositionned in what we can call the MEMS' innovation network? Do you have special partnerships or role? What is your role in SAP?</p>	Rôle de la firme
<p>Do you have any internal incentives for innovation? Comment gérez-vous vos investissements en R&D? Avez-vous des politiques d'innovation? How do you approach innovation? Can you talk about your innovation practices? How do you structure your portfolio of innovation projects? What is the level of investment in R&D? What is the budget of a typical innovation project?</p>	Pratiques internes d'innovation
<p>Do you have any methodologies for software engineering? Can you talk about the software engineering practices at Autodesk? Do you have methodologies for software development? Do you use or Integrate any modelling and simulation capabilities in your tools? Do you use modelling and simulation technologies?</p>	Méthodologie d'ingénierie logicielle
<p>How do you interact with customers? Do you have special initiatives to interact with users of your products? How do you interact in the market with other firms and stakeholders? What kind of specific support you provide to customers in order to support their design objectives? How do you approach co-development with customers?</p>	Interactions avec clients et réseau
<p>How do sell your products? Do you develop modelling & simulation tools for sale? What do you sell to this market? Do you have any specific initiatives or programs to serve your markets? What is the range of cost of your solutions? What is a typical project budget? What is the cost of Cadence solutions?</p>	Stratégies marketing
<p>Do you have any special partners? Can you talk about the collaboration or partnerships you may have with other parties like universities?</p>	Partenariat
<p>What are the sources of knowledge? Quelles sont vos sources de connaissances et d'idées? Quelles sont les sources d'idées et d'innovation? How do you renew your knowledge?</p>	Sources et renouvellement des connaissances
<p>Any special competences? What would be your must have competences? What would be according to you, Barco's key competences? What are your major capabilities? What are the capabilities you must have to compete successfully? How you build these competences?</p>	Compétences et capacités

How did SAP built this system capability?	
Can you talk about what is needed to create strong products? Can you tell me briefly on what type of technological infrastructure you can count on? I assume nanotechnology design require specific knowledge, can you give me an idea of the specificity? Can you talk about the role of lab facilities in developing MEMS and nano products? How important is manufacturing knowledge in the design phase of MEMS products?	Actifs et technologies clés
How do you get organize for innovation? How Autodesk is organised for innovation?	Organisation de l'innovation
What types of applications and solutions Accelrys provides? What do you specifically sell to create value for your customers? Can you give me an example of what a tool does? Could you describe briefly how the tools work?	Dimensions de mérite
Comment décririez-vous la croissance de la firme? How are your revenues composed? Could you give us some figures concerning the company?	Performance
Who are your competitors?	Compétiteurs
Who are the stakeholders of interest?	Détenteurs d'enjeux

ANNEXE III

**ARBORESCENCE DANS NVIVO 7 DES THÈMES ÉMERGENTS EN LIEN
AVEC LES QUESTIONS POSÉES EN ENTREVUE**

Tree Nodes

	Name	Sourc	Re	Created
+	>Liste des 1ere Free nodes-Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:47
+	Liste ordonnée des 1ères Free nodes-Thématisation	0	0	2007-11-05 15:49
+	Réponses aux questions - Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:37
	Contexte	0	0	
	Détenants d'enjeux	2	2	
	Compétiteurs	9	9	
	Obstacles et défis	4	4	
	Ouverture des systèmes	5	5	
	Changements et évolution	21	24	
	Création de la valeur	31	36	
	Dimensions mérite	11	11	
	Modèles d'affaires	23	27	
	Stratégies marketing	1	1	
	Leviers technologiques	5	6	
	Vision du marché	15	18	
	Interactions avec clients et ré	15	15	
	Partenariat	4	4	
	Capacités	0	0	
	Compétences et capacités	17	18	
	Sources et renouvellement d	11	15	
	Actifs et technologies clés	2	2	
	Pratiques d'innovation	7	9	
	Méthodologie d'ingénierie lo	5	5	
	Investissement en R&D	10	10	
	Organisation de l'innovation	18	24	
	Performance	8	8	

ANNEXE IV

**LISTE DES NODES THÉMATIQUES NON CLASSÉES ÉMERGENTS DE
LA THÉMATISATION DÉTAILLÉE DES CAS ET ARBORESCENCE
ORDONNÉE ET DÉTAILLÉE DES CONCEPTS (NODES THÉMATIQUES)
POUR TOUS LES CAS**

Tree Nodes

Name	Source	Re	Created
>Liste ordonnée des 1ères Free nodes-Thématisation	0	0	2007-11-05 15:49
Réponses aux questions - Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:37
Liste des 1ere Free nodes-Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:47
Acceptation du marché	2	2	
Accessibilité de l'information	1	1	
Accessibilité des outils	2	3	
Adaptabilité des solutions	1	1	
Aide au processus de développement	1	1	
Alignement	3	3	
Amélioration des processus	3	5	
Applications fermées et isolées	2	3	
Apprentissage	3	5	
Architecture commune de données	3	3	
Architecture logicielle inter opérab	4	6	
Architecture modulaire	4	5	
Assemblage des outils et modules	2	2	
Besoins avancés des clients	6	7	
Buts des clients	3	3	
Cadre d'intégration	3	5	
Capacité d'absorbtion	1	2	
capacité de commercialisation	3	3	
Capacité d'innovation améliorée	6	7	
Capacités améliorées des chercheurs	1	3	
Capacités avancées de modélisation	4	4	
Chaîne de création	1	1	
Choix stratégique	1	1	
Codification des connaissances	1	1	
Collaboration avec écosystème client	1	2	
Communauté	1	1	
Communication améliorée	3	4	
Compétences stratégiques	2	4	
Complémentarité des outils	1	1	
Complexité de conception	2	3	
Complexité de fabrication	0	0	
Compléxité d'intégration	3	4	
Concurrence	4	4	
Connaissances accumulées	1	1	
Connaissances avancées en conception	3	4	
Connaissances des domaines	2	6	
Connaissances des processus client	3	4	
Consolidation industrielle	3	3	
Contingence des compétences	2	3	

Tree Nodes

Name	Source	Re	Created
↳ Coordination	2		2
↳ Cycle de vie de produit	2		3
↳ Déclancheurs clients	3		4
↳ Déficiences des processus	2		2
↳ Défis scientifiques et technologique	2		2
↳ Démocratisation	1		2
↳ Développement méthodologique	2		4
↳ Écosystème d'innovation	2		2
↳ Écosystème d'innovation dynamique	1		1
↳ Ensembles technologiques	1		1
↳ Environnement collaboratif	3		4
↳ Environnement d'ingénierie logiciel	1		1
↳ Environnement ouvert de conception	2		2
↳ Équilibre d'évolution	5		5
↳ Évolution technologique	2		3
↳ Expériences accumulées	1		1
↳ Fluidité et synergie des compétences	1		1
↳ Flux de connaissances	2		2
↳ Forces du marché	6		10
↳ Gestion propriété intellectuelle	2		2
↳ Immaturité des marchés émergents	1		1
↳ Immersion	1		1
↳ Incertitudes et risques de marché	1		1
↳ Incitatif interne à l'innovation	2		2
↳ Ingénierie logicielle industrielle	1		2
↳ Innovation des processus client	2		3
↳ Innovation ouverte	2		3
↳ Intégrateur scientifique	3		3
↳ Intégration de solutions	4		6
↳ Intégration des connaissances	3		4
↳ Intention stratégique	3		6
↳ Inter opérabilité	1		1
↳ Inter opérabilité non critique	1		1
↳ Interdépendance	2		2
↳ Interrelations entre outils	1		1
↳ Intimité client	6		11
↳ Investissement R&D	8		8
↳ Leadership	2		3
↳ Leadership technologique	4		6
↳ Limitations des ressources	1		2
↳ Logiciel code source ouvert	2		2
↳ Mauvaise trajectoire	1		1

Tree Nodes

Name	Source	Re	Created
Modèle d'affaires	3		7
Modularité	1		1
Normalisation	2		3
Orientation apprentissage	1		1
Orientation client	1		1
Paradigme d'innovation	2		3
Partage des connaissances critiques	2		2
Partenariat stratégique	6		9
Performance	2		2
Phase effervescente	1		1
Plates-formes technologiques	1		2
Positionnement stratégique	3		4
Pratiques d'ingénierie logicielle	4		4
Pratiques d'innovation	4		5
Principes scientifiques fondamentaux	1		1
Processus de découverte	1		1
Processus spécifiques client	1		2
Processus spécifiques de création	1		1
Productivité	4		10
Renouvellement de solutions	1		4
Réseau	2		3
Résolution des problèmes	1		1
Risques	3		5
Rôle et influence des clients	0		0
Route de découverte	1		1
Solutions spécifiques aux besoins	8		21
Spécialiste	1		1
Spécificités des connaissances	1		1
Spécificités des domaines	5		5
Structuration et intégration	1		1
Techniques de prédiction	3		3
Technologies de modélisation	1		1
Technologies informatiques et scienc	1		1
Travail simultané	1		1
Unification des données	1		1
Valeur	1		1
Virtualité	1		1
Vision intégratrice	3		5
Vision stratégique	3		3

Tree Nodes

Name	Source	Ref	Created
Réponses aux questions - Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:37
Liste des 1ere Free nodes-Thématisation émergente	0	0	2007-10-25 13:47
Liste ordonnée des 1ères Free nodes-Thématisation	0	0	2007-11-05 15:49
Contexte	0	0	
Forces du marché	6	10	
Solutions spécifiques aux b	27	45	
Cycle de vie de produit	14	25	
Spécificités des connaissan	27	39	
Interdépendance des firme	16	20	
Concurrence et changeme	30	66	
Paradigme d'innovation	10	33	
Complexité	0	0	
Complexité de fabrication	5	5	
Complexité de conception	11	14	
Compléxité d'intégration	10	12	
Spécificité des chaînes de cr	0	0	
Écosystème d'innovation d	9	9	
Rôle et influence des clients	0	0	
Besoins avancés des clien	21	32	
Déclancheurs clients	9	11	
Équilibre d'évolution	5	5	
Déficiences des processus	12	12	
Création de valeur	1	1	
Leviers et actifs technologiq	0	0	
Essais et prototypage	7	10	
Architecture modulaire	5	12	
Dimensions de mérite attend	0	0	
Acquisitions stratégiques	6	7	
Programme d'interactions c	23	37	
Intégration des processus	10	15	
Intégration de modules	11	16	
Alliances et partenariats str	15	20	
Gestion innovatrice de la pr	14	23	
Orientations stratégiques de	0	0	
Inter opérabilité	20	30	
Intégration des connaissan	27	47	
Productivité et résolu. probl	33	82	

Tree Nodes

Name	Score	Source	Ref	Created
Plates-formes technologique	13		21	
Structuration de l'écosystème	12		38	
Règles	0		0	
Accessibilité	14		21	
Formalisation des processus	19		25	
Intégration des ressources	18		31	
Virtualité et immersion	26		37	
Modèles d'affaires	3		7	
Spécialiste scientifique	19		24	
Architecte intégrateur	8		12	
Alignement	12		17	
Positionnement stratégique	22		40	
Leadership technologique	12		23	
Vision intégratrice	11		25	
Vision stratégique	17		22	
Pratiques d'innovation	8		9	
Développement méthodologique	9		16	
Organisation de l'innovation	26		41	
Pratiques d'ingénierie logicielle	13		27	
Investissement R&D	16		17	
Compétences	0		0	
Capacité de commercialisation	9		11	
Expériences accumulées	13		17	
Connaissances avancées	15		22	
Connaissances des domaines	14		22	
Connaissances des processus	13		18	
Orientation apprentissage	11		17	
Orientation client	10		18	
Performance	10		10	
Mauvaise trajectoire	2		3	
Limitations des ressources	6		7	

ANNEXE V

EXEMPLES DE TRANSCRIPTION DE CAS CODÉS DANS NVIVO 7

Name: Mes entretiens\Cas Accelrys

Cas Accelrys

Bill Taylor, VP corporate development and marketing, Nic Austin, VP R&D
October 21, 2005, San Diego, CA

1. What type of value Accelrys provides to customers?

Accelrys provides integration of scientific knowledge through application software to assist R&D people, scientists in nano science and pharma sectors in their drug, new material and new device development process.

We provide predictive in-silico techniques to replace physical experiments.

The goal is to increase the productivity of research processes, identify dead end, discriminate options, select early potential candidates, etc.

You know, because of the barriers and obstacles in the information and knowledge flows, teams involved in drug development process needs scientific integration.

The business model of Accelrys is based on:

1. Identification of advanced user needs;
2. Build consortium and financing around these needs;
3. Develop tools to satisfy these needs.

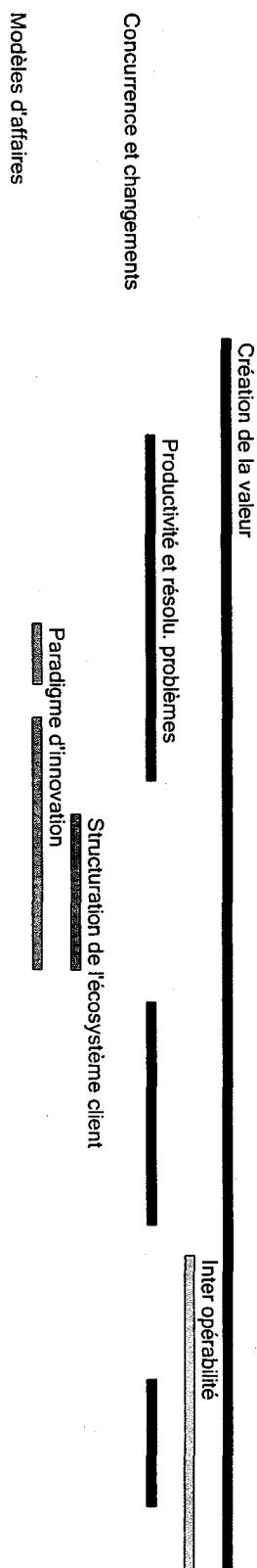
Our bioinformatics, proteomics, and structural biology software provide tools that enable researchers to tackle the range of problems inherent in moving from gene sequence data to fully characterized targets for drug discovery projects.

This range of activities represents the early stages of the drug discovery process and is an essential pre-requisite for the structure-based route to drug discovery. Nic Austin, Vice President R&D

We plan to continue enhancing our product and services offerings for specialist computational chemists and biologists, who are the principal users of modeling and simulation products.

In addition, we are broadening our user base by enabling straightforward access to these methods by a much larger population of scientists and engineers who do not currently use modeling and simulation software. This also helps expert modellers to connect and communicate more effectively with other research organizations.

Further, these products assist organizations in capturing, managing, and sharing the



critical knowledge developed in modeling. Nic Austin, Vice President R&D

2. What types of applications and solutions Accelrys provides?

Accelrys is providing an open platform, a design environment for partners and customers, etc.

It builds applications addressing gaps by gathering IP from academia, scientific applications and modules, and clients and partners inputs. It is a scientific integrator.

We have a broad product suite consisting of over 100 application modules based on proprietary technologies that employs fundamental scientific principles, advanced computer visualization, molecular modeling techniques and computational chemistry.

These products allow scientists to perform computations of chemical, biological and material properties, to simulate and analyse chemical and biological systems, and to communicate the results to other scientists.

We also offer open access to many of our software development environments, within which customers and third-party licensees can develop, integrate and distribute their own software applications for computational chemistry, biology and material research. Nic Austin, Vice President R&D

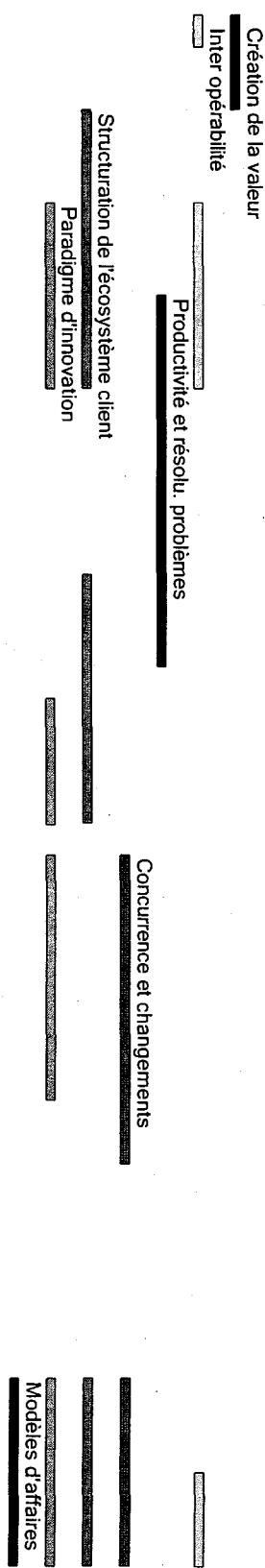
We intend to develop and sell our products and services to companies in the nanotechnology industry. We do not know when a market for nanotechnology-enabled products will develop, if at all, and we cannot reasonably estimate the projected size of any market that may develop. In addition, nanotechnology-enabled products may achieve some degree of market acceptance in one segment but not achieve market acceptance in other segment so the nanotechnology industry for which we are developing products. Bill Taylor, Vice President Marketing

3. Do you have any internal incentives for innovation?

Accelrys counts 200 Ph.D. in house. We have a sabbatical program in place, people are encouraged to publish or build application prototype.

4. How do you approach the platform issues?

There are two extremes: Microsoft = closed and IBM = more open. It is all related to standardization of data. In biology, we have fairly good standard as to describe data, notations, etc.



In chemistry and material sciences, the standardization dimension is weak and it is more or less related to the state of the industry; there are a lot of small developers who loose money. They offer closed application, point optimizing solutions.

They are on a bad trajectory.

They don't have the capabilities to propose a coherent framework.

That is why there is a lot of consolidation in the industry and this continues. The goal of Accelrys is then to provide platforms allowing integration of applications and leading the way as being the facto standard.

Per example openness per say and inter operability are not critical in pharma. Pharma is doing modelling in complement to lab experiments. Others applications are used down the process. In nano, modelling is used in complement to instrumentation. Then the creation processes are different.

Many of our products are based upon open architectures that allow customers, collaborators and third parties to develop software applications in the same development environment we use internally.

Core modeling functions are included in this open environment, which permits developers to focus on their particular scientific interests and increase the power and utility of their programs by integrating them with our products. Bill Taylor, Vice President Marketing, Accelrys

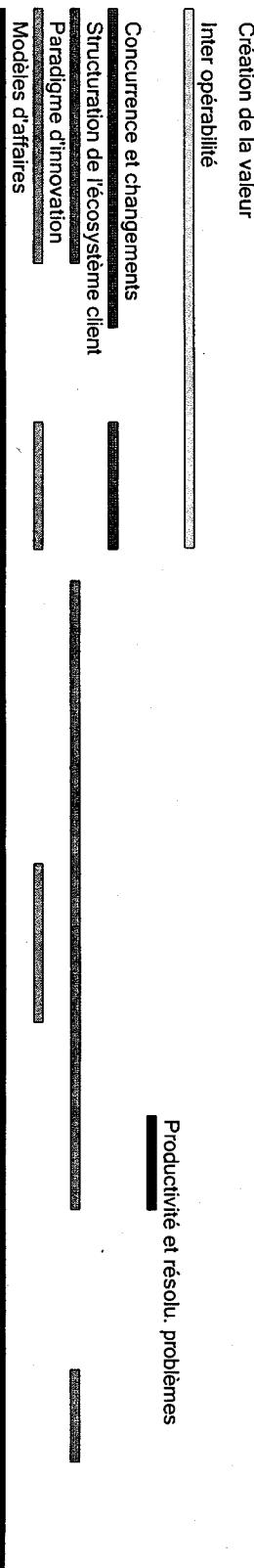
To foster the expansion of a thriving community around Pipeline Pilot, we encourage other software vendors, including our competitors, to integrate with the platform so that researchers have the freedom to assemble complete software solutions containing the best tools for their particular application, even when come from other vendors.

Pipeline Pilot provides an open environment for the automation and integration of scientific data processing. By connecting together modular processing steps into a network through which data flows, Pipeline Pilot enables researchers to create sophisticated computing routines that automate days of manual effort with a single step.

Further, the approach allows data from disparate sources such as databases and flat files to be processed together without first creating and loading a single unifying data management system.

As an open platform, Pipeline Pilot enables other software vendors to make their products compatible so customers can always choose the best combination of available tools to deploy. Nic Austin, Vice President R&D

The Discovery Studio software combines updated infrastructure technology and market leading science acquired and developed by us. This platform allows us to deliver molecular modeling and simulation desktop products to new classes of users,



through the advantages of client-server computing. Stephen J. Mumby, Senior Account Director, Materials Science

We have pioneered open scientific software architecture such as our Cerius, Insight II and Pipeline Pilot software. Many customers have used our published programming interfaces to incorporate and customize new methods into these software packages.

The modular architecture is designed to provide streamlined access to the various computational methods, allowing their uses in discrete, combined and packaged ways.

The integration of informatics capabilities and provision of collaborative enterprise environment is being pursued through the development of integrated software platforms for discovery research including Discovery Studio, Material Studio, and Pipeline Pilot.

We plan to develop our key modeling and informatics capabilities such that they are compatible with these platforms. Nic Austin, Vice President R&D

5. What are the changes that occurred in the last 5 years?

We can say a continuous improvement in PC calculation power, graphic capacity, and an increased focus on the potential of nanotechnologies and a certain movement toward open source code software.

Accelrys applications now run on Linux. We are really open to buy kernel, interfaces, from other parties in the market, etc. We take what is good, stuff we can integrate and is available.

With the complexities of the systems we must integrate, we must have a very good absorptive capacity as to re write codes without losing focus, absorb acquired tools, people, collaborators, etc. Nic Austin, VP R&D, Accelrys.

6. How do you interact with customers?

We have regular formal meetings and interactions with advisor group of leading academic people. We also set up an advisory board composed of key scientists and industrial representatives.

Accelrys supports also a user group and we organise Forums and events with and for the community.

7. Do you have any methodologies for software engineering?

- **Création de la valeur**
- **Inter opérabilité**
- **Productivité et résolu. problèmes**
- **Concurrence et changements**
- **Paradigme d'innovation**
- **Modèles d'affaires**
- **Structuration**

Yes. It is a distributed activity. Again, we must have a very good capacity to learn and integrate new tools, re write the code, make the people together, etc. It is a constant challenge.

8. Were there any changes in the last 5 years?

Internally, we implemented rigorous port folio management practices in order to make good decision in terms of funds allocation.

We also implemented strategic reviews and formalized the annual business plan preparation. Now we have that in place we can say that our R&D expenditures on revenues reach 30% and looks like:

<u>R&D investment</u>	<u>type of project</u>
10%	drive growth in 3-5 y
30%	drive growth in 1y
60%	incremental innovations of existing products

9. Who are your competitors?

Elsevier MDL
Cambridge Software
Chemical Computing Group
Shrodenger

Accelrys believes it has no competitor in terms of integration of data and tools.

10. How is your revenues composed?

95% of our revenues come from licences and around 5 % from services. That number increasing.

11. Do you have any special partners?

Yes. We partner with IBM, Accenture, and others depending of projects.

Création de la valeur

Inter opérabilité

Productivité et résolu. problèmes

Structuration de l'écosystème client

Paradigme d'innovation

Modèles d'affaires

Concurrence et changements

Name: Mes entretiens\Cas Autodesk

Cas Autodesk

John Pittman, Senior director, Strategic Research, Office of the CTO
October 19, 2006, San Rafael, CA

1. What are the dimensions of value you provide to customers?

We provide capacities for them to create a digital model of an artefact. The tools are low cost, fairly easy to use, etc. so it helps a democratization of science and technology. Our tools provide functionalities for communication, data exchange flows, coordination, etc.

An example is the Vault solution. Autodesk provides a Web portal Vault that is used as a design space for users. The key is how to keep track of info throughout the life cycle of a product, infrastructure, etc. An another example is the Buzzza solution. Its a data base for storing design data, request for change, etc. in building and infrastructure projects.

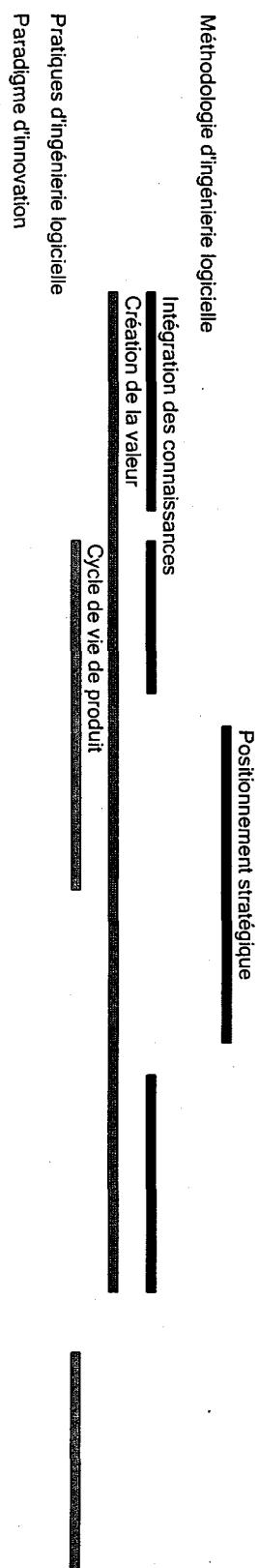
Our approach is based on volume. We are a volume production company. We seek a large market share, i.e. a large number of Autocad seats. We do that now by supporting a large established global network of educators, 3rd party developers (2400), VAR (1200), etc.

We believe that our ability to make technology available to mainstream markets is one of our competitive advantages. By innovating in existing technology categories, we bring powerful design products to volume markets. Our products are designed to be easy to learn and use, and to provide customers low cost of deployment, low total cost of ownership and a rapid return on investment.

Our goal is to be the world's leading Design software and Services Company for the building, manufacturing, infrastructure, media and entertainment, and wireless location based services industries. Our focus is to help customers create, manage and share their data and digital assets more effectively and improve efficiencies across the entire lifecycle management process. Autodesk has also a service division providing consultancy to customers. They assist them in analysis, implementation of solutions, etc.

2. How Autodesk is organised for innovation?

By divisions and vertical markets. On a platform technology build in the last 23 years, Autocad, we develop specific solutions for specific markets like building, infrastructures, manufacturing, media, etc.



As a group, Autodesk is providing technologies that can be used horizontally in many markets (ex.: Autocad, etc.). Boundaries between markets vary and therefore some synergies are required between groups. The capacities must flow. But, specific problems require integrative approach and bundling of solutions. There are different divisions because different opportunities exist and require specific approaches and knowledge.

Each market has its dynamics and requires different solutions. The triggers for innovation come mainly from customers and partners. They want improvement in their innovation process. So we need to understand their development process and fields of application. I think that in the future, success will come less from pure science but more from a good knowledge of the customer development process.

3. Can you talk about the software engineering practices at Autodesk?

For regular product like Autocad, we have a very rigorous methodology. For new and immature product, we have a looser approach, we build, test, try prototypes with users, etc.

During a development process, Autodesk is buying a lot of technologies and sometimes companies. Sometimes more development is done by acquisitions than internally. The risks associated with such acquisitions include the difficulty of assimilating the products, operations and personnel of the companies and the failure to realize anticipated revenue and cost projections. In addition, such investment and acquisitions, may involve significant transaction or integration costs.

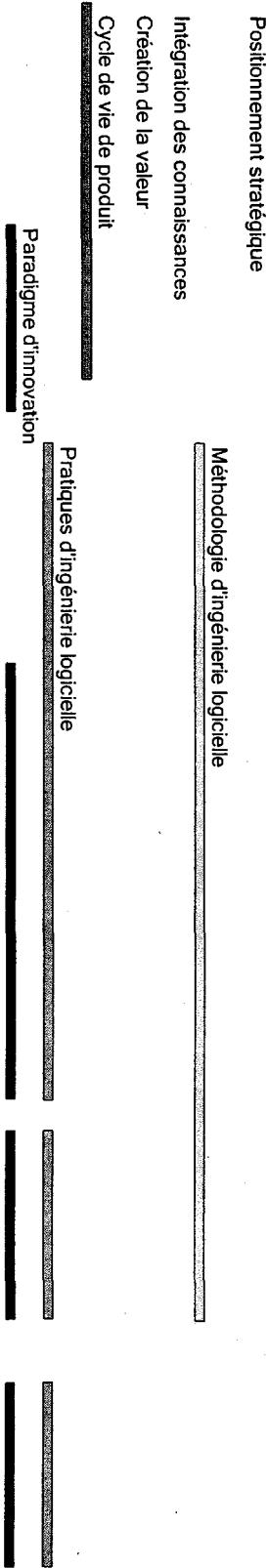
Our partnering strategy creates a dependency on such independent developers. Independent developers, including those who currently develop products for us in USA and through the world, may not be able or willing to provide development support to us in the future.

These risks could among other things, expose our intellectual property to misappropriation and result in disruptions to product delivery schedules.

You know there are different approaches regarding PLM concept per example and the software integration required to make it happen. All need integration. Some groups like SAP, Microsoft, Oracle take a top-down approach while others like us and Adobe take bottom-up one. For each, there are software engineering issues. One of them is standards. There are standards like STEP in manufacturing and IFC in building but the industry efforts are insufficient.

4. How do you approach openness?

It depends of the phase. When we introduce a product, we have a closed approach. Typically, we have closed core with API provided for data format, etc. We provide capacities for communication and exchange. We retain ownership of software and



we develop all software is licensed to users and provided in object code. With time, it is getting more open...

From time to time claims alleging infringement of a third party's intellectual property rights, or those of another party have in the past and may in the future lead to, among other things, costly litigation or product shipment delays. These could harm our business so we must be careful.

With these risks and because of the limitations of laws protecting our intellectual property and the rapid, ongoing technological changes in both computer hardware and software industries, we believe we must rely principally upon software engineering and marketing skills to maintain and enhance our competitive market position.

5. What were the major changes in the last 5 years?

From 1985, Autodesk went from a focus on Autocad, then developed applications specific to vertical market and business units, then Web-based applications. We did a lot of trials. Now it focuses on its core competencies to address globalization of business, optimization of the business.

6. What is the level of investment in R&D?

About 19% on sales.

7. How do you interact with customers?

It varies depending on market segments, solutions, maturity of solutions, etc. We have the Autodesk University: we train customers, users, and we organize conferences, etc.

8. How do you see future?

For Autodesk, the success will come less from pure science but more from a good knowledge of customer development process.

Our aim is to lead democratization of science and technology in our markets. We want to provide better capacities to create a digital model of an artifact, better communication, data exchange flows coordination, etc. The key is how to keep track of information throughout the life cycle of a product or infrastructure. But we do that with a volume production approach. Just consider the number of AutoCAD and Inventor seats and other tools such as Buzzaw, Vault or Ravit. The tools are low cost, fairly easy to learn and use, that's our approach.



9. Who are your competitors?

It varies according to market. Adobe, Microsoft, Oracle, Bentley and others. But nobody is as large as us in different markets.

- Positionnement stratégique
- Méthodologie d'ingénierie logicielle
- Intégration des connaissances
- Création de la valeur
- Cycle de vie de produit
- Pratiques d'ingénierie logicielle
- Paradigme d'innovation

Name: Mes entretiens\Cas SAP

Cas SAP

Dr. Paul Hoffman
Director SAP Inspire
SAP Research
October 13, 2004, Walldorf, Germany

1. What are the key dimensions of customer value in your sector of activity?

The customers want improvement in different areas such as in business processes, productivity, agility, time to market. They want to get a competitive edge out of their systems and operations. They want to bring to their customers the capabilities for a flexible supply chain, operational excellence.

SAP provides systems that automate processes, support best practices and leverage performance in IT systems.

The company Zara is a good example. With the view of data from our system, it is able to change completely its offering in 3-4 weeks, based on real-time market information acquisition like change in colours, styles, etc. In fact the new dimension of value they are seeking for is real-time reaction to bring to market an adjusted new product or service.

You can not automate the processes without changing the organization in order to be successful.

2. Who produces the relevant knowledge necessary for innovation in your business (e.g. product ideas, scientific principles, technologies, operation-related knowledge)?

30 years ago, knowledge was mainly coming from internal. Now 50-60% comes from internal, 20% from customers and 20% from universities and competitors.

3. Can you describe how you approach your market?

Good question. IT innovation is tricky because technology continuously improve, there are changes and shifts in architecture and also because market needs are changing.

Basically, integration is key for SAP. Standardization of processes, interfaces and

Vision du marché

Organisation de l'innovation

Organisation de l'innovation

Création de la valeur

Intégration des ressources

Structuration de l'écosystème

Vision intégratrice

architecture are important. Bundling is important too. Take for example CRM systems. CRM as a new application was the result of the combination of already existing components and ideas.

To develop new ideas, SAP use a pilot customer. The goal is to develop the less new product per year. So the selection of project that will result in new product is extremely important.

You can not plan innovation but you must be constantly in flux and synchronicity with market needs. New realities challenge status quo. Examples like the Web distribution of services, distributed computing, etc. are significant.

SAP is trying to create solutions that allow customers to reduce the reaction time of customers. With the systems in place, the information is there. We want to close the gap between the bit world and the real world.

4. What are the distinctive dimensions that describe how innovation is organized in your firm?

We use different approaches. We sponsor basic research with universities. Also, we have a corporate venturing unit that support teams for new leads. The goal is to develop a prototype within one year, then evaluate the advancement, use stage gate techniques, develop a plan for 3 years, etc.). Later, when the solution is ready it is included in the existing line or put in a new line of business.

SAP can count also on the involvement of few gurus. They are people who have the vision of an opportunity, they legitimate teams, and they support the allocation of funds for transformational changes. Sometimes they execute parts of projects with the team in charge. They are opinion makers, supporters of ideas.

They help the company to innovate because there are many difficulties and dilemmas that arise when you innovate and transform a company. An example was the shift in programming to object-oriented.

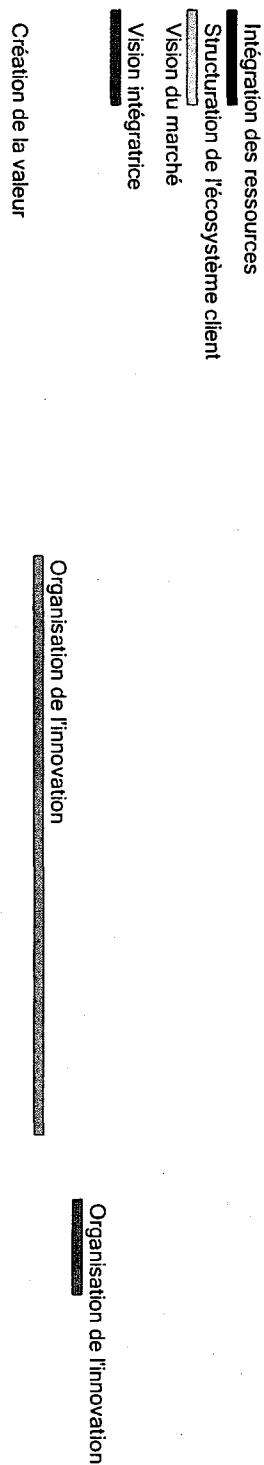
5. How do you structure your portfolio of innovation projects?

It is based on business case evaluation for each project.

6. What are the key capabilities needed for innovating in your business?

Project management skills are key. SAP developed a tool which is sold externally. It is called C-project. Its an ERP for projects.

The ability of our people to network and connect ideas, projects and other people is critical. You need a diversity of connections to innovate. Another thing is to have



the ability to see the whole picture, have a system's view and the ability to transform that in solutions.

It is also important to have a strong engineering base.

On a personnel side, I would say that self-organizing people are comfortable in SAP environment.

7. How did SAP built this system capability?

We did and continue to do selective recruitment. In general, the corporate culture is oriented in that direction. We are within a community of self-organizing people. So the system view is always there.

8. What are the obstacles to innovation?

The main difficulty is to identify strong potentials and execute the projects in an optimal time frame. I should mention also the difficulty to re-initiate a failed project. People are afraid to be associated to failed ideas.

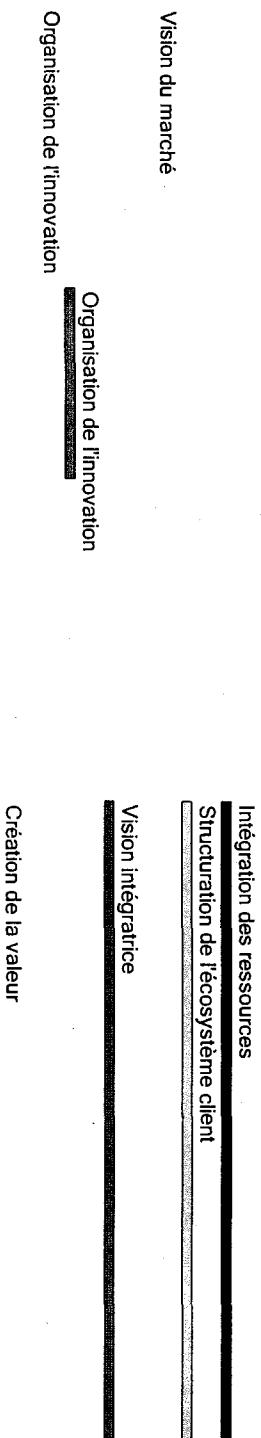
9. How do you serve your customers?

Understanding the business models of customers is extremely important for SAP. A business model is the aligned activities, systems, products and services to serve specific needs of customers.

If you look at the different versions of ERP systems we created, there is an evolution. The R/2 system was developed for big firm needs. It was mainly server based. The R/3 version more oriented toward mid size firms with an ASP model. It can also be implemented like a platform for global corporations who want to capture opportunities from globalization of economy.

Today, sound business models are based on system parts reliability, proven technology and a solid design supporting evolution of the market needs.

In order to get trapped in a wrong position, SAP must select the appropriate hardware and software components as to develop a system that support maximum deployment of the customer business models. In that respect, SAP is business modeling enabler.



Palo Alto, CA**1. What is your role in SAP?**

Our role is to think about emerging solutions. We have a research oriented focus for disruptive innovation. We don't focus on PLM, CRM, etc. although we do have new product addressing similar issues, the xApplications suite.

We must keep in mind that innovation is on two axes: first the product innovation which is more PLM oriented solutions and secondly, the process innovation orientation which is enterprise processes oriented.

SAP did a reorganization recently to improve its ability to address our goals. We have a research group which is working on long term improvement of existing technologies, the emerging group, our group, which is oriented in identifying and developing more radical innovations and finally, the business application group serving existing customers.

2. What do you want to disrupt?

The way data is managed. How SAP data can be exploited. Take the Mendocino project. It is a partnership with Microsoft for the development of a new tool and device to get access to systems and data from anywhere. The goal is to embed SAP enterprise solutions in a portable Windows environment, cell phones, etc. Other potential partners like RIM and Nokia for example are considered.

3. Who develop new ideas?

Generally speaking the application group finds new opportunities while interacting with customers. Emerging solution group find opportunities for new solutions, new markets and growth. We do brainstorms; we network internally, with key people.

4. How do you see the future in terms of innovations?

SAP wants to enlarge its customer base by democratizing SAP. Per example, in a petroleum cie, only 20% of employees have access to SAP's system. The goal is to enlarge the user base. The actual flows of SAP data are creating inefficiencies in cies. The data are not easily accessible.

The question to be asked is from the 60 millions customer base of Windows users, what SAP can generate?

Intégration des ressources
Structuration de l'écosystème client
Vision du marché
Vision intégratrice
Organisation de l'innovation
Création de la valeur

5. How do you approach the architecture of solutions?

We must agree on common set of data and create a metadata repository (data base). We must generate engine to make system/components interact with gateways, APIs, standards, etc.

6. How would qualify pacing of innovation?

Increasing. The needs of some sectors like Biotech are getting critical.

7. How do you get organized to innovate?

Within the product groups, most of the people have a development approach. We use port folio management practices, milestones. Clear mechanisms are in place.

For incremental innovation we need rigorous methods for NPD. For radical, ad hoc flexible and fluid mechanisms are necessary.

8. How your division is selected to work on new domains?

80% of funds allocated are for corporate targets in defined areas of research. 20% is for development of new ideas for emerging solutions based on research.

9. Where new ideas do come from?

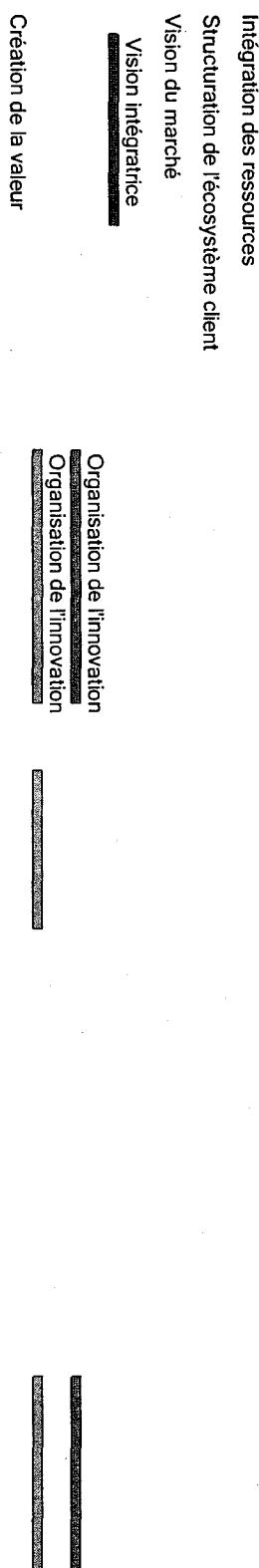
They come from customer and user needs, market research, analysts, and research.

10. What are the capabilities you must have?

It is important we have good engineering practices for system and good execution skills. It is also important to have good marketing knowledge.

11. Can you talk about challenges there are concerning human resources?

Our projects need lots of coordination. We must ensure a sound management of distributed activities because many people are involved and they come from different locations.



12. Do you use any special software engineering methodologies?

We use Visual Studio in Microsoft environment, Eclipse, java world, etc.

- Intégration des ressources
- Structuration de l'écosystème client
- Vision du marché
- Vision intégratrice
- Organisation de l'innovation
- Organisation de l'innovation
- Création de la valeur

Name: Mes entretiens\Cas Phoenix

Cas Pheonix

Alan C.G. Nutt
V.P. Marketing and Sales
Mai 2005, L.A.

1. Can you describe briefly the design context you address with your offer?

For designing MEMS and nano products, you need substantial knowledge of process technologies such as deposition, etching and lithography. The number and types of materials and processes that can be used in a typical device, combined with the fact that for every material there is a specific process involved, makes the design and validation of such products and processes a complex activity.

Per example, parametric design for MEMS and micro optics has seen different design generations if you will during the last 20 years. The main evolution concerned the increased complexity of designing such systems. Much more components and more complex configurations are considered and of course, miniaturization is driving everything.

On the software side, initially the needs were just to isolate a problem and solve it. Each generation of software and programs add levels of techniques for linking new components and configurations. Most of them were stand alone programs. Only very small group of specialists were concerned about supplying input knowledge in the design process.

Now, we need to address connectivity and inter operability issues because it is needed to bridge more rapidly design with manufacturing and more people for different locations are involved. I see that as a key differentiation element between generations of software.

2. What do you specifically sell to create value for your customers?

PhoeniX delivers a wide range of dedicated software tools to support micro- and nanotechnology designers and researchers. We provide generic tools for lay-out and process flow design, simulation tools, libraries, etc.

Most of our design software is capable of exchanging data with labs and manufacturing facilities in the process of designing, prototyping and validating a product. Per example, it is easy to exchange models with others tools like our foundry tools, in order to close the loop from design to fabrication.

We consider our solutions very capable to bridge between the R&D and design teams and the real clean room environment ensuring that way the implementation

Organisation de l'innovation
Programme d'interactions client

Vision du marché

Connaissances des domaines

Intégration des ressources

Intégration des connaissances

Création de la valeur

of an efficient validation loop.

PhoeniXsoftware facilitates communication from R&D labs to design to production. It also assists the tasks of designing and modelling the process to manufacture the product.

PhoeniXsoftware helps designers to integrate the production and design process to further reduce the overall design and production cycle, risk, time and cost.

Customers have objectives for their products and most of the time it represent a key pioneering application in a new field.

Our job is to help them find the route to market. This is why we introduced software tools that facilitate first time right design for various application areas, including integrated optics, micro mechanics and nano technologies. Our software has been designed to minimize errors and reduce design time.

3. What kind of specific support you provide to customers in order to support their design objectives?

Well, it is important to understand what they want to do. Some customers wish to explore a potential product which is at a conceptual level. For that our tools will support generic design and research with the help of our database of models. Other customers are targeting a specific niche and in these cases, they want the shorter route to market.

With each sale, we offer to customers a number training courses. Instructors are engineers with both academic and industrial expertise. Courses are divided into lectures and computer simulation work, with strong emphasis on hands-on exercises. Users interact with our staff, discuss their specific design problems, and simulate devices of interest.

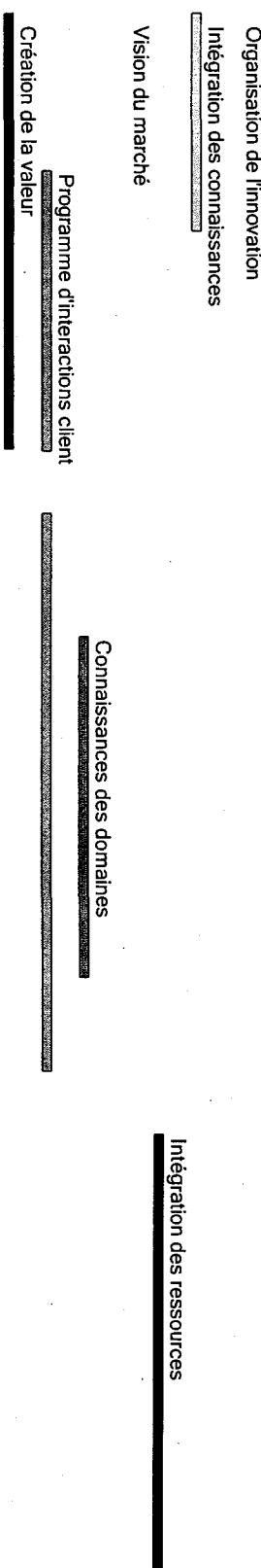
Typically, once the implementation phase is finished we offer support on a service base with licenses.

4. Can you talk about the role of lab facilities in developing MEMS and nano products?

The lab serves as a prototyping and validating platform. It serves to validate the design of a product and the process to produce it. Experimentation on devices gives data that feed design and process. These sets of data need to be shared with different team members in order to act on.

You must manage this flow of data and provide links between simulation, measurement and early manufacturing.

With our database we provide a flexible and easy-to-use software platform for micro and nanotechnology fabrication facilities. It enables our customers to close the loop from design to fabrication and back.



The platform consists of several modules, tailored to the customer's development environment.

5. Do you have any specific initiatives or programs to serve your markets?

We have a partner training and certification program for users of our technologies. The partner program is offered to companies providing solutions in extension to our products, in particular the database products and simulation software.

Selected business partners are invited to participate in this program. The training covers particularities of our software and design methodology.

The certification program validates the working methodologies of the partners to ensure consistency between developers and system reliability.

6. How do you get organize to innovate and create new solutions?

We do a lot of work by our own with ideas from customers but also exploratory work in partnerships with other groups in France and Netherlands.

We initiated in the Sixth Framework Programme research projects on photonic and we also participate in other consortiums for developing new science, methods and tools. We believe we have a strong involvement in developing science and methods.

- Organisation de l'innovation**
- Intégration des connaissances
 - Intégration des ressources
 - Vision du marché
 - Connaissances des domaines
 - Programme d'interactions client
 - Création de la valeur