

ALI  
G  
894

# Effectivité des Subventions à la Recherche et au Développement

## Évaluation circonstancielle à l'aide d'une micro-simulation

Par Yoannis Yatropoulos

Projet de recherche présenté  
à Michel Poitevin

Département de sciences économiques  
Université de Montréal

## Sommaire

Ce rapport se penche sur les divers effets potentiels des subventions à la recherche et au développement à l'aide d'un modèle évolutionniste. L'application des techniques de micro-simulation à l'étude des innovations technologiques date du travail de Nelson et Winter (1982), « *An Evolutionary Theory of Economic Change* », et cette sphère de recherche n'a cessé de prendre de l'ampleur depuis. Dans ce projet d'études, nous examinons les subventions à la R&D dans un contexte de rationalité limitée où les agents ne peuvent se faire qu'une idée vague de la relation entre leurs actions et les résultats obtenus. Le modèle permet de varier l'environnement et les circonstances dans lesquelles sont octroyées ces subventions directes et admet la possibilité de procéder à un examen attentif de leurs effets sur les firmes qui en bénéficient et sur l'évolution du marché en général. Les résultats obtenus démontrent qu'une approche à rationalité limitée associée à une structure évolutionniste peut fournir quelques indices intéressants expliquant potentiellement les divergences du succès relatif des différents programmes de soutien à la R&D.

# Table des matières

SOMMAIRE .....	II
TABLE DES MATIÈRES .....	III
LISTE.....	IV
<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2 THÉORIES ET POLITIQUES PUBLIQUES .....</b>	<b>3</b>
2.1 LE MODÈLE STRUCTURALISTE-ÉVOLUTIONNISTE .....	3
2.2 BIEN-FONDÉ DES POLITIQUES DE SOUTIEN À LA R&D .....	6
2.3 CONCEPTS DE BASE DU MODÈLE ÉVOLUTIF .....	7
<b>3 ÉTUDES MICROÉCONOMÉTRIQUES.....</b>	<b>9</b>
3.1 LE CONSORTIUM DE RECHERCHE AMÉRICAIN SEMATECH .....	9
3.2 CONSORTIUMS DE RECHERCHE JAPONAIS.....	9
3.3 SUPPORT GOUVERNEMENTAL AUX PROJETS DE R&D COMMERCIAUX NORVÉGIENS .....	10
3.4 PROBLÈMES ET DISCUSSIONS.....	11
3.4.1 <i>Variation des profits dans l'industrie</i> .....	11
3.4.2 <i>Variation des profits dans le reste de l'économie</i> .....	13
3.4.3 <i>Conclusion</i> .....	14
<b>4 DISCUSSIONS MÉTHODOLOGIQUES .....</b>	<b>16</b>
4.1 L'APPROCHE ÉVOLUTIVE .....	16
4.2 CHOIX DU MODÈLE .....	17
4.3 LABORATORY FOR SIMULATION DEVELOPMENT .....	19
<b>5 MODÈLE D'ÉVOLUTION D'UN MARCHÉ AVEC COMPÉTITIONS TECHNOLOGIQUES .....</b>	<b>21</b>
5.1 DESCRIPTION D'UN CYCLE DE LA SIMULATION .....	21
5.2 DEMANDE .....	24
5.2.1 <i>Dimension du marché</i> .....	25
5.2.2 <i>Diffusion dynamique</i> .....	26
5.2.3 <i>Remplacement</i> .....	27
5.2.4 <i>Algorithme décisionnel</i> .....	28
5.2.5 <i>Formation des préférences</i> .....	29
5.2.6 <i>Apprentissage</i> .....	31
5.3 OFFRE.....	32
5.3.1 <i>Ventes</i> .....	33
5.3.2 <i>Recherche et développement</i> .....	33
5.3.3 <i>Marketing</i> .....	35
5.3.4 <i>Entrée et sortie des producteurs</i> .....	36
5.4 MODIFICATIONS.....	37
<b>6 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>40</b>
6.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	40
6.2 SIMULATIONS .....	41
6.3 SIM 0 : SANS NOUVEAU PRODUCTEUR, SANS SUBVENTION .....	42
6.4 SIM 1 : SANS NOUVEAU PRODUCTEUR, SUBVENTIONS ILLIMITÉES.....	44
6.5 SIM 2 ET 3 : SANS NOUVEAU PRODUCTEUR, SUBVENTIONS LIMITÉES .....	47
6.6 SIM 4 : SIMULATION AVEC ENTRÉE DE NOUVEAUX PRODUCTEURS.....	52
<b>7 CONCLUSION.....</b>	<b>61</b>
BIBLIOGRAPHIE : .....	64
ANNEXE : .....	66
A.1 ORGANIGRAMME DESCRIPTIF DU MODÈLE ORIGINAL.....	66

EQUATION 1 : ÉTUDE COUTS/BENEFICES COMPLETE .....	11
FIGURE 1 : DESCRIPTION DU MODÈLE.....	22
FIGURE 2 : DIMENSIONS ÉCONOMIQUES DU MODÈLE .....	24
FIGURE 3 : DIFFUSION DYNAMIQUE DE LA DEMANDE .....	26
FIGURE 4 : STRUCTURE DU MODÈLE .....	37
FIGURE 5 : SIM 0, SOMME DU NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE GROUPE.....	43
FIGURE 6 : SIM 0, NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE PRODUCTEUR.....	43
FIGURE 7 : SIM 1, NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE PRODUCTEUR.....	45
FIGURE 8 : SIM 1, SOMME DES VENTES TOTALES SELON LE GROUPE.....	45
FIGURE 9 : SIM 1, SOMME DU NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE GROUPE.....	46
FIGURE 10 : SIM 2, SOMME DU NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE GROUPE, SUB (0-200).....	50
FIGURE 11 : SIM 3, SOMME DU NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE GROUPE, SUB (200-400).....	50
FIGURE 12 : SIM 2, CONSOMMATEURS SELON LE PREMIER CRITÈRE DE SÉLECTION, SUB (0-200).....	51
FIGURE 13 : SIM 2, NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE PRODUCTEUR, SUB (0-200).....	51
FIGURE 14 : SIM 4, NOMBRE DE PRODUCTEURS SELON LE GROUPE.....	55
FIGURE 15 : SIM 4, SOMME DES VENTES TOTALES SELON LE GROUPE.....	55
FIGURE 16 : SIM 4, SOMME DU NOMBRE D'UTILISATEURS SELON LE GROUPE.....	56
FIGURE 17 : SIM 4, NOMBRE DE PRODUCTEURS DANS L'INDUSTRIE.....	56
FIGURE 18 : SIM 4, APPRENTISSAGE MOYEN DES CONSOMMATEURS.....	57
FIGURE 19 : SIM 4, VENTES TOTALES ET VENTES CHANGEANTES.....	57
FIGURE 20 : SIM 4, INDEX INVERSE HERFINDAL DE LA R&D.....	58
FIGURE 21 : SIM 4, VALEURS TECHNOLOGIQUES MOYENNES DE L'INDUSTRIE.....	58
FIGURE 22 : SIM 4, BASE INSTALLÉE DANS LA NICHE 9.....	59
FIGURE 23 : SIM 4, VALEUR MOYENNE DE LA TECHNOLOGIE DANS LA NICHE 9.....	59
FIGURE 24 : DIFFÉRENCE D'UTILISATEURS ENTRE LES DEUX GROUPES EN FONCTION DE P.....	60
TABLEAU 1: DIMENSIONS DU MARCHÉ .....	26
TABLEAU 2 : ALGORITHME DÉCISIONNEL TTB.....	29
TABLEAU 3 : NOUVELLES VARIABLES MACROÉCONOMIQUES .....	38
TABLEAU 4 : FORMATION DE NICHES .....	48

# 1 Introduction

Les motifs théoriques justifiant l'assistance des activités de recherche des industries de hautes technologies se sont développés intensivement ces dernières années, et il y a peu de controverses entre les économistes sur la désirabilité et sur la nécessité d'établir des politiques gouvernementales visant à influencer le changement technologique. De ce fait, la plupart des pays de l'OCDE investissent des sommes considérables à même les fonds publics dans des programmes tentant de stimuler les innovations technologiques. Pourtant, en divers lieux et à divers moments, les multiples politiques en matière de technologie ont obtenu des résultats fort différents, et les causes de ces divergences sont encore méconnues. Ce rapport a pour but d'apporter quelques éclaircissements sur les multiples contradictions entourant ces politiques. Naturellement, nous ne prétendons pas pouvoir expliquer ou même discerner l'ensemble des déterminants pouvant contribuer à la réussite ou à l'échec de ces politiques. Nous nous proposons plutôt d'étudier la question sous un nouvel angle et de vous donner quelques pistes intéressantes.

Nous examinons plus spécifiquement les divers effets potentiels des subventions à la recherche et aux développements, à l'aide de la modélisation dynamique d'un marché où l'on rencontre des compétitions technologiques. Nous nous penchons particulièrement sur l'impact des subventions gouvernementales commerciales directes aux R&D sur la performance des firmes qui en bénéficient. Ainsi, nous ignorons complètement les sujets connexes comme l'impact de la recherche gouvernementale, les contrats de R&D militaires, la recherche de base dans les universités et les exemptions fiscales pour la R&D.

Le désir d'explorer l'économie comme science de la complexité<sup>1</sup> a aussi constitué une source importante de motivation pour la réalisation de ce travail. L'approche proposée permet de varier l'environnement et les circonstances dans lesquelles sont octroyées ces subventions directes et dispense la possibilité de procéder à un examen attentif de leurs effets sur l'évolution du marché. Reproduire et analyser ces configurations particulières aide à surmonter plusieurs difficultés rencontrées lors de l'étude des systèmes complexes réels.

Bien que la discussion se tienne à un niveau très général, le marché considéré n'évoque pas une abstraction extrême de la réalité, comme le ferait un monopole ou un marché à concurrence parfaite. L'intention est plutôt de considérer ici l'impact des subventions

---

<sup>1</sup> Voir W.B Arthur, S.N Durlauf et D. Lane (1997), *"The Economy as an Evolving Complex Systems II"*.

gouvernementales à la R&D sur la dynamique d'un marché de consommation de masse dans une économie contemporaine développée. La question à l'étude pose un problème méthodologique immédiat, qui est cependant résolu grâce à l'identification du marché économique comme étant un système complexe et grâce à l'utilisation de simulations informatiques comme méthode de recherche.

Nous débutons la section 2 en introduisant deux paradigmes théoriques distincts, soit la théorie néoclassique et la théorie structuraliste-évolutionniste. Bien que leurs traits déterminants diffèrent significativement, la direction de ces deux paradigmes entraîne l'obligation d'encourager un niveau plus élevé de changements technologiques. Dans la section 3 est présenté un bref résumé de trois études microéconométriques qui tentent directement d'évaluer les effets du support gouvernemental sur le changement technologique et sur le bien-être. Ces études nous permettent de souligner la variabilité du succès des différents programmes. Nous y discutons des problèmes généraux liés à l'évaluation de ces politiques et y présentons les composantes théoriques d'une analyse coûts/bénéfices complète. La section 4 introduit diverses considérations méthodologiques. Nous y exposons quelques fondements de l'approche évolutive d'une micro-simulation et y désignons plusieurs propriétés du marché nécessaires à considérer pour évaluer la question. Par la suite, nous présentons le modèle choisi, les raisons de ce choix et le programme informatique utilisé. La section 5 détaille le modèle employé et ses différentes structures. Ce modèle intègre l'offre et la demande et s'appuie sur les hypothèses de la littérature déjà existante. Bien qu'il soit de plus en plus commun de parler de complexité et de simulations microéconomiques<sup>2</sup>, la méthodologie qui s'y rattache n'est pas encore formellement définie, et il est nécessaire de décrire explicitement les méthodes utilisées. Pour ce faire, le rapport est accompagné d'un CD-ROM contenant le modèle et différents documents s'y rapportant. La section 6 expose et discute des résultats obtenus à l'aide des différentes simulations. Ceux-ci fournissent quelques indices qui pourraient éventuellement expliquer les divergences relatives du succès des différents programmes de soutien à la R&D. Finalement, la conclusion révisé les résultats obtenus, souligne le potentiel de l'approche et suggère certaines recherches futures.

---

2 Pour une brève introduction à la littérature, voir Tesfatsion (2002).

## 2 Théories et politiques publiques

Cette section s'appuie sur la première partie « *Technology Policy: Basic Concept* » du document de travail de Richard G. Lipsey et de Kenneth Carlaw (1998): « *A Structuralist Assessment of Technology Policies – Taking Schumpeter Seriously on Policy* ». Ce survol rapide nous permet d'abord de mettre en perspective les traits déterminants du modèle structuraliste-évolutionniste face au modèle néoclassique et de présenter le bien-fondé des politiques visant à encourager le changement technologique. Par la suite, nous introduisons quelques décompositions structuralistes importantes se rapportant au processus d'innovation. Plusieurs phénomènes complexes sont associés au processus d'innovation et il est primordial d'avoir une bonne compréhension de ceux-ci, afin de mieux régenter les politiques publiques ayant pour but d'accélérer le changement technologique.

### 2.1 Le modèle structuraliste-évolutionniste.

**Conception.** Les analyses des cas de réussite et d'échec sur le marché ainsi que les raisons qui justifient les politiques gouvernementales interventionnistes sont habituellement élaborées à l'aide de modèles néoclassiques comme celui formalisé par Arrow et Debreu. Dans ce type de modèle, un équilibre optimal unique existe et tout écart par rapport à ce maximum évoque une déficience du marché. Ainsi de façon plus spécifique, dans le modèle néoclassique avec équilibre général, l'hypothèse de choix rationnels des individus qui maximisent nous permet de dériver les prix soldant tous les marchés. De la même façon, en théorie des jeux, cette hypothèse de rationalité nous permet d'obtenir un ensemble de stratégies satisfaisant l'équilibre de Nash. Dans l'approche néoclassique avec systèmes dynamiques, l'état de l'économie est représenté par un ensemble de variables, et un système d'équations différentielles décrit comment celles-ci évoluent dans le temps. Ces systèmes n'établissent généralement pas de distinction explicite entre les agents et les niveaux plus agrégés de l'économie et utilisent fréquemment la notion d'*agents représentatifs*. L'émergence de nouvelles variables, de nouvelles identités ou encore de nouvelles structures y est limitée.

Pour leur part les modèles structuraliste-évolutionnistes ne contiennent habituellement pas d'équilibre unique et ne peuvent être utilisés pour déterminer scientifiquement un ensemble de politiques permettant de maximiser le bien-être. La distinction entre l'approche statique et l'approche dynamique y est beaucoup plus subtile. Les modèles sont plutôt constitués d'un ensemble de périodes successives, où chaque unité de temps ne représente qu'un cycle contribuant à l'évolution dynamique du système. Les technologies et les structures du marché

sont modélisées explicitement et forment un système complexe de nature dynamique. Le changement technologique, source de croissance, est endogène et il répond à des incitations économiques. Ainsi, les interactions de plusieurs agents dispersés et souvent hétérogènes qui agissent en parallèle déterminent l'état et l'évolution de l'économie. Divers mécanismes de concurrence et de coordination entre les agents caractérisent la nature de ces interactions qui ne sont contrôlées par aucune entité globale. Les nouveaux comportements des agents et les nouvelles technologies des firmes créent continuellement de nouvelles possibilités et de nouvelles niches sur le marché. Puisque des améliorations sont toujours possibles et qu'elles apparaissent régulièrement, l'économie est constamment engagée dans une dynamique éloignée de tout maximum ou de tout équilibre global. Les travaux de Nelson et Winter (1982) constituent l'une des sources majeures d'inspiration pour ces types de modèles.

**Maximisation.** Dans les modèles néoclassiques, on suppose généralement que tous les agents ont un comportement maximal. Des décisions maximales peuvent être prises en examinant tous les résultats possibles de l'ensemble des choix. On attribue une valeur à chacun de ces choix, pour ensuite sélectionner celui qui offre la valeur attendue la plus élevée. Les modèles néoclassiques standards comportent un équilibre unique et concurrentiel qui maximise le bien-être. Lorsque la technologie se transforme, la notion d'équilibre se convertit en une voie de croissance maximale et dynamique représentant une succession d'états stationnaires.

Pour leur part, les théories évolutives abandonnent habituellement l'hypothèse de maximisation. Puisque le concept même d'innovation consiste à faire quelque chose qui n'a jamais été réalisé, il est très souvent impossible d'énumérer l'ensemble des différentes possibilités d'un domaine de recherche, et ainsi un élément d'incertitude réel subsiste dans toute activité innovatrice. En conséquence, parfois des sommes importantes sont dépensées et ne permettent pas d'obtenir des résultats positifs, alors que dans d'autres cas des dépenses dérisoires produisent des résultats de grande valeur.

Puisque l'existence de cette incertitude empêche souvent l'association d'une probabilité à chaque alternative, l'hypothèse de maximisation rationnelle est remplacée par une hypothèse concurrente d'efforts de recherche du profit ou de rationalité limitée. Par exemple, dans le but d'obtenir une percée technologique majeure, deux entreprises concurrentes placées dans des conditions similaires pourraient décider d'explorer des possibilités technologiques différentes. À priori aucune de celles-ci ne pourrait être qualifiée d'irrationnelle, bien qu'il soit souvent clair, après coup, qu'une des firmes a démontré un meilleur jugement que l'autre. L'hypothèse d'incertitude à laquelle les firmes sont confrontées engendre une conséquence importante, soit l'absence d'un équilibre unique qui maximise le bien-être. Cette hypothèse implique plutôt des



équilibres dynamiques caractérisés par de longues périodes de stabilité qui alternent avec des changements brusques imprévus, des équilibres multiples déterminés par les accidents historiques ou encore un changement perpétuel sans équilibre.

**Technologie.** Dans les théories néoclassiques, les détails de la technologie ne sont généralement pas modélisés de façon explicite<sup>3</sup> et l'influence de la technologie est plutôt captée par la forme spécifique des fonctions de production. De ce fait, le flux de produit découlant d'un flux donné de facteurs est déterminé par la forme des fonctions de production pertinentes et la technologie n'est observable que par ses résultats. Dans ces conditions, l'hypothèse de maximisation implique que tout investissement d'une unité supplémentaire de capital aura la même valeur marginale, et ce, peu importe où cet investissement se produit. Une politique qui vise à encourager une unité supplémentaire d'investissement aura le même rendement quelle que soit la forme que prend l'investissement et l'endroit où celui-ci est réalisé.

À l'opposé des théories néoclassiques, les théories évolutives modélisent explicitement la structure complète de la technologie. La technologie générale d'une économie devient un ensemble de technologies intégrées s'emboîtant les unes dans les autres. Par exemple, un ordinateur représente la somme d'un certain nombre de sous-technologies, telles qu'une carte mère, un microprocesseur, un ensemble de logiciels, une souris, un écran, etc. Chaque technologie est constituée de différents éléments ayant des relations spécifiques entre eux et ces sous-technologies sont regroupées dans des systèmes qui coopèrent afin de produire un bien ou un service. Les théories évolutives acceptent l'évidence que le changement technologique est largement endogène et qu'il répond essentiellement à des signaux économiques provenant de la concurrence que se livrent les entreprises. Dans plusieurs industries modernes, cette concurrence technologique semble dominer la rivalité interentreprises tant à moyen qu'à long terme. Autrement dit, l'incapacité d'adopter une nouvelle technologie entraîne des conséquences potentielles beaucoup plus sérieuses que le fait de choisir un mauvais prix ou de se doter d'une capacité de production inadéquate.

**Concurrence.** Dans les modèles d'équilibre néoclassiques, le comportement rival dynamique de la compétition est remplacé par le genre de concurrence qui se profile derrière un équilibre compétitif. Ici, la compétition n'est pas un processus, mais plutôt un état final.

---

3 Pour un examen des travaux sur la croissance endogène voir, par exemple, Romer (1986 et 1990), Lucas (1988), Aghion et Howitt (1992) et Helpman (1992). Bien que les modèles présentés dans ces travaux reconnaissent que tout processus d'innovation est associé à plusieurs impondérables, leurs représentations de la technologie tendent à être trop simpliste et n'ont pas trait aux fondements microéconomiques du comportement qui suscitent un changement technologique endogène.

Pour sa part, la théorie évolutionniste est, de par sa conception générale, une théorie de sélection naturelle à caractère darwinien, et les comportements compétitifs qui y prennent place sont considérés davantage comme un processus que comme le résultat de l'équilibre final de ces comportements.

**Structure.** Les modèles néoclassiques d'équilibre général de type Arrow-Debreu ne renferment aucune modélisation explicite de la structure économique et de ses institutions, telle que l'emplacement d'une industrie ou la gestion interne des entreprises. À l'opposé, la structure externe (procédés d'utilisation, capital physique, capital humain, concentration industrielle, politique publique, etc.) qui entoure une technologie est souvent modélisée explicitement dans les modèles évolutionnistes, de sorte à pouvoir étudier son effet sur le processus de changement technologique. Ainsi, l'introduction de toute nouvelle technologie importante ou d'une amélioration radicale à une ancienne technologie suscitent des changements complexes dans l'ensemble de cette structure. La performance économique est déterminée par l'interaction entre les intrants et la structure existante. Un changement technologique requiert un changement de structure, et la nouvelle performance économique qui découle de ce changement technologique continue d'évoluer jusqu'à ce que le processus d'ajustement de la structure se stabilise.

## **2.2 Bien-fondé des politiques de soutien à la R&D**

Selon les hypothèses néoclassiques, les agents qui maximisent égalisent les dépenses marginales dans tous les secteurs des activités économiques avec leurs rendements espérés, y compris les activités de R&D. En maintenant l'ensemble des autres hypothèses habituelles, un équilibre unique maximisant le bien-être existe. Toutefois, des déviations du marché peuvent entraîner des écarts par rapport à cet équilibre. Puisque des retombées positives résultent de toutes les nouvelles connaissances technologiques et que la R&D est source d'une grande partie de ces nouvelles connaissances, le rendement social de la R&D dépasse largement son rendement privé. Les activités axées sur la création du savoir se situent sous leurs niveaux maximaux, car il est généralement impossible pour un inventeur de s'approprier exclusivement l'ensemble des avantages apportés par sa création. En réalité, les innovations confèrent habituellement des « externalités » à ceux qui n'ont pas participé à leur développement ou payé pour l'utilisation des connaissances qui en découlent. Dans de telles conditions, il peut être souhaitable d'établir des politiques publiques qui encouragent les activités liées aux innovations, permettant ainsi de rétablir un maximum et potentiellement d'accroître le bien-être.

Comme pour les économistes néoclassiques, les structuralistes acceptent l'hypothèse selon laquelle il est socialement souhaitable d'accélérer le taux de changement technologique. L'inventeur d'une nouvelle technologie ne pouvant s'approprier qu'une mince part des bénéfices sociaux engendrés par son idée, il est nécessaire et désirable de promouvoir un niveau de R&D au-delà de celui engendré par le marché libre. Cependant, comme nous l'avons déjà mentionné, lors de changements technologiques endogènes avec incertitude, il n'y a pas de répartition maximale des ressources, et, par le fait même, il ne peut y avoir un ensemble optimal de politiques publiques en ce qui a trait à l'innovation et à la R&D.

Cette conclusion importante contraint les responsables publics à établir des politiques dans ces domaines en tenant compte d'une combinaison de théories, de mesures et de jugements subjectifs. La prochaine section propose quelques décompositions structuralistes où le gouvernement pourrait potentiellement intervenir afin d'influencer le processus d'investissement en R&D, si les stimulants privés sont insuffisants à cet égard.

### **2.3 Concepts de base du modèle évolutif**

Dans le but de motiver, d'assister et de diriger les politiques publiques de R&D, le gouvernement doit posséder une bonne compréhension de l'ensemble complexe d'interrelations entre les technologies, les structures et leurs différents environnements. Voici une brève description de quelques aspects importants de ce système et de ses interrelations :

- Fréquemment, les développements permettant l'amélioration de l'efficacité d'une technologie peuvent être profitables à de nombreuses autres technologies.
- Le changement d'un élément quelconque d'une technologie affecte généralement la valeur de plusieurs éléments de la structure entourant celle-ci.
- Le changement d'un élément quelconque de la structure entourant une technologie affecte généralement la valeur et l'efficacité de plusieurs autres éléments de cette même structure.
- Le processus d'innovation est caractérisé par un flux bidirectionnel d'informations qui navigue entre les fournisseurs, les différents stages de la chaîne de production et les utilisateurs d'un bien. Par exemple, à l'usage, les consommateurs peuvent identifier plusieurs imperfections d'un nouveau produit. Par la suite, les producteurs s'approprient ces nouvelles connaissances et en profitent pour apporter les améliorations nécessaires à leur production.

- Les innovations technologiques majeures ne naissent jamais sous une forme pleinement développée. Elles apparaissent plutôt sous une forme embryogénique et ne peuvent être exploitées que pour quelques applications. Par la suite, un enchaînement d'innovations complémentaires accroissant l'efficacité et la diffusion de cette technologie originale permet de répondre à une gamme de plus en plus vaste d'applications.
- La valeur sociale d'une nouvelle technologie ne peut être déterminée, et ce, même en principe. En effet, il existe toujours un élément d'incertitude considérable qui est rattaché à toute innovation originale et à sa gamme d'applications. Celui-ci nous empêche d'évaluer la valeur sociale directe et indirecte d'une nouvelle technologie. Par exemple, quelle est la valeur sociale de l'électricité et des technologies subséquentes qu'elle a engendrées ?
- Lorsqu'il y a changement technologique, des réajustements de la structure entourant cette technologie sont habituellement nécessaires. Ainsi, une nouvelle réglementation et une adaptation des systèmes d'enseignement pour produire les compétences requises peuvent s'avérer indispensables pour faire le meilleur usage possible d'une technologie récente. À l'opposé, les politiques publiques peuvent aussi indirectement provoquer des changements technologiques en modifiant la structure ou l'environnement d'une industrie. Les efforts déployés afin d'intégrer les différentes activités de recherche universitaire, gouvernementale et privée sont des illustrations de ce phénomène.
- Les développements technologiques étant cumulatifs, il est probable que la valeur sociale du soutien à la recherche des technologies de base soit supérieure à la valeur sociale du soutien à la recherche des technologies hautement spécialisées figurant à une étape plus avancée de leur développement.
- Finalement, les bonnes politiques en général et en matière de technologie en particulier sont des politiques conçues pour fonctionner selon les différentes capacités institutionnelles des organisations qui les administrent.

En résumé, dans la théorie néoclassique, le marché échoue lorsqu'il ne parvient pas à atteindre l'équilibre maximal unique, et les politiques publiques doivent tendre à restaurer ce maximum, alors que, selon la théorie structuraliste-évolutionniste, le marché échoue lorsqu'il ne débouche pas sur un état souhaité et possible et les responsables publics doivent, à l'aide de leur jugement, favoriser cet état.

### 3 Études microéconométriques.

Étant donnée la multitude de phénomènes entourant le changement technologique et la complexité de leurs interrelations, l'évaluation des politiques technologiques s'avère assez difficile. Dans cette section, nous passons en revue quelques études microéconométriques qui tentent d'évaluer les effets de divers programmes gouvernementaux de soutien à la recherche. Ce bref survol des principales conclusions de ces études et des divers problèmes liés à l'évaluation des politiques en matière de technologie est inspiré du travail de Klette, Moen et Griliches (2000).

#### 3.1 Le consortium de recherche américain SEMATECH

Irwin et Klenow (1996) ont évalué les résultats obtenus par le consortium de recherche américain SEMATECH. Ce consortium a été fondé en 1987 afin de promouvoir le rôle du secteur manufacturier américain dans le développement des technologies de production des semi-conducteurs. Environ la moitié du budget annuel de l'association était financé par des subventions gouvernementales, soit 200 millions de dollars, et ce de 1987-1996. En utilisant des microdonnées couvrant la période de 1970-1993, Irwin et Klenow ont pu déterminer que SEMATECH a été efficace dans l'élimination des dédoublements excessifs de R&D entre les firmes. De plus, en général les firmes membres du consortium de recherche ont obtenu une croissance de leurs ventes plus rapide que les non-membres. Cette étude suggère donc que SEMATECH aura été un projet profitable en termes de coûts et de bénéfices sociaux, puisque le consortium a permis de diminuer la somme des dépenses totales consacrées à la R&D, en éliminant les dédoublements tout en préservant ou même en augmentant le rendement de la R&D. Cependant, plusieurs peuvent avoir des réticences quant à la validité du groupe de contrôle. En comparant la liste des firmes membres de SEMATECH aux firmes non-membres, il est clair cependant que les membres de l'association sont, et étaient aussi avant le début de SEMATECH, les manufacturiers dominants de l'industrie américaine des composantes électroniques.

#### 3.2 Consortiums de recherche japonais

SEMATECH a été inspiré par le succès des consortiums de recherche japonais de l'industrie des semi-conducteurs et des autres industries de hautes technologies. Ces consortiums de

recherche bénéficiaient fortement du support gouvernemental : en moyenne, environ les deux tiers des coûts de la recherche effectuée à l'intérieur d'un consortium étaient subventionnés. Branstetter et Sakakibara (1998) ont examiné la performance relative des entreprises membres dans ces industries. Leurs résultats démontrent que l'adhésion à un consortium de recherche stimule l'investissement privé et accroît aussi les efforts de recherche. De plus, il semble que la participation à un consortium de recherche tende à augmenter la demande de brevets de 5 pour cent et qu'elle stimule aussi la diffusion du savoir.

### **3.3 Support gouvernemental aux projets de R&D commerciaux norvégiens**

Klette et Møen (1999) ont étudié l'impact d'une série de programmes gouvernementaux norvégiens désignés à supporter les projets de R&D commerciaux dans les secteurs manufacturiers reliés aux technologies de l'information. Ces programmes avaient pour but de stimuler la complémentarité des activités de R&D, spécialement dans le secteur des hautes technologies.

Malgré les montants considérables du support fourni, l'analyse économétrique a révélé peu de différences significatives entre les firmes supportées et les firmes non supportées. De plus, en termes de croissance de la productivité des facteurs totaux, Klette et Møen ont conclu que les firmes subventionnées semblent même avoir obtenu des résultats significativement moins bons que les firmes non subventionnées. Il est vrai qu'il est plutôt difficile de concevoir une relation de cause à effet entre les politiques de support en recherche et développement et la mauvaise performance des firmes. Il apparaît plus plausible que le gouvernement ait tenté de sauver les firmes en difficulté lors de la restructuration de l'industrie des technologies de l'information vers la fin des années 1980. De même, l'analyse suggère que le support de R&D gouvernementaux ne semble pas avoir stimulé les dépenses de R&D privées tel que prévu.

À un niveau plus agrégé, l'étude indique que les industries ciblées par les programmes n'ont pas eu des performances anormalement supérieures au reste du secteur manufacturier norvégien. De plus, une comparaison relative des mêmes industries avec d'autres pays de l'OCDE n'avantage en rien la Norvège. En conclusion, il semble que les efforts du gouvernement norvégien pour promouvoir et accélérer le changement technologique dans les secteurs manufacturiers reliés aux technologies de l'information aient été un échec.

### 3.4 Problèmes et discussions

Bien qu'il soit socialement souhaitable de posséder des politiques en matière de technologie, l'efficacité de celles-ci dans leur application semble variable. Une étude coûts/bénéfices complète des effets du support à la recherche et au développement impliquerait une estimation de l'expression suivante :

#### Equation 1 : Étude coûts/bénéfices complète

$$w(s) = \sum_{i \in S} \Delta \pi_i(s) + \sum_{j \in N} \Delta \pi_j(s) + \sum_{l \in R} \Delta \pi_l(s) + \sum \Delta(CS) - d(s)$$

Dans cette équation,  $\Delta$  est utilisée pour représenter la variation dans chacune des différentes variables. Le premier terme et le deuxième représentent respectivement la variation du profit des firmes supportées ( $S$ ) et la variation du profit des firmes non supportées ( $N$ ). Le troisième terme capte la variation du profit des firmes dans le reste de l'économie, ( $R$ ) étant due aux retombées externes de ces subventions, comme la baisse du coût des entrants. Le quatrième terme est l'augmentation du surplus du consommateur. Finalement, le cinquième et dernier terme représente la perte associée à la mise de fonds du programme. Ainsi l'analyse complète de l'impact des subventions gouvernementales implique l'évaluation de tous les termes de cette équation, ce qui n'est pas sans présenter plusieurs difficultés.

#### 3.4.1 Variation des profits dans l'industrie

Le processus de sélection déterminant quelles entreprises se voient accorder ou refuser un support de recherche ne peut être considéré comme aléatoire. De plus, l'existence de la diffusion d'une idée originale dans l'ensemble de l'économie, autrement dit de retombés technologiques entre les firmes, ne peut être ignoré. Dans de telles conditions, la construction d'un groupe de contrôle valide pour évaluer la variation des deux premiers termes de notre équation constitue un défi important.

**Biais de sélection.** Les résultats présentés sous-tendent l'hypothèse que les subventions à la recherche et au développement sont, dans la majorité des cas, allouées aléatoirement entre les firmes et les projets. Toutefois, il est irréaliste, ou du moins suspect, d'assumer que le

processus de sélection du gouvernement est essentiellement aléatoire. Cela peut entraîner un biais significatif dans l'estimation des paramètres d'intérêts. Les études de Irwin et Klenow (1996) et de Klette et Møen (1999) utilisent les résultats obtenus par les firmes non subventionnées pour estimer ce qu'auraient expérimenté les firmes subventionnées, advenant le cas où elles n'auraient pu profiter de ce support gouvernemental. Pour leur part, dans leur étude sur le Japon, Branstetter et Sakakibara (1998) utilisent leurs modèles économétriques pour générer des résultats semblables. Dans les deux cas, la différence entre la performance des firmes supportées et des firmes non supportées est utilisée comme estimation brute de l'impact des politiques de soutien à la R&D. Cependant, il est fort probable que la performance des firmes n'ayant pas recours aux subventions puisse différer systématiquement de ce que les firmes subventionnées auraient expérimenté en l'absence du support gouvernemental dont elles bénéficiaient.

À titre d'exemple, dans leur étude sur la Norvège, Klette et Møen (1999) soulignent que la piètre performance des firmes supportées peut être associée au fait que le gouvernement a tenté d'épauler des firmes de grandes tailles qui étaient confrontées à des problèmes sévères lors de la restructuration de l'industrie IT à la fin des années 1980. Il existait donc une relation positive entre la probabilité de recevoir un soutien à la R&D et la perspective d'obtenir une croissance plus lente que la moyenne de l'industrie. La conséquence évidente en est une sous-estimation possible des bénéfices engendrés par les programmes de soutien gouvernementaux. Évidemment, il est également facile d'imaginer un biais de sélection en sens inverse. Par exemple, si les firmes qui font des demandes aux divers programmes de soutien aux développements ou les firmes choisies par ces programmes sont celles qui détiennent les projets de recherche les plus prometteurs, il y aura une surestimation de l'impact des subventions gouvernementales à la R&D.

Klette, Møen et Griliches (2000) suggèrent qu'il serait possible d'éliminer, ou du moins de réduire, ce biais de sélection en fusionnant les modèles de performance relative décrits plus haut avec un modèle structurel déterminant comment le gouvernement attribue ses subventions à la recherche et au développement. Cette approche ambitieuse permettrait également d'évaluer l'aptitude des agences gouvernementales à sélectionner les projets de R&D ayant un rendement économique élevé.

**Diffusion technologique.** Les problèmes de sélection ne constituent pas les seuls obstacles à l'utilisation des firmes non subventionnées pour évaluer quelle aurait été la performance des firmes subventionnées. En effet, cela implique qu'il y a absence d'une diffusion technologique ou d'un débordement des retombées de la R&D passant des firmes subventionnées à celles qui ne le sont pas. Cette hypothèse est très forte et difficilement justifiable. La performance des



firmes non supportées ne peut être considérée comme indépendante des subventions données aux firmes supportées par les programmes gouvernementaux.

La conséquence immédiate en est que les retombées de ces programmes de soutien à la R&D seront sous-estimées si les firmes non supportées ont tendance à bénéficier indirectement de ces programmes, ou, à l'opposé, seront surestimées si ces dernières perdent relativement de la compétitivité face aux firmes subventionnées. Par exemple, si une étude conclut qu'il y a peu de différence entre la performance des firmes supportées et celle des firmes non supportées, c'est peut être à cause que le programme de soutien à la R&D est inefficace et qu'il génère peu d'innovations, ou encore qu'il a été très efficace pour la création de nouvelles innovations qui ont largement profité à toutes les firmes de l'industrie, y compris à celles ne bénéficiant pas du support à la recherche et au développement.

Pour bien évaluer l'efficacité des programmes de soutien à la R&D, il est donc nécessaire d'estimer l'importance empirique des phénomènes de diffusion technologique. La plupart des études économétriques tentent d'évaluer ses retombés indirectes de la R&D en incluant un « bassin de connaissances extérieures » dans la fonction de production d'une firme ou d'une industrie. Ce bassin de R&D est représenté par une somme pondérée de la R&D effectuée ailleurs dans l'industrie ou dans l'économie, et les coefficients de pondération utilisés représentent idéalement la pertinence de ces connaissances extérieures pour la firme ou l'industrie qui les utilise. Ces coefficients de pondération sont généralement considérés comme une mesure de la proximité technologique entre les firmes. Selon une revue de la documentation de Mohnen (1996), ces coefficients peuvent, par exemple, être construits à partir des catégories de produits, de la classification des brevets ou encore des qualifications du personnel effectuant la R&D. Dans plusieurs études, ces mesures sont également ajustées par les distances géographiques.

#### **3.4.2 Variation des profits dans le reste de l'économie**

Les firmes innovent, dans le but d'accroître leur profit. Ainsi, les entreprises qui offrent des produits de qualité égale à moindres coûts ou encore des produits de qualité supérieure à des prix égaux peuvent généralement augmenter leur profit. Toutefois, les firmes innovatrices ne peuvent s'approprier la totalité des bénéfices découlant d'une innovation, et une partie de ces bénéfices est transmise à leurs clients ou à leurs fournisseurs. Cela étant dit, une étude coûts/bénéfices complète des effets du support à la recherche et au développement implique plus que l'évaluation des bénéfices reçus par les firmes présentes dans l'industrie cible. Il est

donc nécessaire de regarder au-delà de l'impact direct de ces subventions et de considérer les changements induits dans le reste de l'économie.

D'abord, les bénéfices reçus par les firmes se situant en aval ou en amont d'une industrie profitant d'un support à la recherche et au développement, soit le troisième terme de notre équation, peuvent potentiellement être étudiés en utilisant les flux entrants et sortants des biens intermédiaires. Une fois encore, cela comporte plusieurs difficultés. Il est très difficile de dissocier les retombées économiques associées à une diffusion des connaissances des retombées économiques découlant d'une re-distribution de la rente. Par exemple, il arrive fréquemment qu'une firme échange des informations techniques avec ses fournisseurs ou ses clients. Ainsi, une mesure basée sur les flux intermédiaires peut également capter des retombées associées à la diffusion des connaissances. De plus, les données portant sur les flux des entrants et des sortants au niveau des firmes sont très rares.

Le quatrième terme de notre équation, soit l'augmentation du surplus du consommateur, est également très difficile à évaluer. Sous des conditions de concurrence normale, une firme donnée offrant un produit innovateur ne sera pas en mesure de demander une hausse de prix égale à celle d'utilité reçue par l'utilisateur final de ce nouveau produit. Par exemple, si une firme offre un nouvel ordinateur deux fois plus puissant que les modèles disponibles précédemment, il est fort probable qu'elle sera dans l'impossibilité de demander un prix deux fois plus élevé. Par conséquent, l'acheteur du nouvel ordinateur obtient une plus grande valeur en termes du ratio qualité/prix avec le nouveau produit qu'avec les produits précédents.

Le surplus d'utilité reçu par le consommateur final de ce produit peut être estimé en utilisant des techniques avec prix hédoniques. Cependant, ces techniques sont inefficaces, lorsque des changements majeurs sont apportés au produit, ou lorsque le produit comporte de nouvelles caractéristiques qualitatives. Dans leur livre, Bresnahan et Cordon (1997) souligne que l'accroissement du surplus du consommateur associé à l'introduction de nouveaux produits est significative et que les indexes des prix généralement utilisés sous-estiment les gains de bien-être du consommateur. De plus, encore une fois, l'estimation correcte de l'accroissement de l'utilité du consommateur requiert des données qui sont souvent difficiles à obtenir.

### **3.4.3 Conclusion**

Les études portant sur la R&D se sont multipliées au cours de la dernière décennie et les évidences empiriques suggèrent qu'il existe bien un débordement des retombées de la R&D passant des firmes subventionnées à celles qui ne le sont pas. Dans ce contexte, l'évaluation

des rendements économiques des subventions à la R&D en présence d'un phénomène de diffusion technologique doit aller au-delà de l'impact direct de ces subventions. Cette estimation doit non seulement considérer les changements de performance chez les firmes qui bénéficient de ce soutien, mais aussi chez leurs concurrents, leurs fournisseurs, leurs clients et, finalement, le changement d'utilité reçu par les consommateurs. Il est encourageant de voir que plusieurs de ces éléments ont déjà fait l'objet de recherches. Cependant, il reste encore beaucoup à faire pour interrelier l'ensemble de ces éléments.

## 4 Discussions méthodologiques

Pour la plupart des questions économiques, l'utilisation du modèle générique néo-classique et l'analyse du risque semblent être appropriées. Cependant, dans les situations dynamiques où le changement technologique endogène joue un rôle prépondérant, les théories évolutionnistes peuvent constituer des outils d'analyse plus indiqués. Ainsi, dans ce travail, nous vous proposons un examen de l'impact des politiques de soutien à la recherche-développement visant à influencer sur le changement technologique, à l'aide d'une microsimulation dite évolutive.

Le travail de Nelson et Winter (1982), « *An Evolutionary Theory of Economic Change* », constitue la base de l'approche évolutive de l'économie. Cette tradition a réalisé d'importants progrès en combinant les idées de Schumpeter<sup>4</sup> invoquant l'innovation comme étant un phénomène de destruction créative et les idées de Simon traitant de rationalité bornée. Il est à noter que même si sous divers aspects le modèle évolutionniste diffère significativement du modèle néo-classique, il n'y est pas nécessairement opposé. Cette approche ne se veut donc pas une approche alternative, mais plutôt une approche complémentaire permettant de mieux analyser les situations où le modèle d'équilibre général ne convient pas.

Dans cette section, nous vous présentons d'abord un bref résumé de l'approche évolutive de l'économie. Par la suite, nous introduirons le modèle et les programmes qui seront utilisés dans la suite de ce travail.

### 4.1 L'approche évolutive

En référence à la métaphore biologique darwinienne, le développement des systèmes économiques basés sur une approche évolutive a toujours constitué une alternative séduisante pour les économistes. Sans prétendre à l'exhaustivité, la pensée se rattachant à l'approche évolutive peut être généralement caractérisée par les trois concepts suivants :

- Dynamique ;
- Mécanismes de création et de sélection des variétés ;
- Mécanismes de transmission des traits caractéristiques.

---

<sup>4</sup> Pour une discussion sur les contributions post-Schumpeteriennes à l'économie évolutive voir Anderson (1994) et Anderson, Jensen, Madsen, et Jorgensen (1996).

De ce fait, l'étude des différentes propriétés dynamiques des systèmes et l'identification des divers types de développement qui en émergent sont au cœur même de l'approche évolutive. La composition de la population est continuellement modifiée par l'introduction de nouvelles variétés d'individus, ce qui alimente la dynamique du système. Cette variété étant assujettie à un processus de sélection, les individus différenciés possèdent des chances de survie différentes. Les survivants ont la capacité de transmettre une partie de leurs traits distincts aux personnes à venir, ce qui stimule à son tour l'habileté de ces derniers à demeurer vivants.

La représentation de l'évolution d'un marché technologique à l'aide de ces propriétés dynamiques constitue une application économique immédiate. Les individus de la population représentée par les firmes d'une industrie sont engagés dans une compétition technologique créant diverses variétés d'un même bien qui sont sélectionnées par les consommateurs lors de leurs achats. Les firmes produisant un bien adapté aux exigences des consommateurs possèdent une probabilité de survie supérieure aux autres. Il semble assez évident que le système décrit ci-dessus n'est pas constitué d'une seule population, mais plutôt de deux populations qui coévoluent dans le temps. Les firmes introduisent des biens à caractère innovateur répondant le mieux possible aux besoins des divers consommateurs, qui choisissent en fonction de leurs préférences distinctes. Ainsi, les diverses préférences des consommateurs influencent le développement des caractéristiques d'un bien, qui à leur tour forment les fondements sur lesquelles ces mêmes préférences se bâtissent.

La considération d'un système coévolutif de cette envergure implique la construction d'un système dynamique très complexe. En réalité, l'introduction du temps dans un tel modèle rend sa résolution très difficile, pour ne pas dire impossible. Heureusement, les possibilités offertes par les simulations informatiques nous permettent d'outrepasser ces limites. Ainsi, dans les microsimulations évolutives, le temps joue un rôle majeur et il existe une prépondérance de la dynamique d'un système sur l'état de celui-ci. Si une modélisation doit simuler des événements réels, elle doit aussi imiter leur synchronisation. En conséquence, la construction d'une représentation informatique nous oblige à organiser la totalité des phénomènes qui y sont inclus en séquences temporelles irréversibles. Une synchronisation différente des divers événements qui forment une simulation produit des résultats différents, et ce, même si la structure des éléments du modèle reste inchangée.

#### **4.2 Choix du modèle**

Idéalement, une microsimulation qui permettrait de bien comprendre les divers effets engendrés par les subventions en recherche et développement constituerait une modélisation

de l'ensemble complexe d'interrelations entre les technologies, les structures et leurs environnements. De plus, puisque le support gouvernemental à la R&D doit favoriser l'émergence des activités industrielles des hautes technologies naissantes et qu'il doit contribuer à leur plein essor, la modélisation devrait être en mesure de doubler le plus fidèlement possible les principales régularités de l'évolution d'un marché avec produits différenciés et innovations technologiques observées dans la littérature du cycle du produit<sup>5</sup>.

Après plusieurs recherches et l'expérimentation de divers modèles déjà présentés dans la littérature, notre choix s'est arrêté sur un modèle représentant l'évolution d'un marché comme la coévolution entre les préférences des consommateurs et l'innovation technologique des firmes développé par Marco Valente (2000). Plusieurs raisons justifient le choix de ce modèle coévolutif auquel nous apportons quelques modifications pour permettre l'étude de notre sujet.

Tout d'abord, le modèle se veut déjà une très bonne représentation des diverses régularités observées dans l'évolution d'un marché avec des produits hétérogènes et des innovations technologiques. Bien que le modèle soit simplifié sous plusieurs aspects, il peut reproduire et suggérer des explications de plusieurs phénomènes rapportés dans la littérature sur le cycle du produit (*PLC*), et ce, tant au niveau de l'industrie qu'à celui de la firme, permettant ainsi une discussion détaillée de leurs causes et de leurs relations avec le système général.

Un autre aspect intéressant de ce modèle est l'intégration explicite de la demande et de l'offre du marché, alors que la plupart des modèles de la littérature offrent une description très sophistiquée des producteurs au détriment du rôle des consommateurs.

Le modèle donne une représentation explicite des efforts consacrés à la R&D par les producteurs. Les décisions d'investissements des firmes sont prises de façon à maximiser la performance des produits et celle-ci est sujette aux contraintes technologiques inhérentes à l'interdépendance des technologies et à l'incertitude de sa structure. Puisque le modèle respecte déjà la complexité des innovations technologiques, tout en permettant une analyse des différentes composantes dynamiques de la recherche, l'implantation d'un algorithme représentant les subventions gouvernementales à la R&D en est grandement facilitée.

---

5 Pour une présentation des principales régularités observées dans un marché avec produit hétérogène et innovation voir Klepper, S., "Entry, Exit, Growth and Innovation over the Product Life Cycle", *American Economic Review*, vol.86, n 562-583, 1996.

Finalement, des raisons plus pratiques ont orienté notre choix vers ce modèle. D'abord, le code source du modèle et une large documentation s'y rapportant sont publiquement disponibles sur Internet. De plus, ce modèle s'exécute à l'aide d'un programme minimisant plusieurs difficultés méthodologiques propres à la construction et à l'utilisation des simulations. Ce programme permet de construire, de modifier, de décrire et d'utiliser facilement une simulation complexe, et ce, même pour un public aucunement formé aux sciences informatiques. La prochaine section introduit brièvement ce programme ainsi que ses principales composantes.

### **4.3 Laboratory for simulation development**

LSD est un programme permettant aux chercheurs de développer aisément des modèles de simulations. En fait, les utilisateurs de LSD définissent des objets (Object oriented programming) et leurs contenus en utilisant une interface graphique simple et intuitive. Chaque objet est simplement défini selon l'intérêt du modèle et les fonctions qu'il contient définissent le comportement de celui-ci. Chaque entité du modèle peut être indépendante, composée uniquement d'un ensemble de variables, ou encore être comprise dans une entité supérieure plus vaste. Par exemple, une firme peut être définie comme étant une des composantes d'un objet marché et être formée des départements production et R&D. Évidemment, un choix possible est la création ou la destruction de nouvelles entités. Ceci permet de représenter aisément des organisations complexes d'objets évoluant dans le temps.

Lorsque les entités ont été définies, le modelleur spécifie le contenu de leurs variables au moyen de pièces de code en C++. LSD ramasse automatiquement les informations sur la structure du modèle, son contenu et les codes exprimant les équations de chaque variable du modèle au moment de la simulation. Exécuter une simulation consiste à mettre à jour la valeur des variables dans le modèle, à l'aide des fonctions qui leur sont assignées. Le cycle d'une simulation représente la plus petite unité de temps disponible. Chacune des équations peut être calculée à différentes périodes de cette unité de base. Par exemple, certaines variables sont calculées à chaque 10 ou 20 cycles. La fréquence de ces calculs peut être endogène.

LSD entoure le modèle de tout un ensemble de facilités permettant au modelleur ou aux autres utilisateurs d'éditer, d'exécuter et d'analyser le modèle. De plus, il fournit différentes interfaces graphiques permettant d'explorer visuellement les diverses dimensions du modèle, comme :

- La structure du modèle (le contenu et le contenant des entités) ;
- La structure des entités (les variables et les paramètres) ;
- Le contenu informatique des variables permettant leur exécution.

LSD est disponible gratuitement sous la licence publique GNU pour Win32 et n'importe quelle plate-forme supportant un compilateur GNU C++. Techniquement, il nécessite les bibliothèques fournies par TCL 8.0 et Tk 4.2, également disponibles gratuitement. Pour construire ou modifier les équations d'un modèle, il est nécessaire d'avoir un compilateur et de reconstruire tout le système. LSD a été compilé avec le compilateur GNU sous Unix (Linux et Sun Solaris) et avec Borland C++ 5.02 sous Windows 95. LSD peut également être compilé sous un pseudo environnement Unix sous Windows 32 bits, à l'aide de GNUWIN, disponible sous licence publique GNU. La version finale d'un modèle réalisé à l'aide de LSD et d'un compilateur n'est rien d'autre qu'un pur programme en C++.



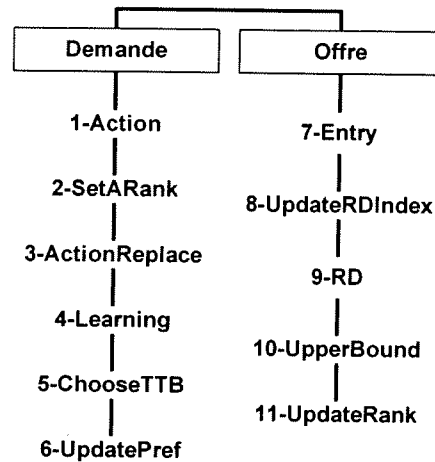
## 5 Modèle d'évolution d'un marché avec compétitions technologiques

Dans cette section, nous introduisons les principales dimensions économiques des composantes du modèle choisies telles qu'elles sont présentées dans « *Evolutionary Economics and Computer Simulation , A Model for the Evolution of Markets , Volume I* », par Marco Valente (2000). Comme nous l'avons déjà mentionné, le marché représenté dans cette micro-simulation est celui d'un produit original différencié et sujet à diverses innovations. L'évolution de celui-ci est provoquée par les différentes interactions entre les préférences des consommateurs, la compétition des producteurs et les innovations technologiques. Le modèle choisi étant assez complexe, avant de fournir une description détaillée de tous ses éléments ainsi que de leur dynamisme, nous proposons un survol des différents processus qui gouvernent l'évolution du modèle à chaque cycle. Cette vision statique d'une période  $t$  du système nous permettra de mieux comprendre l'interaction dynamique des principales composantes de l'offre et de la demande qui suivront. Finalement, la dernière sous-section présentera les diverses modifications du modèle nécessaires à l'étude des divers effets potentiels des subventions à la recherche et aux développements sur un marché avec compétitions technologiques.

### 5.1 Description d'un cycle de la simulation

À chaque cycle, les consommateurs prennent leurs décisions d'achat et développent leurs préférences, alors que, simultanément, les producteurs tentent d'améliorer la performance de leurs produits. La simulation consiste à mettre à jour l'ensemble des variables incluses dans les divers processus du modèle à chaque période. Dans ce modèle, comme dans la majorité des modèles évolutifs, chaque période hérite de l'état terminal de l'industrie de la période précédente. Ainsi, au début de chaque cycle, l'industrie est caractérisée par le nombre de producteurs, le nombre de consommateurs et le niveau technologique qui prévalait à la fin du cycle précédent. Naturellement, l'état des variables internes définissant le comportement de chacune de ces entités est également déterminé par l'état final du cycle précédent. Lorsque l'état présent de l'industrie est connu, les diverses fonctions de l'algorithme informatique du modèle sont en mesure de générer l'état de l'industrie du cycle suivant. La figure 1 illustre les différentes fonctions qui contrôlent et gouvernent l'évolution du modèle à chaque cycle.

Figure 1 : Description du modèle

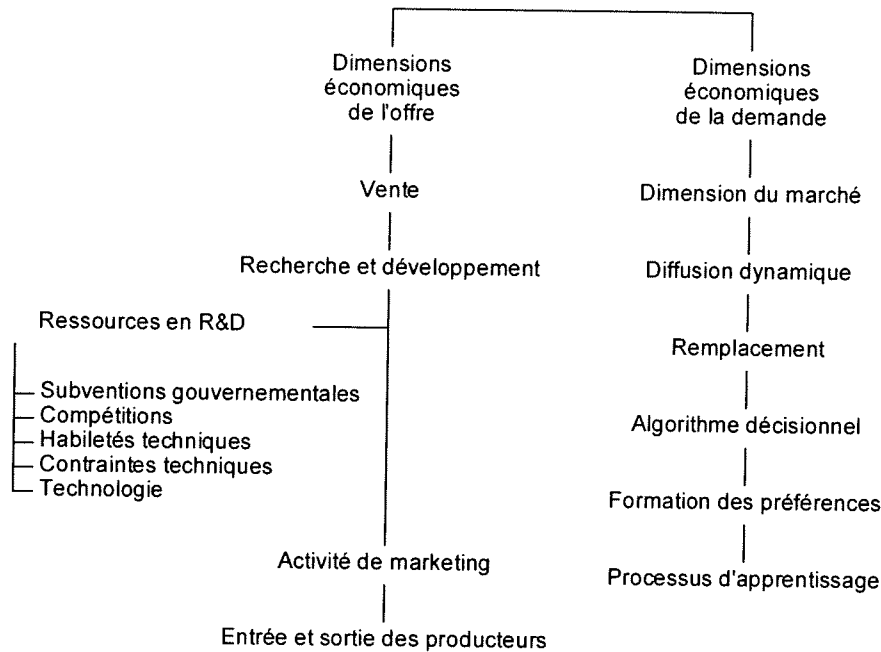


1. À chaque cycle, le modèle considère l'introduction de nouveaux consommateurs sur le marché. Pour ce faire, la variable *Action* explore chaque acheteur existant et vérifie si l'un d'eux est prêt à introduire un nouveau confrère sur le marché.
2. Les nouveaux consommateurs modélisent leurs préférences en fonction de l'état du système au moment de leur entrée à l'aide de la variable *SetARank* et peuvent ainsi effectuer leur premier achat.
3. La variable *ActionReplace* explore chacun des consommateurs déjà existants et détermine lesquels sont prêts à remplacer leur produit.
4. L'habileté d'un acheteur à évaluer correctement la valeur des différentes caractéristiques de chaque produit est fonction de son expérience. Pour chaque acheteur, ce degré de distorsion ou « d'erreur de lecture » lors de l'appréciation de la valeur des différents aspects d'un produit est représenté par la valeur de la variable *Learning*.
5. Lorsqu'un consommateur fait un achat, il active la variable *ChooseTTB*. Celle-ci lit les préférences de l'acheteur et évalue la valeur des différentes caractéristiques de chaque produit. Le produit est choisi en fonction d'un algorithme de choix à rationalité bornée de type *Take The Best*.
6. Lors de cet achat, la variable *UpdatePref* modifie les préférences de l'acheteur en fonction de la stratégie du producteur choisi.
7. À chaque cycle, il y a une probabilité  $P$  qu'un nouveau producteur entre sur le marché et offre un nouveau produit.

8. Les producteurs développent et apportent des améliorations technologiques à leurs produits en suivant une stratégie de R&D endogène. Pour chaque producteur, la variable *UpdateRDIndex* met à jour l'index utilisé pour allouer les ressources de R&D aux différentes caractéristiques du produit. Pour ce faire, elle utilise des statistiques sur les consommateurs passés.
9. La variable *RD* distribue les ressources de R&D entre les différentes caractéristiques du produit et calcule les nouveaux niveaux technologiques après recherche. Le niveau de ressources disponibles dépend du nombre d'agents dans le marché qui utilisent présentement le produit et de la subvention disponible. Les résultats obtenus par cette stratégie de R&D sont fonction de l'expérience cumulée de la recherche des producteurs et des contraintes intertechnologiques exogènes.
10. La variable *UpperBound* calcule le niveau technologique maximum pouvant être atteint selon les contraintes posées par les niveaux des autres caractéristiques du produit pour chaque caractéristique du produit de chaque producteur.
11. Chaque producteur modifie sa stratégie de marketing selon l'état de la concurrence sur le marché et son niveau de technologie relatif. Pour ce faire, la variable *UpdateRank* met à jour l'index utilisé pour influencer les préférences des acheteurs en se servant des statistiques sur les consommateurs passés.

La figure 2 illustre les principales composantes de l'offre et de la demande du modèle. Ces composantes constituent une représentation des phénomènes communs qui sont à l'origine de l'évolution de ce type de marché. Le modèle contient naturellement beaucoup d'autres variables « dérivées » qui amassent de l'information sur l'état de la dynamique du système, comme les parts du marché, les ventes, le nombre de consommateurs, etc. Un rapport détaillé portant sur la multitude des interrelations entre les variables et les paramètres ainsi que leurs codes est disponible sur le CD-ROM inclus.

**Figure 2 : Dimensions économiques du modèle**



## 5.2 Demande

La demande pour ce produit est tout d'abord représentée par un acheteur singulier qui, peu à peu, introduit d'autres consommateurs dans ce marché, qui à leur tour introduisent de nouveaux consommateurs et ainsi de suite. La croissance de la demande est donc caractérisée par une dynamique reproduisant une diffusion de type épidémiologique. Suite à leur entrée sur le marché et à leur premier achat, les consommateurs achètent de nouveau un produit de temps à autre. Lors du processus d'achat, les acheteurs utilisent un algorithme appelé *Take-The-Best*, qui utilise une forme de préférences lexicographiques. En pratique, les préférences des acheteurs sont représentées par ordre d'importance des différentes caractéristiques du produit. Les acheteurs choisissent la première caractéristique et examinent ensuite la valeur de celle-ci pour tous les produits disponibles. Si la valeur la plus élevée est atteinte par un seul produit, celui-ci est choisi, et ce, peu importe les autres caractéristiques de ce produit. Si plus d'un produit ont la même valeur pour la première caractéristique, la deuxième caractéristique dans les préférences de l'acheteur est utilisée pour choisir entre les produits présélectionnés. Le processus de sélection se poursuit jusqu'à ce qu'un seul produit soit choisi. Il est à noter que chaque acheteur possède ses préférences spécifiques et que celles-ci évoluent dans le temps.

### 5.2.1 Dimension du marché

La demande constitue un réseau d'acheteurs actuels et potentiels qui font face à l'offre d'un produit novateur. Suivant un modèle épidémiologique, chaque consommateur entre sur le marché et procède à son premier achat. Au premier cycle de la simulation ( $t=1$ ), il n'y a qu'un seul consommateur sur le marché. Ce dernier effectue un achat et devient ainsi le premier utilisateur du produit novateur. Par la suite, ce client initial sensibilise d'autres consommateurs à ce produit, qui à leur tour répandront la « nouvelle » de l'existence d'un nouveau produit à l'ensemble des acheteurs potentiels. Cet algorithme mimant le processus de diffusion de la demande est plutôt rigide, mais il représente assez bien les observations d'un marché réel. Le marché considéré comporte un nombre d'acheteurs potentiels fini, et, par conséquent, plus il y a d'utilisateurs, moins il y a de clients potentiels pouvant être initiés au produit.

En pratique, le nombre de consommateurs total contenu dans le modèle est déterminé par les paramètres *NumContagion* et *RadioRéduction*. Le paramètre *NumContagion* représente le nombre d'agents qui, suite à l'introduction du produit par le premier utilisateur, achètent le produit pour la première fois. À leur tour, ces nouveaux utilisateurs sensibilisent un nouveau groupe d'acheteurs, dont le nombre est déterminé ainsi :

$$\text{NumContagion}_{(t=1)} = \text{NumContagion}_{(t=0)} - \text{RadioRéduction}$$

Suivant ce processus, l'entrée de nouveaux acheteurs se poursuit jusqu'à ce que la valeur de *NumContagion* soit égale à zéro. Le tableau 1 donne un exemple de ce type d'essor de la demande avec  $\text{NumContagion}_{(t=0)} = 6$  et  $\text{RadioReduction} = 1$ . L'acheteur premier contacte six nouveaux acheteurs, qui à leur tour en contactent chacun cinq et ainsi de suite. À la suite du développement complet de ce processus, le nombre de consommateurs présents sur le marché est égal à 1957.

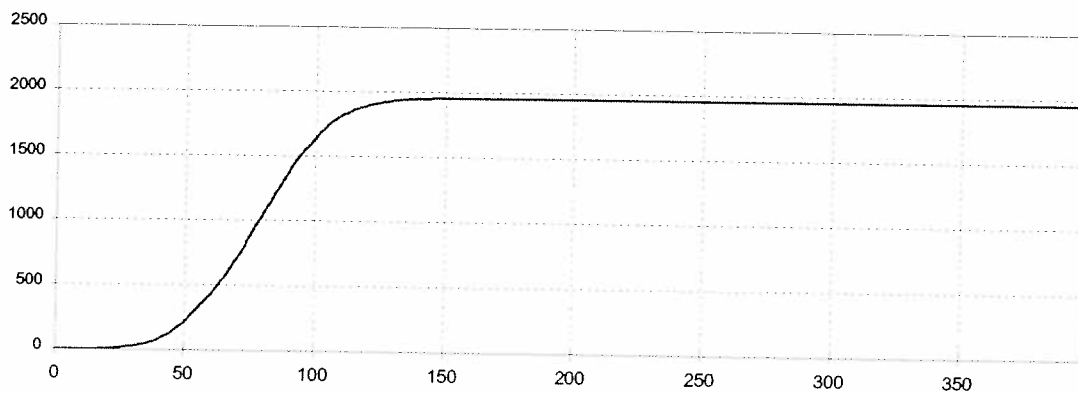
**Tableau 1: Dimensions du marché**

Nombre de consommateurs :	Nombre de contacts :	Nombre de nouveaux consommateurs :
-	-	1
1	6	6
6	5	30
30	4	120
120	3	360
360	2	720
720	1	720
Total		1957

### 5.2.2 Diffusion dynamique

La croissance de la demande pour un nouveau produit ne se fait pas instantanément ; c'est pourquoi le mécanisme de diffusion décrit ci-dessus est « dilué » dans le temps. Ainsi, si un utilisateur présent amène de nouveaux acheteurs potentiels, ces derniers entrent progressivement sur le marché. Les intervalles de temps aléatoires séparant leur entrée distinctive suivent une distribution uniforme de 1 à *TimeActive*. La variation du paramètre *TimeActive* permet donc d'ajuster la promptitude de la saturation du marché. Dans tous les cas, la forme graphique temporelle résultant de ce genre de diffusion est semblable à celle reproduite dans la figure ci-dessous.

**Figure 3 : Diffusion dynamique de la demande**



Cette figure en forme de « s » est généralement observée et appuyée par la littérature sur la consommation considérant le comportement d'achat comme une activité sociale.<sup>6</sup> De ce fait, la rencontre des acheteurs potentiels avec les utilisateurs présents compose le principal catalyseur de la diffusion d'un produit. Par la suite, les efforts de marketing et les autres moyens de communication peuvent être représentés en variant le nombre initial d'acheteurs et le nombre de contacts possibles. De plus, des aspects plus sophistiqués du comportement des consommateurs, comme l'incompatibilité entre un nouveau produit et une catégorie de produits déjà existants, peuvent être représentés par une tendance au ralentissement du processus de diffusion, et ce, toujours sans changer la structure de base du modèle. Les hypothèses d'utilisation du produit sont très simples et permettent la généralisation du modèle à plusieurs catégories de produits.

### **5.2.3 Remplacement**

Suite à une certaine période d'utilisation, les utilisateurs doivent remplacer leurs produits. Ce comportement peut s'interpréter comme l'existence d'une durée de vie ou d'utilisation limitée du produit ou encore comme l'obligation d'acquérir une nouvelle version du produit de temps à autre. Cette supposition nous contraint à définir d'une façon distinctive les concepts décrivant les utilisateurs d'un produit vendu précédemment et les acheteurs présents d'un produit.

Cette différence entre le stock de la base installée du produit et le flux des ventes de ce produit n'est généralement pas considérée. En effet, dans la littérature on suppose généralement la vente d'un bien périssable, ce qui a pour effet de confondre la base installée d'utilisateurs de ce bien et son flux de ventes. Cependant, dans une approche dynamique de l'offre et la demande d'un marché, il est nécessaire de distinguer clairement ces deux concepts, puisque le stock de la demande (utilisateurs présents) est observable par les consommateurs, alors que le flux de la demande (ventes actuelles) ne sera observable que dans le futur.

Cette distinction permet de faciliter la modélisation d'un aspect fondamental des marchés ; lors des phases initiales de l'introduction d'un produit, la demande se compose essentiellement d'agents qui achètent pour la première fois, tandis que lors des phases subséquentes, elle se compose surtout d'acheteurs expérimentés. Dans le deuxième cas, les acheteurs sont considérés comme expérimentés, soit parce qu'ils procèdent à des achats dans le but de

---

<sup>6</sup> Cowan, R., Cowan, W. et Swann, P., (1997).

remplacer leurs produits, ou parce qu'ils peuvent obtenir facilement de l'information sur le produit, et ce, même s'ils sont de nouveaux acheteurs. Le paramètre *TimeRepl* délimite la durée de vie d'un produit. Chaque utilisateur doit effectuer un nouvel achat suite à un nombre de périodes aléatoires tiré d'une fonction uniforme dans l'intervalle (*TimeRepl*,  $2 * \text{TimeRepl}$ ).

#### 5.2.4 Algorithme décisionnel

Le rôle principal des entités représentant les acheteurs est de sélectionner le produit à acheter parmi un ensemble de produits différenciés. Pour ce faire, elles utilisent un algorithme dérivé de la proposition de Gigerenzer (1996) représentant le comportement d'un agent décideur avec rationalité limitée. La stratégie sous-jacente à cette proposition est connue sous le nom de TTB ou *Take-The-Best*. Cet algorithme est très efficace et il obtient fréquemment un taux de succès égal ou supérieur à plusieurs algorithmes décisionnels plus sophistiqués. De plus, il est très parcimonieux dans l'utilisation de l'information, se limitant seulement à explorer l'information susceptible d'apporter une décision plutôt que toute l'information disponible.

La stratégie TTB se fonde sur l'utilisation d'un classement lexicographique ou d'une hiérarchisation des différentes caractéristiques d'un produit selon leurs pertinences pour un acheteur. Ainsi, un agent examine l'ensemble des produits qui s'offrent à lui et utilise le trait caractéristique d'un produit qui lui semble primordial pour discerner entre les alternatives disponibles. Les produits dont la valeur de cette caractéristique n'est pas maximale sont éliminés de l'ensemble des alternatives. Si plus d'un produit obtiennent le même résultat durant l'évaluation de ce trait caractéristique primordial, la deuxième caractéristique en importance est employée pour estimer la valeur de chaque produit.

Ce processus de sélection est utilisé par les agents jusqu'à ce qu'un seul produit subsiste. Si plusieurs produits subsistent comme alternatives possibles suite à l'évaluation de chaque alternative, autrement dit si les valeurs de chacune des caractéristiques des biens sont égales, un tirage aléatoire uniforme détermine le choix final. Le prochain tableau donne un exemple de cette stratégie de choix.



**Tableau 2 : Algorithme décisionnel TTB**

	Rang d'importance des différentes caractéristiques du produit pour un consommateur X	Value P1	Value P2	Value P3
Caractéristique 1	5	1.23	1.54	1.62
Caractéristique 2	4	1.45	1.18	1.92
Caractéristique 3	1	1.22	1.22	1.01
Caractéristique 4	3	1.02	1.52	1.10
Caractéristique 5	6	1.13	1.75	1.14
Caractéristique 6	2	1.41	1.11	1.25
Caractéristique 7	8	1.66	1.25	1.51
Caractéristique 8	10	1.28	1.28	1.87
Caractéristique 9	9	1.32	1.26	1.44
Caractéristique 10	7	1.98	1.86	1.35

Dans cette représentation simple, le bien différencié offert par 3 producteurs est défini par 10 caractéristiques. Le rang de celles-ci détermine le rôle des préférences d'un consommateur et permet de savoir comment les produits sont choisis. Ainsi, lors du processus de sélection, le consommateur examine d'abord la valeur de la caractéristique 3 pour tous les produits offerts. Le produit P3 est éliminé de l'ensemble des alternatives. Cependant, puisque les valeurs du produit P1 et du produit P2 sont identiques, le consommateur ne peut choisir entre ces deux produits en utilisant seulement la caractéristique 3. Finalement, c'est la deuxième caractéristique en importance du produit qui lui permet de choisir le produit P1.

### 5.2.5 Formation des préférences

Lors de son premier achat, chaque consommateur se voit assigné un ensemble de préférences sous forme d'un classement lexicographique des différentes caractéristiques du produit. Cette hiérarchisation initiale par ordre d'importance des différentes caractéristiques du produit est fonction de l'ensemble des stratégies de marketing des producteurs présents sur le marché. Chaque producteur tente de convaincre les consommateurs que les caractéristiques du produit

pour lesquelles il dispose d'un avantage comparé sont les caractéristiques clés du produit et que c'est justement sur la base de ces attributs qu'ils devraient effectuer leurs achats.

Ainsi, chaque producteur accorde une valeur d'importance à chacune des caractéristiques de son produit en vente sur le marché, et ce sont ces valeurs, ajustées par les parts de marché de chaque producteur, qui sont utilisées lors de la formation des préférences d'un nouvel acheteur. Pour ce faire, un indicateur de la contribution de chaque producteur  $k$  pour chaque caractéristique  $h$  doit d'abord être calculé afin de pouvoir établir un index de l'importance global de chaque caractéristique. Cet indicateur est représenté par la variable  $App$  et est calculé à l'aide de la fonction suivante :

$$App_k^h = \{Rank_k^h * MSInstall_k * [1 - RangeRank * Uniform(-0.5, 0.5)]\}^{ExpChoose}$$

où  $Rank$  représente l'importance que le producteur  $k$  accorde à la caractéristique  $h$  dans sa stratégie de marketing. Par exemple, si pour un producteur donné la 2<sup>e</sup> caractéristique du produit semble être plus importante que la 6<sup>e</sup>, la valeur  $Rank^2$  associée à la 2<sup>e</sup> caractéristique sera plus élevée que la valeur  $Rank^6$  associée à la 6<sup>e</sup>. Une description détaillée expliquant comment les producteurs associent une valeur à chacune des caractéristiques de leur produit est présentée plus loin dans la description des divers éléments de l'offre.

$MSInstall$  représente la part de marché de chaque producteur.  $RangeRank$  est un paramètre global permettant d'ajuster l'importance du biais aléatoire lors de la formation des préférences.  $Uniform$  est une fonction aléatoire uniforme d'intervalles  $(-0.5, 0.5)$ .  $ExpChoose$  est un paramètre global qui détermine la concentration des probabilités : une valeur élevée de  $ExpChoose$  signifie que chaque acheteur tend à former ses préférences en relation avec la stratégie de marketing du plus gros producteur. À l'inverse, une valeur de  $ExpChoose$  se rapprochant de zéro signifie que les préférences ou le classement par ordre d'importance des caractéristiques du produit sont tirés au sort avec des probabilités identiques pour chaque caractéristique.

Lorsqu'un nouvel acheteur entre sur le marché, les contributions individuelles de chaque producteur, représentées par  $App$ , sont additionnées horizontalement pour chacune des caractéristiques du produit. Ainsi, si le produit est défini par 10 caractéristiques et qu'il y a 15 producteurs sur le marché, les 150 contributions individuelles des producteurs serviront à construire un index de 10 valeurs globales, soit une pour chaque caractéristique du produit. La valeur de ces caractéristiques est normalisée afin d'obtenir des probabilités qui sont finalement

utilisées pour une série de tirages au sort qui détermineront la forme lexicographique des préférences du nouveau consommateur.

Par exemple, si la première caractéristique du produit tirée au sort est la caractéristique 3, alors le nouveau consommateur considérera d'abord la valeur de cette caractéristique dans son achat. Au cours de ce tirage au sort, chaque caractéristique se voit également attribuer une valeur *ARank* par défaut en relation avec son importance. Ainsi, si le produit est défini par 10 caractéristiques, la caractéristique se classant au premier rang dans les préférences d'un nouveau consommateur se voit assigner une valeur de 1, la deuxième, une valeur de 0.9 et ainsi de suite jusqu'à 0.1. Comme nous l'expliquons plus loin, ces valeurs seront par la suite influencées par les stratégies de marketing des producteurs.

### 5.2.6 Apprentissage

Comme nous l'avons déjà vu, l'algorithme décisionnel permettant aux consommateurs d'effectuer leurs choix utilise les préférences du consommateur pour déterminer la priorité des caractéristiques lors du processus de sélection. Cependant, pour pouvoir distinguer entre les différents produits, la valeur des caractéristiques de chaque produit offert sur le marché doit être connue. Il est vrai que dans certains cas les valeurs de quelques caractéristiques d'un bien peuvent être clairement sues et comparées par les acheteurs potentiels. Par exemple, la perception de la description technique ou du prix ne peut être erronée. Mais de façon plus générale, les différentes caractéristiques d'un produit peuvent être assez difficiles à évaluer, et par le fait même, compliquées à comparer. Ainsi, les acheteurs peuvent faire des « erreurs de lecture » lors de l'appréciation de la valeur des différents aspects d'un produit.

Le modèle suppose que les consommateurs qui réalisent un premier achat évaluent les différentes caractéristiques du produit avec une grande probabilité de distorsion. À l'opposé, les acheteurs plus expérimentés et qui utilisent ce type de produit depuis déjà plusieurs périodes sont plus efficaces dans leurs évaluations. Afin de modéliser ce phénomène, chaque consommateur se voit assigner une variable *Learning* de valeur initiale égale à 0.01 lors de son premier achat. Subséquemment, cette variable est mise à jour à chaque période selon la fonction suivante :

$$\text{Learning}_t = \text{Learning}_{t-1} * \text{CoeffLearn} + (1 - \text{CoeffLearn}) * (2 - \text{Learning}_{t-1})$$

où *CoeffLearn* est un paramètre identique pour tous les acheteurs du modèle. Lorsque la valeur de *CoeffLearn* diminue, le processus d'apprentissage s'accélère, alors que lorsque sa valeur s'approche de un, le processus d'apprentissage ralentit. La valeur obtenue par la variable *Learning* est utilisée durant le processus d'évaluation d'une des caractéristiques d'un produit. Pour ce faire, une variable temporaire est créée :

$$\text{TEMP} = (1 - \text{Learning } t * \text{MaxLearn}) * \text{DevLearn}$$

La valeur de cette variable est utilisée lors de la « lecture » d'une caractéristique. Elle constitue l'écart type de la fonction aléatoire normale, dont l'espérance constitue la vraie valeur de cette caractéristique. Les paramètres *MaxLearn* et *DevLearn* sont de valeur égale pour toute la population de consommateurs et reflètent respectivement la limite du processus d'apprentissage et la valeur maximum de l'écart type. Une valeur de *MaxLearn* plus petite que 1 signifie que l'acheteur continuera à faire des erreurs d'évaluation, même après un nombre infini de périodes, alors qu'une valeur de *DevLearn* égale à zéro signifie que les acheteurs ne font jamais d'erreurs de lecture et sont parfaitement capables d'évaluer la valeur de chaque caractéristique.

### 5.3 Offre

L'offre du marché est composée d'un ensemble de producteurs. Le produit offert sur le marché par ceux-ci est un produit qui se définit selon plusieurs caractéristiques. Chaque firme propose un type de produit pour chaque période. Les produits sont différenciés entre eux, puisque la valeur de chacune de leurs caractéristiques propres diffère. Les producteurs améliorent leurs produits ou augmentent la valeur de leurs caractéristiques, suite à certaines innovations technologiques qui découlent de leurs activités de recherche et développement. Les différentes caractéristiques peuvent être le prix<sup>7</sup>, la performance, le service après vente, etc. Finalement, les firmes s'engagent dans des activités de marketing où elles tentent de convaincre les acheteurs d'adopter un type de préférences qui favorise leur propre produit.

---

<sup>7</sup> Dans un effort de simplification d'un modèle déjà très compliqué, il n'y a pas de modélisation explicite du prix dans ce modèle. Le prix n'est considéré que comme une caractéristique particulière du produit au même titre que les autres.

### 5.3.1 Ventes

Les producteurs « enregistrent » des informations sur les consommateurs de leurs propres produits et les utilisent dans leurs stratégies. Chaque producteur enregistre explicitement la caractéristique qui lui a permis d'obtenir ou de ne pas obtenir une vente. À la fin de chaque cycle, toutes les firmes présentes sur le marché disposent d'une liste indiquant combien de fois chacune des caractéristiques de leur produit a permis de conclure une vente ou de la perdre au profit d'une autre firme. Cet indicateur est employé pour identifier les caractéristiques dont le développement est primordial et permet d'orienter la direction de l'investissement entre les diverses activités de recherche et développement.

### 5.3.2 Recherche et développement

Les activités de R&D de chaque producteur ont pour objectif d'améliorer le pouvoir d'attraction d'une ou de plusieurs caractéristiques de leur produit. Les résultats de ces recherches sont donc spécifiques à chaque caractéristique et se traduisent par un accroissement de la valeur de cette caractéristique. Les déterminants des résultats encourus par les activités de recherche et de développement sont les suivants :

**Ressources de R&D.** Le montant dont dispose chaque firme pour financer ses activités de R&D est fonction du nombre d'utilisateurs actuels de son produit. Ainsi, les ressources disponibles ne sont pas directement dépendantes des ventes actuelles très volatiles de chaque firme. L'usage de la base installée du produit d'une firme comme évaluateur du montant des ressources de R&D dont elle dispose peut s'interpréter de plusieurs façons. Par exemple, on peut supposer qu'une firme a accès à un crédit bancaire proportionnel à la base installée de son produit ou proportionnel à son « succès ».

**Compétition.** Étant donné que, comme nous l'avons souligné, chaque firme est capable de déterminer quel aspect de son produit lui permet d'obtenir ou de perdre une vente, elle peut déterminer quelles caractéristiques se doivent d'être développées. Deux stratégies sont possibles, soit une approche « agressive » ou une approche « défensive ». Dans le premier cas, le producteur tend à développer les caractéristiques qui lui ont permis de réaliser le plus de ventes par le passé, alors que dans le second cas, il favorise la R&D pour les caractéristiques qui lui ont fait perdre le plus de ventes. Le modèle considère un mélange des deux stratégies.

**Habilités techniques.** Plus le montant consacré à un aspect donné du produit est significatif, plus les connaissances relatives à cet aspect sont développées. Cette expérience permet au producteur de mieux exploiter les ressources consacrées au développement de cette caractéristique et, de ce fait, d'obtenir des résultats de recherche supérieurs. Ainsi, les habiletés techniques permettant de développer une caractéristique peuvent être accumulées.

Cependant, à l'opposé, lorsque la recherche sur un aspect du produit a été abandonnée depuis un certain temps, ces habiletés sont graduellement réduites. Le modèle contient deux paramètres qui déterminent l'habileté minimum et l'habileté maximum. Lorsqu'une firme commence à faire de la recherche, elle dispose d'une habileté minimum pour chaque caractéristique. Par la suite, ces habiletés à faire de la recherche sont lentement ajustées et tendent vers leur limite maximum.

Plus une firme consacre une part importante de ses ressources au développement d'une dimension technologique spécifique de son produit, plus son efficacité de recherche est grande relativement à cette dimension. Ainsi, une firme avec beaucoup d'expérience de recherche pour une caractéristique spécifique du produit sera plus efficace dans sa recherche qu'une firme moins expérimentée. Cependant, il est important de souligner que l'habileté technique en recherche ne concerne pas le niveau absolu de la technologie, mais seulement la capacité d'augmenter ce niveau. Par exemple, une nouvelle firme qui entre sur le marché peut débiter avec un niveau technologique plus élevé qu'une firme déjà sur le marché, par contre cette dernière augmentera son niveau technologique plus rapidement que l'entrant, puisque qu'elle a développé des habiletés techniques supérieures.

**Contraintes technologiques.** Le modèle suppose qu'une amélioration technologique infinie pour toutes les caractéristiques est théoriquement possible. Cependant, pour pouvoir obtenir de telles améliorations, la technologie doit être développée le long d'un chemin « viable », déterminé par les contraintes technologiques. Ainsi, le niveau technologique maximum pouvant être atteint pour l'une des caractéristiques du produit est contraint par la technologie la plus faible de ce produit. Autrement dit, la recherche effectuée dans un espace technologique complexe est limitée par la configuration d'un sous-ensemble technologique complémentaire. En conséquence, la seule façon d'améliorer continuellement les performances d'un produit est de faire de la recherche sur toutes les dimensions technologiques de celui-ci, ce qui est très coûteux en termes de ressources et très long en termes de temps.

**Technologie.** L'exploration d'une technologie peut améliorer sa performance jusqu'à une certaine limite, déterminée par la valeur de toutes les autres technologies. Le modèle représente donc des technologies avec interdépendance. On utilise alors l'hypothèse simple de complémentarité complète. Autrement dit, si l'on peut produire toutes les composantes d'une

Ferrari, mais seulement les pneus d'une bicyclette, la vitesse maximale de cette voiture sera celle autorisée par les pneus. Il est donc suffisant qu'une seule dimension du produit soit négligée pour que l'amélioration de toutes les autres technologies soit limitée.

Une hypothèse importante du modèle est que les firmes n'accordent aucune importance à l'interdépendance entre les technologies ; elles distribuent leurs ressources de R&D en fonction des indicateurs « économiques », autrement dit, aux développements des caractéristiques du produit qui sont pertinentes pour les ventes. En utilisant cette hypothèse, on peut obtenir des résultats utiles en ce qui concerne les situations où les firmes sont forcées de planifier à court terme à cause de la pression de la compétition.

### **5.3.3 Marketing**

Comme nous l'avons déjà vu, les nouveaux consommateurs acquièrent leurs préférences initiales lors de leur premier achat. Cependant, par la suite, la stratégie de marketing des producteurs peut également modifier de façon endogène ces préférences. Chaque producteur préconise une structure particulière des préférences du consommateur, et ce dernier est sujet à l'influence de cette publicité. Il est à noter qu'ici, dans un effort de simplification, la stratégie de marketing de chaque producteur n'affecte que les utilisateurs actuels de leurs produits. Comme d'habitude, chaque acheteur ne transmute pas abruptement sa structure de préférences mais adopte graduellement les préférences préconisées par un producteur.

De plus, ce changement graduel de la structure des préférences d'un consommateur donné à la structure des préférences préconisées par un producteur donné ne peut prendre place que si le consommateur en question achète le produit de ce même producteur de façon répétitive et que celui-ci conserve une stratégie de marketing constante. Les producteurs développent leurs stratégies de marketing sur la base de l'information qu'ils obtiennent de l'ensemble de leurs clients. Par exemple, si 90 % des clients d'un producteur ont choisi son produit grâce à la caractéristique 3, et 10 % grâce à la caractéristique 5, ce dernier va « suggérer » à ses clients d'utiliser d'abord la troisième caractéristique dans leurs jugements, ensuite la cinquième, puis d'ignorer les autres. Ce mécanisme modifie de manière endogène les préférences des consommateurs et repose sur l'hypothèse que les producteurs prennent, indirectement, conscience de l'avantage comparatif de leurs produits pour leur type de clients donné.

Une fonction cumule le pointage obtenu par chaque caractéristique pour chacun des producteurs. Les meilleures caractéristiques d'un produit sont celles qui permettent au produit d'être choisi au cours de l'algorithme décisionnel TTB décrit précédemment. Chaque fois que

son produit est choisi, le producteur identifie la caractéristique qui lui a permis d'obtenir la vente et la récompense en lui accordant un point dans un paramètre nommé *Positif*.

Suite à la ronde des ventes, le producteur calcule *SharePositive* ou le succès relatif des caractéristiques de son produit. Ainsi, si pour un cycle donné un producteur vend au total 25 unités de son produit grâce à la caractéristique 3 et 15 unités grâce à la caractéristique 7, les paramètres *SharePositif* associés aux caractéristiques 3 et 7 seront respectivement égaux à 0.625 et à 0.375. L'importance de chaque caractéristique du produit est mise à jour graduellement en fonction du succès relatif que chacune des caractéristiques du produit a obtenu lors de la dernière ronde d'achats à l'aide de la formule suivante :

$${}_t\text{Rank}_k^h = {}_{t-1}\text{Rank}_k^h * (1 - \text{SpeedRank}) + {}_t\text{SharePositive}_k^h * \text{SpeedRank}$$

Les valeurs résultantes *Rank* de chaque caractéristique *h* pour chaque producteur *k* sont utilisées pour influencer les préférences des acheteurs de son produit. Ainsi, chaque fois qu'un consommateur achète un produit, il met à jour la valeur *ARank* de chacune des caractéristiques *h* de ses préférences de la manière suivante :

$${}_t\text{ARank}_k^h = {}_{t-1}\text{ARank}_k^h * (1 - \text{SpeedUpdatePref}) + {}_t\text{Rank}_k^h * \text{SpeedUpdatePref}$$

Cette mise à jour des préférences oriente simplement la valeur *ARank* ou l'importance relative de chacune des caractéristiques du produit pour un consommateur dans la direction des valeurs *Rank* du producteur.

#### 5.3.4 Entrée et sortie des producteurs

Le modèle suppose un flux constant d'entrées de producteurs durant toute la simulation ; à chaque période un nouveau producteur peut apparaître selon une probabilité constante. L'aspect le plus important de cette fonction est l'initialisation de l'entrant ou la valeur de la technologie propre aux caractéristiques. Le modèle suppose que les nouveaux entrants « pêchent » aléatoirement dans le bassin des technologies. Le tirage aléatoire suit une fonction



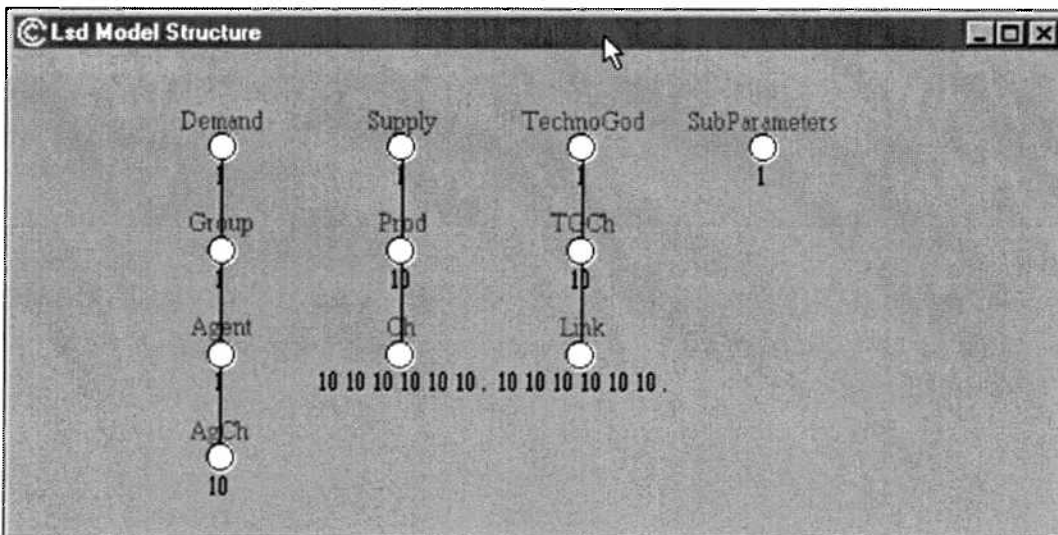
uniforme qui a pour limite supérieure la valeur maximum qu'un producteur déjà sur le marché a atteinte pour cette technologie. Bien qu'ils puissent être vraiment près de la meilleure technologie, les entrants ne peuvent jamais profiter d'une valeur technologique supérieure à la valeur maximale déjà atteinte sur le marché.

Les producteurs qui n'ont vendu aucun produit depuis un certain nombre de périodes et dont le produit n'est plus utilisé par aucun consommateur sont éliminés du marché.

#### 5.4 Modifications

De sorte à pouvoir examiner les divers effets potentiels des subventions à la recherche et au développement, quelques modifications ont dû être apportées au modèle original. Ces modifications ne changent en rien la structure des différents processus décrits plus haut, mais influencent plutôt leur développement par l'entremise d'une hausse des ressources disponibles à la R&D pour les producteurs subventionnés. La figure 4 illustre les différents objets du modèle tels qu'ils sont présentés dans LSD.

Figure 4 : Structure du modèle



Aucun changement n'est apporté aux objets *Demand* et *TechnoGod*<sup>8</sup> ou à leurs descendants. Ainsi, l'ensemble des diverses composantes de la demande et des contraintes technologiques demeurent identiques. Cependant, comme nous devons maintenant considérer deux groupes de producteurs hétérogènes, soit les producteurs subventionnés et les producteurs non subventionnés, l'objet *Supply* doit subir quelques modifications. Un mécanisme nous permettant de différencier ces deux groupes doit être implanté. Pour ce faire, un paramètre binomial, nommé *BinSubsidy*, est créé dans l'objet *Prod* et nous permet de distinguer les firmes subventionnées (1) et les firmes non subventionnées (0). De plus, nous avons inclus une nouvelle variable nommé *RDRess* qui nous permet d'obtenir le niveau de ressources totales pour la R&D de chaque producteur en incluant les subventions. Au niveau plus agrégé ou macroéconomique, des variables nous informant sur l'évolution de la dynamique spécifique de chacun des groupes ont dû être créées. Le tableau 3 présente ces variables.

**Tableau 3 : Nouvelles variables macroéconomiques**

<b>Sub</b> = groupe subventionné <b>NoSub</b> = groupe non subventionné	
AvAgeNoSub AvAgeSub	Âge moyen.
NumProdNoSub NumProdSub	Nombre de producteurs actuellement sur le marché.
SumInstallBaseNoSub SumInstallBaseSub	Somme du nombre d'utilisateurs présentement sur le marché.
PensionNoSub PensionSub	Somme du nombre de producteurs qui quittent le marché après avoir effectué au moins une vente.
TotNumSub TotNumNoSub	Somme des ventes totales pour chaque période.

Le nouvel objet *SubParameters* inclut, comme son nom l'indique, les différents paramètres qui gouvernent l'application des subventions. Le paramètre *Subsidy* peut prendre la valeur 0 ou 1 et nous permet d'exécuter les simulations avec ou sans subvention. Si nous voulons

---

<sup>8</sup> Cet objet contient les éléments nécessaires à la reproduction des contraintes d'interdépendance technologiques qui limitent les innovations telles que nous les avons présentées lors de la description des activités de R&D. Ces contraintes sont modélisées distinctement à l'extérieur de l'objet *Supply* puisqu'elles représentent un état de la nature des technologies, et, techniquement, cela facilite la modélisation.

considérer une simulation où certaines firmes sont subventionnées, nous devons déterminer le montant de cette subvention. Par conséquent, le paramètre *PercSubsidy* représente le montant des subventions qui sont octroyées et s'exprime en % du montant des ressources déjà disponibles pour la R&D. Par exemple, si un montant de 1000 unités est disponible pour la R&D et une subvention de 20% est offerte (*PercSubsidy* =0.20), le montant total des ressources disponibles pour effectuer de la R&D est de 1200 unités. Lorsque nous considérons un marché avec l'introduction de nouvelles firmes, le paramètre *ProbSubsidy* représente la probabilité qu'une firme qui entre sur le marché obtienne une subvention. Les trois prochains paramètres inclus dans cet objet nous permettent de modifier le moment et la durée pendant lesquels sont octroyées les subventions. Le paramètre *TimeSubsidy* (de valeur égale à 0 ou à 1) nous permet d'exécuter les simulations avec ou sans contrainte temporelle. De cette façon, si *TimeSubsidy* est fixé à 1, les subventions seront versées aux firmes entre les périodes déterminées par *TSubstart* et *TSubFinish*.

## 6 Résultats et discussion

Le modèle que nous avons décrit fournit une représentation abstraite et simplifiée des divers effets potentiels des subventions à la recherche sur le développement du marché d'un produit innovateur. Il permet de varier l'environnement et les circonstances dans lesquelles sont octroyées ces subventions directes, et grâce à l'interface de LSD, admet la possibilité de procéder à un examen attentif de leurs effets sur les firmes qui en bénéficient. Naturellement, les résultats obtenus par une simulation ne peuvent être directement associés à pareille situation dans le monde réel. Ainsi, nous débutons cette section avec une brève discussion générale sur l'utilisation des résultats d'une simulation. Suite à ces précisions, nous vous présenterons les diverses simulations et discuterons de leurs résultats.

Il est à noter que les lecteurs intéressés trouveront le modèle sur le CD-Rom inclus. Ainsi, ils auront la possibilité d'observer le contenu du modèle, de ré-exécuter les différentes simulations présentées, de changer les paramètres et d'analyser en détail les résultats obtenus. Le CD-Rom contient les divers programmes nécessaires aux simulations, la documentation complète sur le modèle original en trois volumes et deux manuels détaillés écrits par Marco Valente sur l'utilisation de LSD

### 6.1 Interprétation des résultats

L'utilisation d'une simulation est généralement associée à l'estimation numérique de certaines valeurs qui sont testées et révisées jusqu'à ce qu'une estimation satisfaisante soit obtenue. Le modèle choisi propose plutôt une utilisation qualitative des différents résultats. Ainsi, les simulations constituent une sorte d'histoire virtuelle où différents phénomènes apparaissent, évoluent et disparaissent. L'examen de ces simulations nous permet d'enquêter sur les causes et les conditions sous lesquelles ces phénomènes prennent place.

Il est à noter que le modèle ne prétend pas reproduire des faits historiques actuels, mais qu'il cherche plutôt à accentuer l'interaction spontanée des forces du marché sans le « bruit » des accidents historiques. Dans ces conditions, l'étude de la complexité contrôlée d'une simulation fournit des indications utiles sur plusieurs phénomènes qui, dans le monde réel, ne peuvent être étudiés adéquatement hors de leur contexte social. Autrement dit, l'intérêt d'une simulation ne réside pas dans la valeur finale d'un paramètre spécifique, mais plutôt dans la possibilité de pouvoir observer l'évolution et l'interaction de l'ensemble des variables du modèle à différentes étapes et à différents niveaux d'agrégation. Pour ce faire, les multiples indicateurs statistiques

permettent de surveiller la dynamique des phénomènes d'intérêt, et la simulation peut toujours être arrêtée ou répétée avec de nouvelles initialisations jusqu'à ce que la chaîne d'événements provoquant l'émergence de certaines régularités soit identifiée.

Les explications obtenues à l'aide de ces résultats artificiels nous permettent de spéculer sur les différentes propriétés dynamiques d'un système économique complexe et nous fournissent des indications sur les explications plausibles de certains phénomènes existant dans le monde réel. C'est selon cette optique de l'utilisation des résultats que les prochaines simulations sont exécutées et discutées.

## 6.2 Simulations

Comme nous l'avons déjà mentionné, le modèle considéré dans ce travail se fonde sur le modèle original de Marco Valente (2000) tel qu'il est présenté dans « *Consumer Behaviour and Technological Complexity in the Evolution of Market, chapter 4* ». Cependant, nous considérerons maintenant deux groupes hétérogènes de producteurs, soit ceux qui reçoivent une aide financière à la recherche et au développement et ceux qui n'en reçoivent pas. Dans les prochaines simulations, nous examinons la performance relative de ces deux groupes de firmes lorsque l'environnement et les circonstances dans lesquelles sont octroyées ces subventions varient. L'objectif de cet exercice est de fournir quelques indices pouvant potentiellement expliquer les divergences du succès relatif des différents programmes de soutien à la R&D. Les principales initialisations qui sont communes aux différentes simulations sont les suivantes :

1. Le marché considère un produit qui se définit par 10 caractéristiques ;
2. Les contraintes technologiques sont identiques pour l'ensemble des caractéristiques, avec une valeur de 1.5. Ainsi, le niveau technologique de chaque caractéristique d'un produit ne peut jamais obtenir une valeur de plus de 150 % de la valeur de la caractéristique ayant le plus faible niveau technologique ;
3. Suivant le mécanisme de diffusion épidémiologique décrit dans la demande plus haut, le nombre total d'acheteurs qui entrent progressivement sur le marché est de 1957 ;
4. En moyenne, chaque consommateur effectue un nouvel achat après 30 périodes, évoluant dans une fonction aléatoire uniforme d'intervalle [20,40] ;

5. À l'exception des subventions, tous les paramètres stratégiques et les vitesses d'ajustement des variables plus lentes sont initialement identiques pour chaque producteur.
6. Les producteurs qui n'ont vendu aucun produit depuis plus de 4 périodes et dont le produit n'est plus utilisé par aucun consommateur sont éliminés du marché.

### **6.3 Sim 0 : Sans nouveau producteur, sans subvention**

Pour la première simulation, nous considérons un marché dont l'entrée aux nouveaux producteurs est fermée. Il y a au début 10 producteurs sur le marché, et ces 10 producteurs sont séparés en deux groupes. Les producteurs 1 à 5 forment le groupe A, alors que les producteurs 6 à 10 forment le groupe B. Pour le moment, il n'y a aucune subvention à la R&D d'accordée. La figure 5 illustre l'évolution de la clientèle totale du groupe A et du groupe B selon ces conditions.

De nouveaux consommateurs entrent sur le marché jusqu'à la 160<sup>e</sup> période. La courte période de turbulence qui suit est le résultat du processus d'apprentissage des consommateurs que ne peuvent évaluer précisément les différents produits. Le marché semble atteindre un équilibre dynamique après 350 périodes, ou 353 périodes pour être plus précis. À partir de ce moment, l'ensemble des consommateurs est déjà entré sur le marché et les deux groupes de producteurs se partagent plus ou moins également les consommateurs. La figure 6 illustre la distribution du nombre de clients pour chaque firme. Après 1500 périodes, il y a encore 8 producteurs sur le marché, dont 4 du groupe A et 4 du groupe B. Le groupe A obtient 53 % du marché, alors que le groupe B en obtient le restant, soit 47 %.

Les résultats obtenus dans cette simulation représentent des résultats particuliers et uniques, puisque plusieurs fonctions incluses dans le modèle font appel à des variables aléatoires. Ainsi, une nouvelle simulation de SIM 0 produira des résultats différents à coup sûr. Cependant, ce n'est pas tant les résultats exacts des valeurs numériques qui nous intéressent, mais plutôt l'identification des tendances occurrentes dans les simulations pour une configuration particulière du système. Dans ce cas précis, la distribution des consommateurs entre les deux groupes de producteurs varie significativement d'une simulation à l'autre, mais aucun groupe ne semble posséder un avantage. Ainsi, suite à 50 simulations de 1500 périodes, le groupe A a obtenu en moyenne 955 clients, tandis que le groupe B en a obtenu 1002 ; ces moyennes ne sont pas statistiquement différentes.

Figure 5 : Sim 0, Somme du nombre d'utilisateurs selon le groupe.

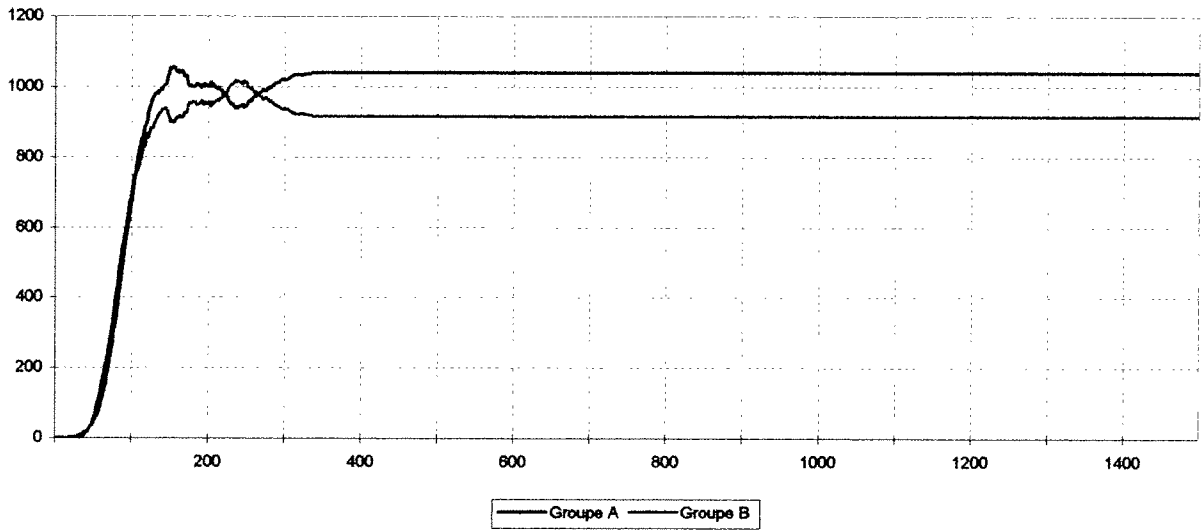
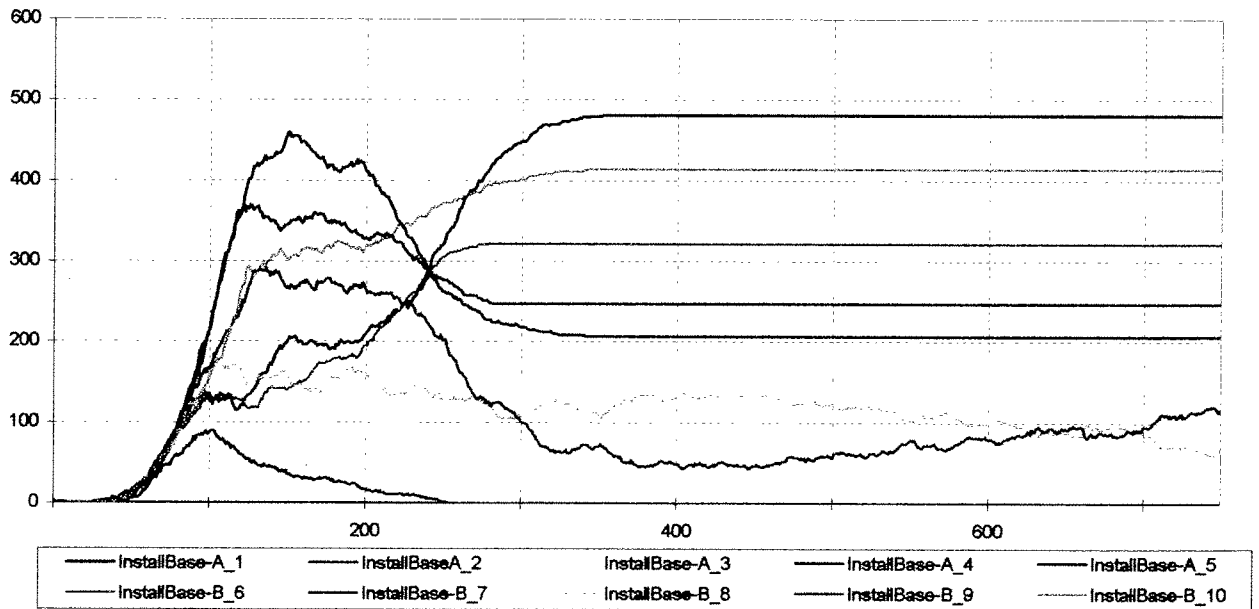


Figure 6 : Sim 0, Nombre d'utilisateurs selon le producteur.

Groupe A : 1-5  
Groupe B : 6-10



#### **6.4 Sim 1 : Sans nouveau producteur, subventions illimitées**

Pour la première simulation avec subvention, nous considérons un marché dont l'entrée aux nouveaux producteurs est fermée. Initialement, il y a 10 producteurs qui offrent leurs produits aux consommateurs et 5 d'entre eux disposent d'une subvention à la R&D exogène. Le montant total des ressources disponibles à des fins de recherche et de développement pour ces firmes est égal au montant de leurs ressources privées plus 30 %.

Après 1500 périodes, le marché est à maturité et il semble avoir atteint un équilibre dynamique. La figure 7 illustre la distribution du nombre de clients pour chaque firme. Il y a encore 4 producteurs sur le marché, dont 3 subventionnés et 1 non subventionné. La figure 8 et la figure 9 illustrent respectivement la somme des achats à chaque période (flux) et la somme des utilisateurs d'un produit vendu précédemment (stock) pour chacun des groupes. Comme nous pouvions le prévoir, il apparaît que suite à une courte période, les producteurs subventionnés sont nettement avantagés, puisqu'ils occupent la quasi-totalité du marché, soit 96 %. Il est assez facile de comprendre pourquoi les producteurs subventionnés possèdent un avantage incontestable sur leurs confrères non subventionnés. Dans ce cas, le soutien des activités de recherche et développement a permis aux firmes bénéficiant de ce soutien d'obtenir un niveau technologique généralement plus élevé que leurs consocœurs et d'ainsi acquérir un net avantage comparatif sur ces dernières.

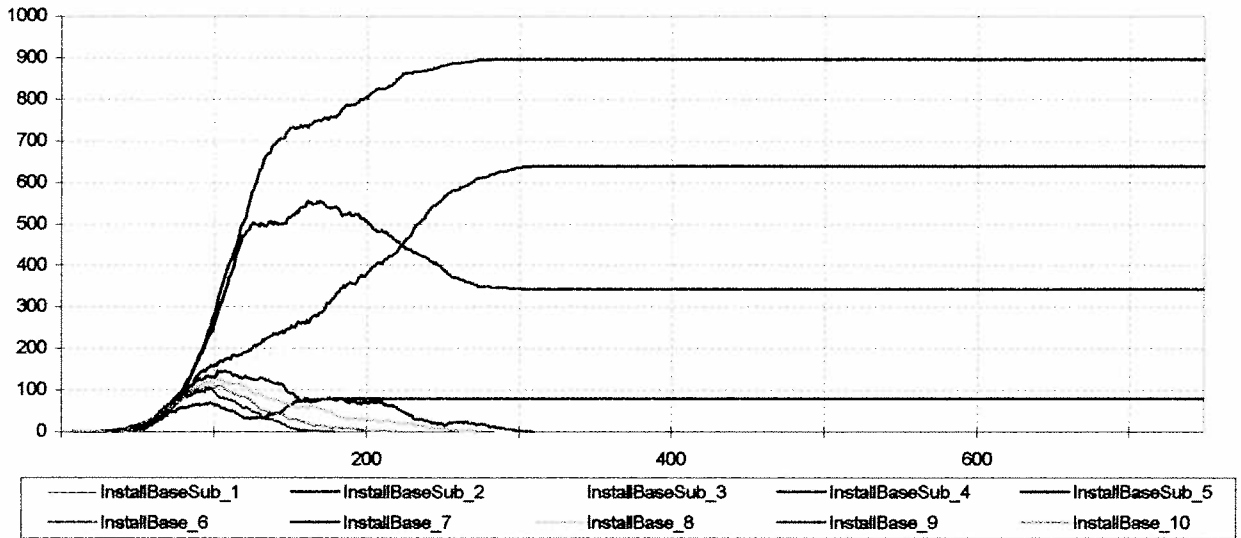
Il peut sembler un peu irréaliste que les firmes ayant droit aux subventions puissent en bénéficier indéfiniment. De plus, les divers programmes de soutien à la R&D peuvent faire leur apparition à diverses étapes de l'évolution d'un marché. Ainsi, dans le prochain exercice, nous considérons l'impact des subventions lorsque celles-ci sont octroyées à divers moments et pour une période de temps défini.



**Figure 7 : Sim 1, Nombre d'utilisateurs selon le producteur.**

Producteurs subventionnés : 1-5

Producteurs non subventionnés : 6-10



**Figure 8 : Sim 1, Somme des ventes totales selon le groupe.**

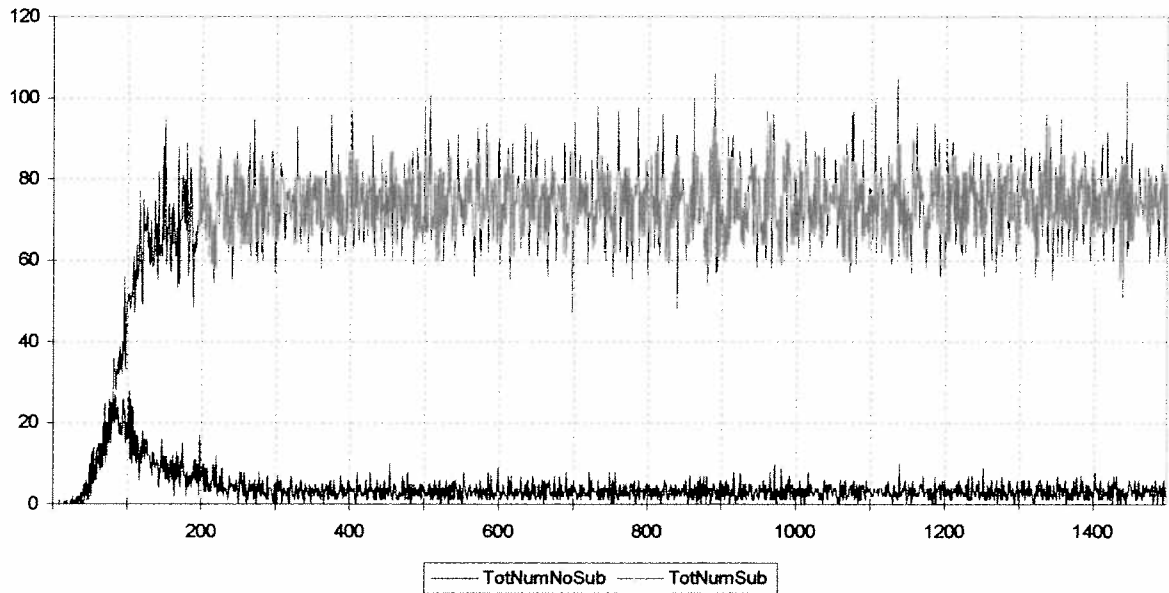
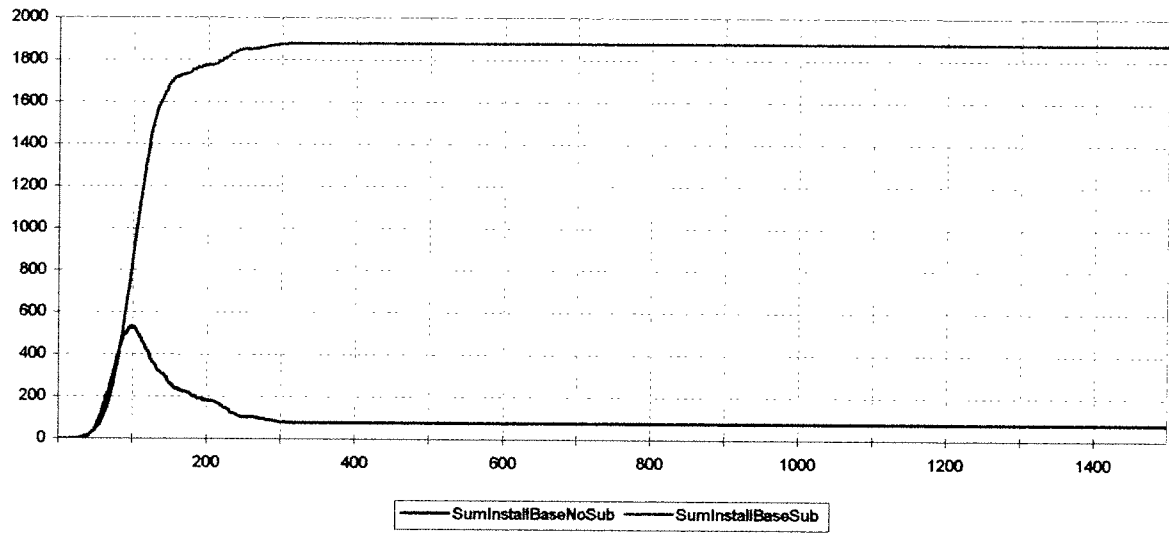


Figure 9 : Sim 1, Somme du nombre d'utilisateurs selon le groupe.



## 6.5 Sim 2 et 3 : Sans nouveau producteur, subventions limitées

Pour les deux prochaines simulations, les initialisations précédentes sont conservées. Toutefois, les subventions sont maintenant accordées au début de l'expansion du marché (Sim 2) ou lorsque celui-ci est presque rendu à maturité (Sim 3).

Dans la figure 10, nous pouvons constater que les firmes ayant eu la possibilité d'obtenir un soutien pour leurs activités de recherche durant les périodes initiales de l'expansion du marché, soit de 0 à 200, sont encore nettement avantagées et que la distribution des utilisateurs entre les deux groupes est quasi identique à la première simulation. Par contre, lorsque ce soutien est octroyé à une étape plus avancée du développement du marché, soit de 200 à 400, l'avantage des firmes soutenues s'amoindrit considérablement, comme en témoigne la figure 11. Le moment et la période auxquels sont accordées les subventions semblent donc avoir un impact décisif sur leur rendement.

Pour mieux comprendre les mécanismes qui expliquent la divergence des résultats obtenus entre ces deux simulations, une exploration plus approfondie de la structure du modèle est nécessaire. Examinons de nouveau les résultats obtenus par la simulation lorsque les subventions sont octroyées de la période 0 à 200 (Sim 2). Tout d'abord, dans la figure 12, nous pouvons constater que la distribution initiale aléatoire des préférences des consommateurs devient rapidement une distribution statique constante. Cette figure rapporte le nombre d'acheteurs qui utilisent la caractéristique  $x$  (1 à 10) comme critère de sélection initiale. Par exemple, pour 252 personnes, la caractéristique 10 constitue l'aspect le plus important du produit, et c'est cette même caractéristique qu'ils utilisent comme premier critère de sélection lors du processus d'achat. Ainsi, suite à la période aléatoire du début, le marché se divise en 10 groupes de consommateurs.

La 6<sup>e</sup> caractéristique représente l'aspect primordial du produit pour le plus grand groupe (437 consommateurs), alors que pour le plus petit groupe (79 consommateurs), la 9<sup>e</sup> caractéristique du produit prime sur toutes les autres. Cette formation dynamique des préférences de chaque consommateur et le développement spécifique de certaines caractéristiques du produit par chaque producteur contribuent à la formation de niches dans le marché. La figure 13 permet d'observer indirectement ce phénomène. Nous pouvons y voir que suite à une période un peu mouvementée où 6 producteurs sont expulsés du marché, les producteurs survivants réussissent à former leur propre niche et à obtenir une clientèle stable et fidèle. Les 4 producteurs encore présents sur le marché constituent donc des monopoles dans leur(s) niche(s) respective(s) et se partagent inégalement les consommateurs comme l'illustre le tableau 4.

**Tableau 4 : Formation de niches**

<b>Producteur 2</b>	Consommateurs groupe 2 = 108 Consommateurs groupe 3 = 108 Consommateurs groupe 7 = 217 Consommateurs groupe 8 = 211 Consommateurs groupe 10 = 252	Total = 896
<b>Producteur 4</b>	Consommateurs groupe 4 = 148 Consommateurs groupe 5 = 195	Total = 343
<b>Producteur 5</b>	Consommateurs groupe 6 = 437 Consommateurs groupe 1 = 202	Total = 639
<b>Producteur 7</b>	Consommateurs groupe 9 = 79	Total = 79

Le producteur subventionné numéro 2 obtient la plus grande part du marché. Il sert 5 groupes de consommateurs et se spécialise dans les technologies 2, 3, 7, 8 et 10. Les deux autres producteurs subventionnés encore sur le marché, soit les producteurs 4 et 5, obtiennent respectivement les groupes de consommateurs 4,5 et 6,1. Finalement, bien qu'il ne soit pas subventionné, le producteur 7 a réussi à survivre et il sert le plus petit groupe de consommateurs, soit ceux qui utilisent la caractéristique 9 du produit comme premier critère de sélection.

Comme dans la première simulation (Sim 1), le surplus de ressources disponibles permet aux producteurs subventionnés de développer leurs technologies plus rapidement que les producteurs non subventionnés et cette supériorité technologique leur permet de s'emparer de la majorité des niches du marché. Naturellement, la stratégie de marketing des producteurs subventionnés renforce et accélère ce processus en suggérant aux consommateurs d'utiliser comme critère de sélection les caractéristiques qui les avantagent. Ainsi, les producteurs ayant moins de ressources développent leurs technologies moins rapidement et ne peuvent concurrencer les firmes disposant de plus de ressources. Pour survivre, elles doivent se contenter des niches moins convoitées.

À la lumière de ces explications, il est plus aisé de comprendre pourquoi les subventions accordées durant les périodes initiales du marché offrent un plus grand rendement que les subventions accordées ultérieurement. Dans les premières périodes de la troisième simulation (Sim 3), soit de 0 à 200, les deux groupes de firmes ne sont pas supportés et ils se partagent

plus ou moins également les consommateurs. Lorsque les producteurs supportés obtiennent finalement un surplus de ressources pour effectuer leur recherche, soit de la période 200 à 400, le marché est déjà très segmenté et chaque producteur spécialise sa recherche dans le but de servir sa clientèle. Dans de telles conditions, il est très difficile pour les firmes bénéficiant de l'aide à la recherche de s'emparer du marché, car les préférences des consommateurs sont déjà bien définies, et chaque firme est maintenant « emprisonnée » dans sa niche.

Figure 10 : Sim 2, Somme du nombre d'utilisateurs selon le groupe, Sub (0-200).

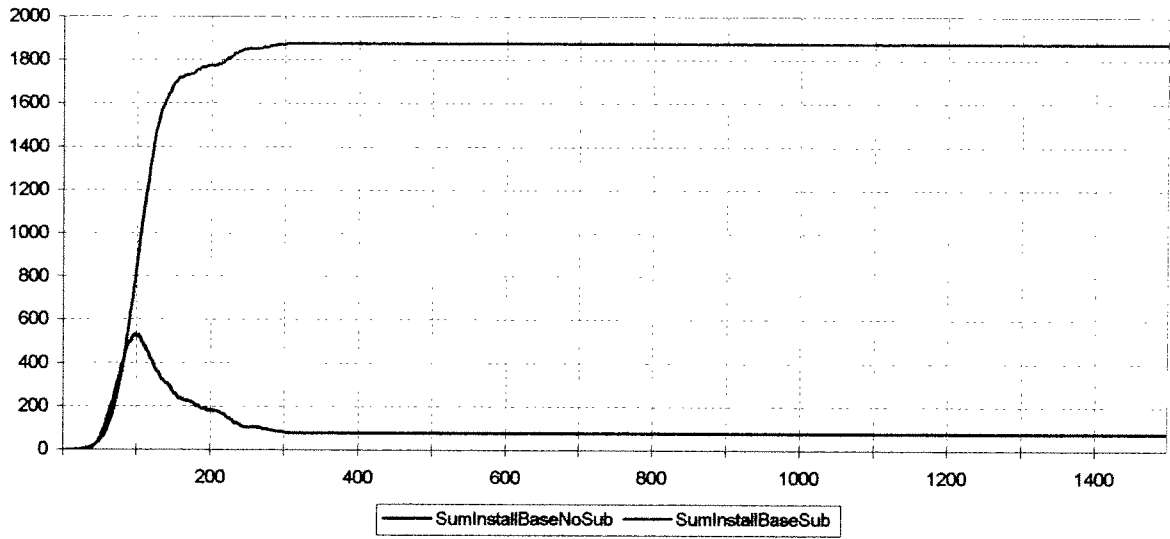
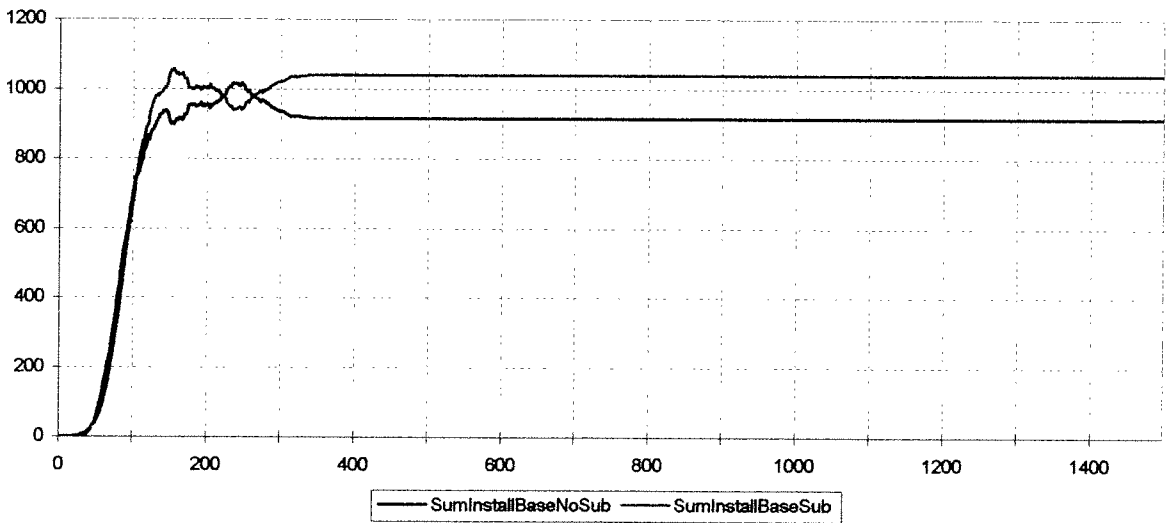
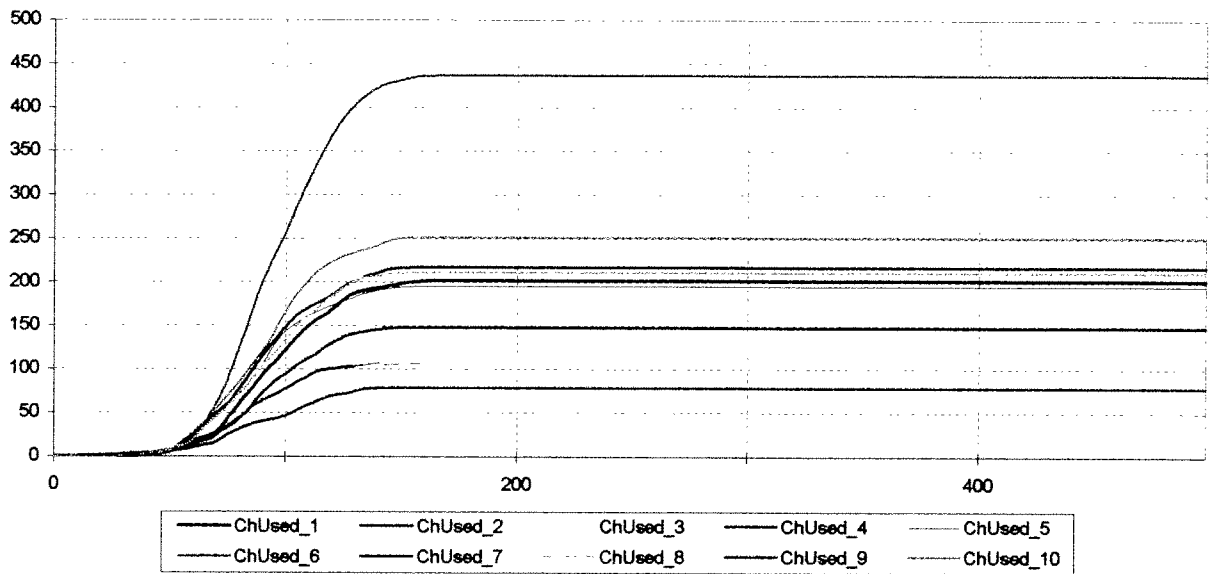


Figure 11 : Sim 3, Somme du nombre d'utilisateurs selon le groupe, Sub (200-400).

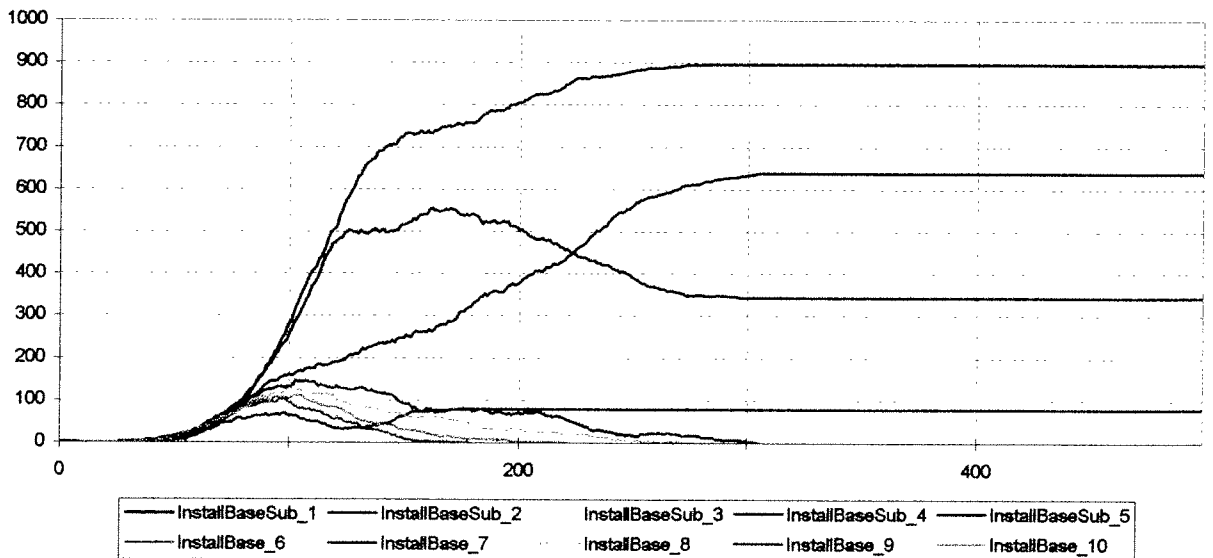


**Figure 12 : Sim 2, Consommateurs selon le premier critère de sélection, Sub (0-200).**



**Figure 13 : Sim 2, Nombre d'utilisateurs selon le producteur, Sub (0-200).**

Producteurs subventionnés : 1-5  
 Producteurs non subventionnés : 6-10



## 6.6 Sim 4 : simulation avec entrée de nouveaux producteurs

Pour la quatrième simulation, nous considérons toujours 10 producteurs initiaux, dont 5 ayant une subvention de R&D de 20 %. Cependant, la probabilité qu'un nouveau producteur entre dans l'industrie est maintenant égale à 30 %. Il y a ainsi en moyenne environ un nouveau producteur à toutes les 3 périodes. La probabilité qu'un entrant obtienne une subvention est égale à 50 %, et cette subvention, également de 20 %, est accordée indéfiniment ou tant que la firme est encore sur le marché.

La figure 14 illustre le nombre de producteurs pour chacun des groupes selon ces conditions. Bien que le nombre de producteurs fluctue, les producteurs subventionnés qui survivent ne semblent pas excéder les non subventionnés. La figure 15 et la figure 16 illustrent respectivement la somme des achats à chaque période (flux) et la somme des utilisateurs d'un produit vendu précédemment (stock) pour chacun des groupes. Ici, encore une fois, les producteurs subventionnés ne paraissent pas pouvoir dominer le marché, et ce, malgré le fait que les subventions soient accordées indéfiniment. L'entrée de nouveaux producteurs sur le marché affecte donc le mécanisme permettant au groupe de firmes supportées de s'emparer de la majeure partie des consommateurs et semble provoquer une alternance aléatoire de l'avantage d'un groupe sur l'autre.

Pour comprendre pourquoi selon ces conditions les firmes supportées ne peuvent surpasser leurs consœurs non supportées, un examen de la dynamique de l'industrie est encore nécessaire. Tout d'abord, regardons le nombre confondu de producteurs subventionnés et non subventionnés présents dans le marché tout au long du développement de cette simulation. La figure 17 illustre la forme bien connue d'une nouvelle industrie. Il y a d'abord un accroissement du nombre de producteurs, un *shake-out* ou une diminution rapide de ce nombre, et finalement un équilibre dynamique plus ou moins statique apparaît.

Au début, les préférences des consommateurs sont encore embryonnaires et chaque producteur peut s'approprier une petite part du marché. Cependant, lorsque les consommateurs deviennent de plus en plus aptes à juger de la qualité des produits (figure 18) et à sélectionner les meilleurs, plusieurs produits sont alors rejetés. Ceci entraîne l'élimination rapide d'un certain nombre de producteurs et ceux qui survivent sont ceux qui ont réussi à établir et à conserver leur dominance dans une niche précise du marché. La figure 19 illustre ce phénomène d'une manière alternative à celle présentée précédemment.

Le nombre de ventes totales à chaque période  $y$  est opposé au nombre de ventes changeantes (le consommateur préfère un produit différent du produit qu'il a acheté



précédemment). Nous pouvons clairement voir que les consommateurs deviennent de plus en plus fidèles, puisque les ventes changeantes diminuent rapidement durant la simulation. Cette « fidélisation » des consommateurs oblige les producteurs à concentrer leurs efforts dans une seule direction pour ne pas perdre leur clientèle. La figure 20 illustre ce phénomène de spécialisation des producteurs à l'aide d'un index de concentration de la R&D dans l'industrie. Cet index représente le nombre équivalent de caractéristiques sur lesquelles, en moyenne, les producteurs distribuent leurs ressources.

Durant la période d'expansion de l'industrie, les consommateurs ne signalent pas clairement quel(s) aspect(s) du produit il préfèrent, et l'index dépasse légèrement 5. Par la suite, les préférences étant plus stables, l'index se ramène plutôt à une valeur près de 1. Il est à noter que, même si chaque firme se spécialise, la valeur technologique moyenne de chacune des caractéristiques du produit continue d'augmenter pour l'ensemble de l'industrie (figure 21).

Jusqu'ici, les divers mécanismes décrits sont très semblables à ceux des deux premières simulations et n'expliquent pas pourquoi le groupe des firmes subventionnées ne peut s'imposer. Un regard spécifique sur le rôle que jouent les nouveaux producteurs dans chaque niche du marché apportera des explications. Considérons la niche des consommateurs pour qui la 9<sup>e</sup> caractéristique du produit est la plus importante. Suite à l'expansion du marché et à la formation des préférences, cette niche compte 206 consommateurs. La figure 22 illustre le nombre d'utilisateurs par producteur présent dans cette niche, et la figure 23 donne la moyenne du niveau technologique pour chaque caractéristique de celle-ci.

Au début de la simulation, la firme 8 (non subventionnée) et la firme 14 (subventionnée) se disputent la niche. La vive concurrence et leurs stratégies de R&D les obligent à améliorer la caractéristique du produit, qui est la plus appréciée par les consommateurs de leur niche. Ainsi, comme nous pouvions le prévoir, le niveau technologique de la 9<sup>e</sup> caractéristique est le seul qui affiche une croissance à la figure 23. Cependant, les contraintes technologiques posées par le faible développement des autres technologies se font de plus en plus sentir. Puisque les nouveaux producteurs ne sont pas soumis à la surspécialisation, ils peuvent effectuer une recombinaison des technologies provenant des différentes niches du marché. Ainsi, à la 600<sup>e</sup> période, le producteur 80 (non subventionné) entre dans la niche avec des niveaux technologiques généralement plus élevés, brise le *lock-in*, chasse les producteurs déjà présents et monopolise la 9<sup>e</sup> niche. Par la suite, le même type de phénomène se répètera. La firme 80 est chassée de la 9<sup>e</sup> niche par la firme 127 (non subventionnée), qui à son tour se fait chasser par la firme 180 (subventionnée) et ainsi de suite.

Les firmes présentes sur le marché tendent à se surspécialiser, ce qui nuit à leur croissance technologique à long terme, et par le fait même les exposent au risque de se faire expulser du

marché. Ainsi, derrière les hypothèses de cette simulation, c'est la capacité des producteurs qui entrent sur le marché à combiner les meilleures technologies des différentes niches qui indirectement empêche le groupe de producteurs subventionnés de se démarquer. Ici, le surplus des ressources disponibles ne peut compenser les torts de la surspécialisation.

Dans la figure 24, nous pouvons observer le lien existant entre la probabilité d'entrée  $P$  des nouveaux producteurs et l'efficacité des subventions tel que mesuré par la différence entre le nombre d'utilisateurs des produits du groupe subventionné et ceux du groupe non subventionné. Pour chaque valeur de probabilité  $P$  dans l'intervalle  $[0,0.5]$ , 30 simulations ont été effectuées. Par exemple, lorsque la probabilité d'entrée d'un nouveau producteur est de 5 %, autrement dit lorsqu'il y a en moyenne un nouveau producteur qui entre sur le marché à toutes les 20 périodes, les producteurs subventionnés ont réussi à obtenir en moyenne 540 utilisateurs de plus que les producteurs non subventionnés. Les intervalles de confiance pour une probabilité de 95 % autour des valeurs moyennes sont également illustrées. Les résultats obtenus démontrent clairement, en accord avec ce que nous avons expliqué précédemment, que l'avantage des firmes subventionnées diminue avec la probabilité que de nouvelles firmes entrent dans l'industrie.

Figure 14 : Sim 4, Nombre de producteurs selon le groupe.

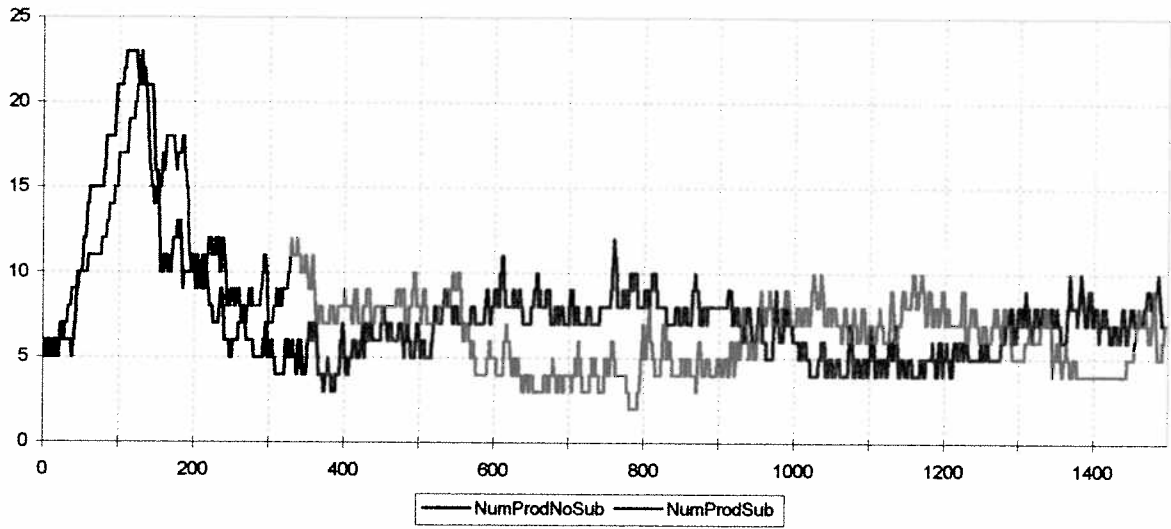


Figure 15 : Sim 4, Somme des ventes totales selon le groupe.

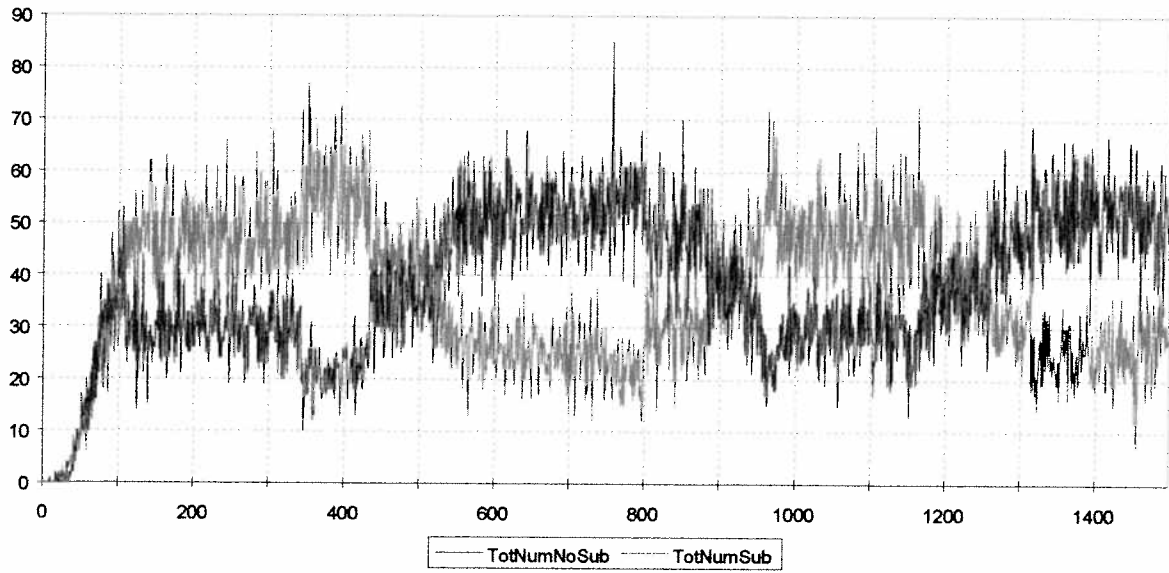


Figure 16 : Sim 4, Somme du nombre d'utilisateurs selon le groupe.

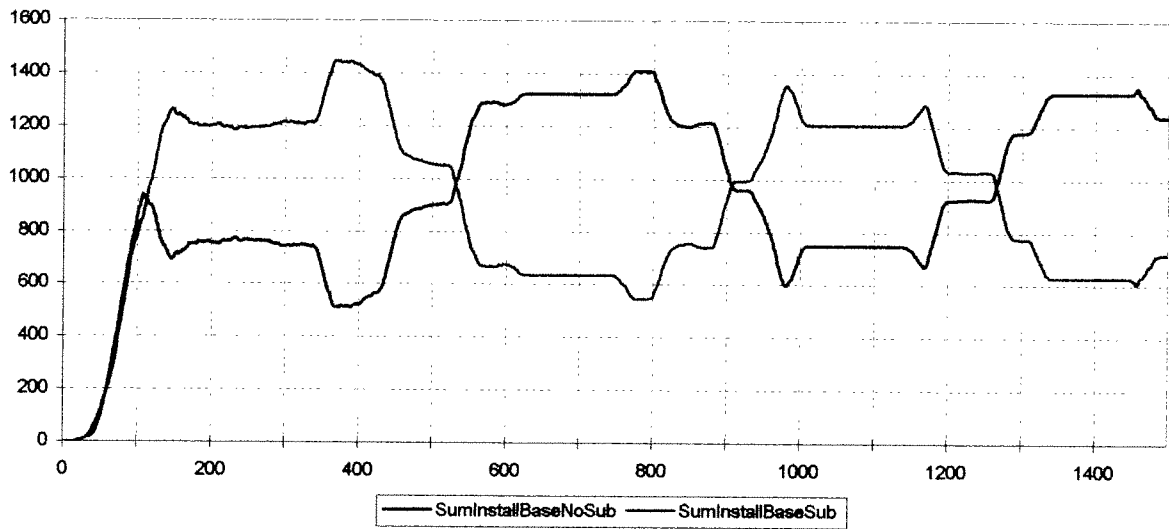
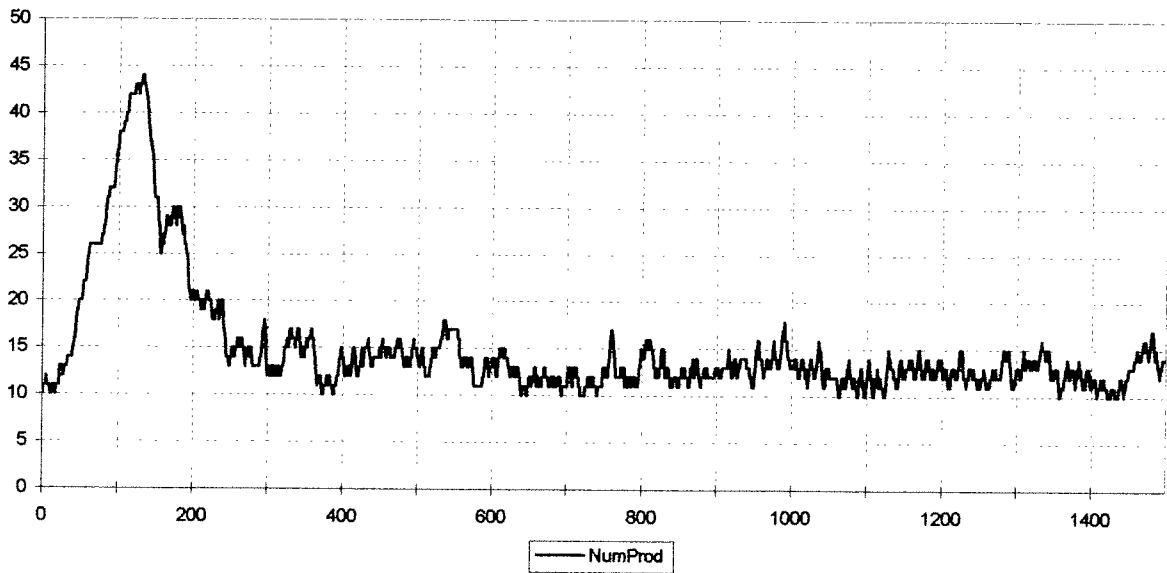
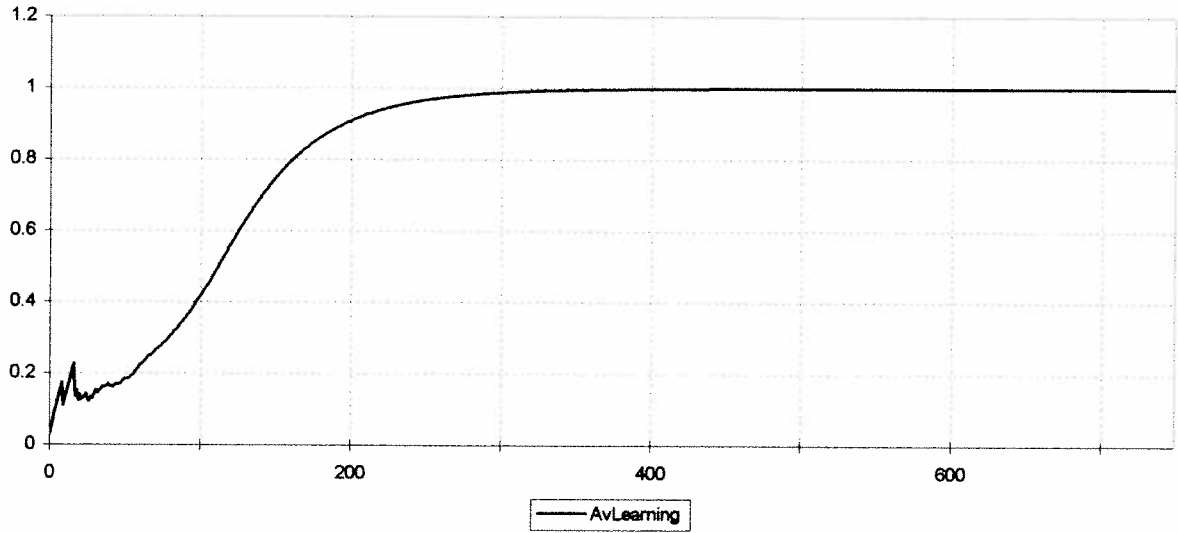


Figure 17 : Sim 4, Nombre de producteurs dans l'industrie.



**Figure 18 : Sim 4, Apprentissage moyen des consommateurs.**



**Figure 19 : Sim 4, Ventes totales et ventes changeantes.**

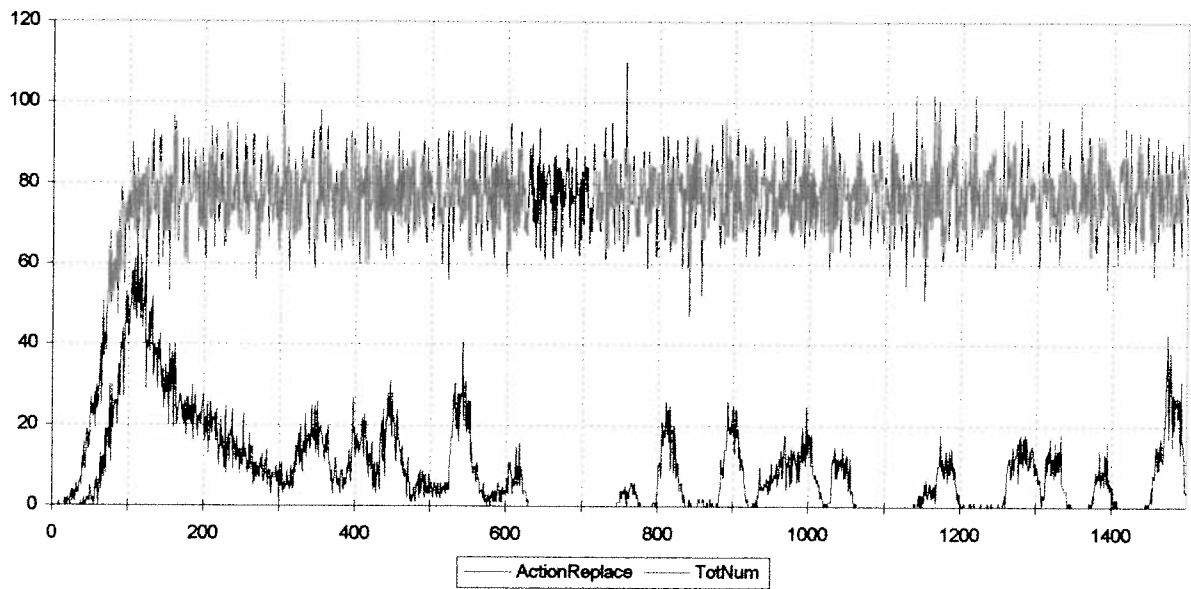


Figure 20 : Sim 4, Index inverse Herfindal de la R&D.

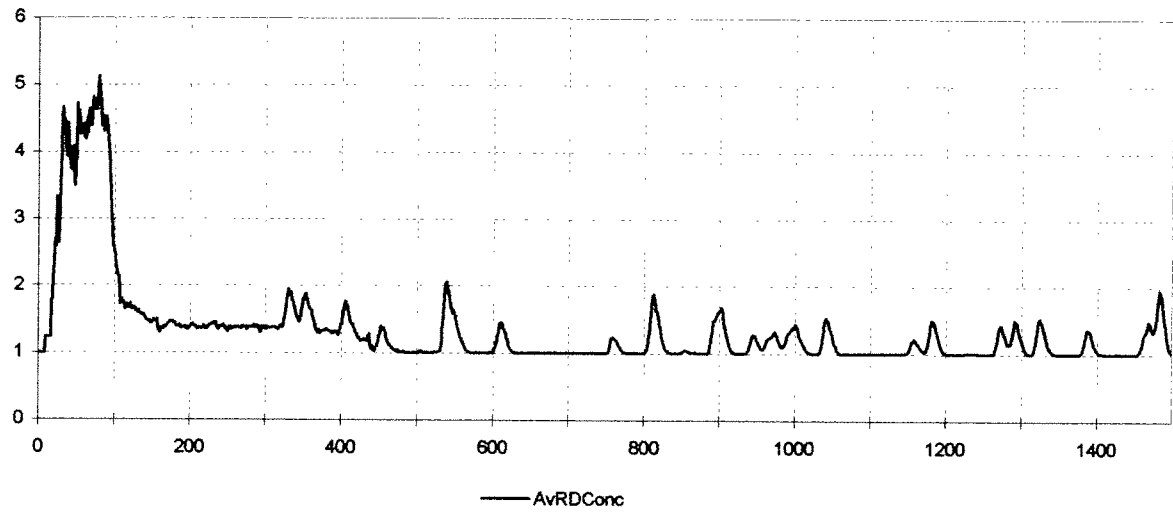


Figure 21: Sim 4, Valeurs technologiques moyennes de l'industrie.

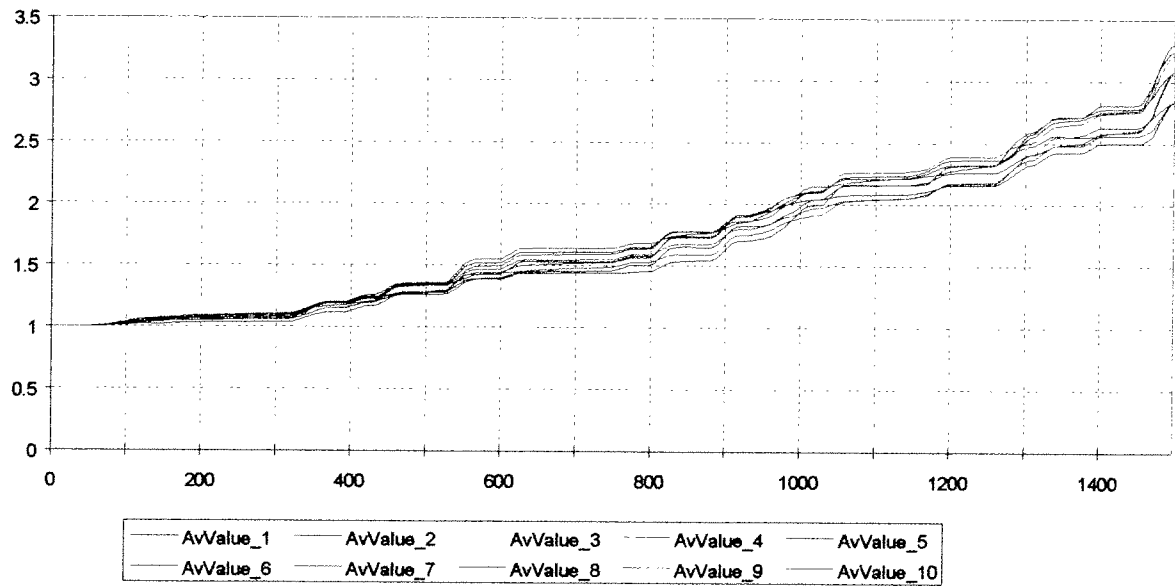


Figure 22 : Sim 4, Base installée dans la niche 9.

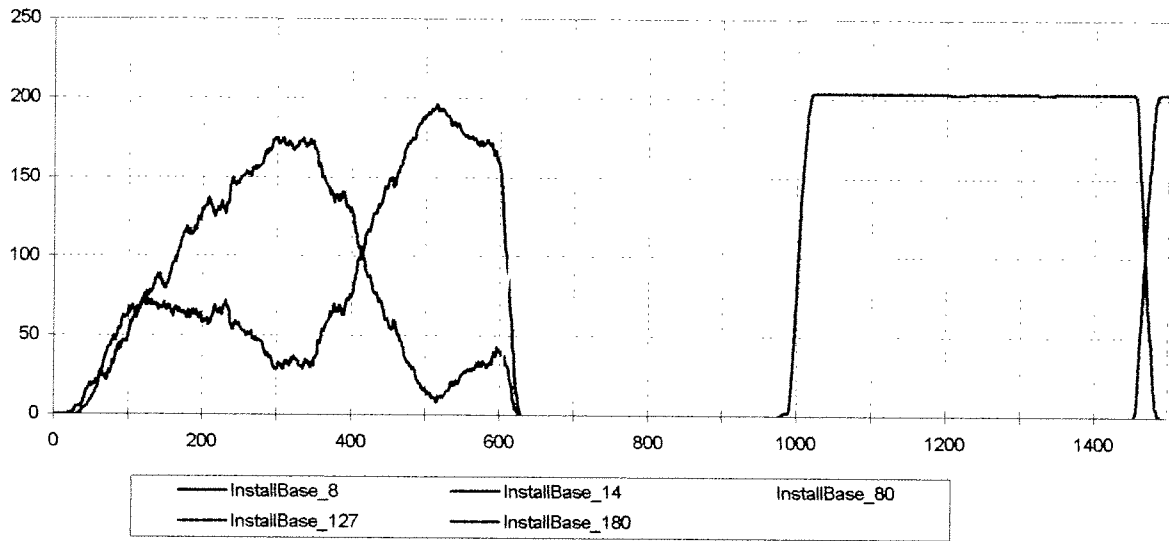


Figure 23 : Sim 4, Valeur moyenne de la technologie dans la niche 9.

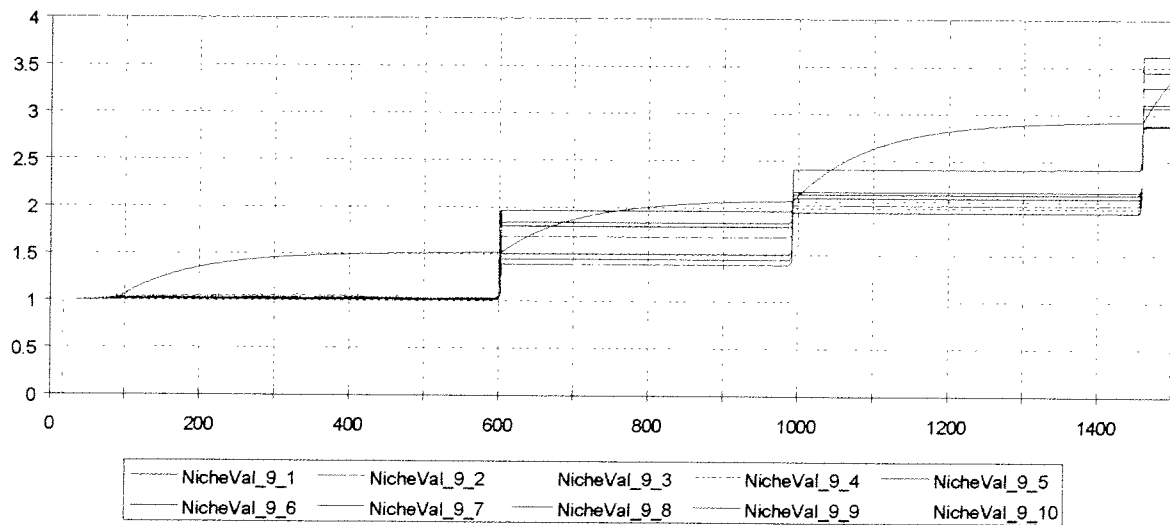
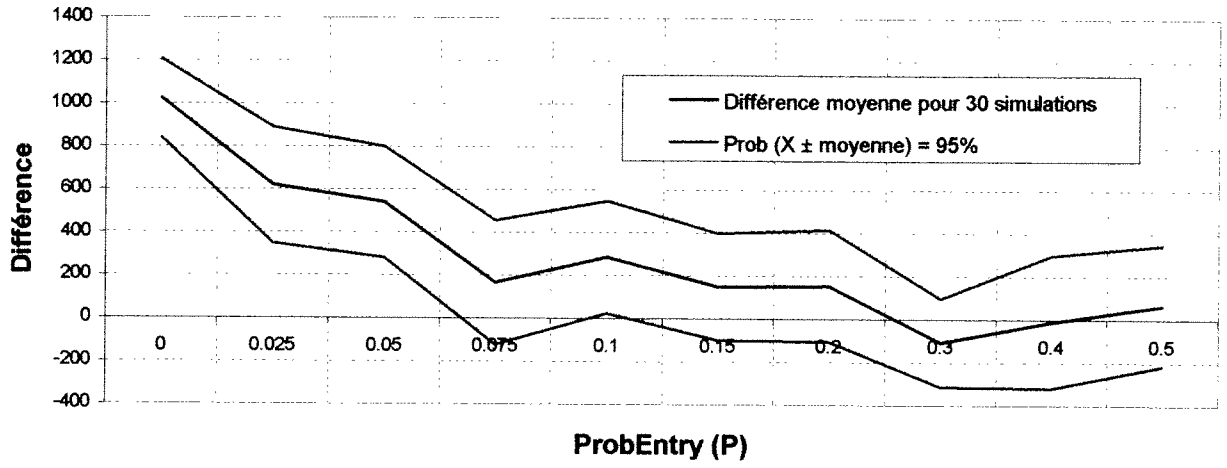


Figure 24 : Différence du nombre d'utilisateurs entre les deux groupes en fonction de P.





## 7 Conclusion

Le changement technologique peut s'accompagner d'importantes externalités découlant des complémentarités technologiques. Ainsi, puisque l'inventeur d'une nouvelle technologie ne peut s'approprier qu'une mince part des bénéfices sociaux engendrés par son idée, les économistes néo-classiques, comme les structuralistes, acceptent l'hypothèse selon laquelle il est socialement souhaitable d'accélérer le taux de changement technologique.

Cependant, la multitude de phénomènes entourant les changements technologiques et la complexité de leurs interrelations compliquent considérablement l'évaluation des divers programmes gouvernementaux qui tentent d'accroître la recherche et le développement à un niveau plus élevé que celui que l'on retrouve sur le marché libre. Les diverses études micro-économétriques qui tentent d'évaluer directement les effets de ces divers programmes de soutien à la recherche obtiennent des résultats variés et ne peuvent conclure à leur efficacité.

Ce travail a apporté quelques indices pouvant nous aider à mieux comprendre ces divergences. Nous avons examiné l'influence de divers facteurs sur l'efficacité des subventions à la recherche et développement en recourant à une modélisation évolutionniste. Comme nous l'avons souligné, cette approche se voulait complémentaire des théories plus traditionnelles et résultait du désir d'analyser les différents processus économiques dans une perspective de complexité.

Ainsi, nous avons considéré un marché désagrégé en plusieurs sous-unités, ayant un comportement individuel et interagissant de façon dynamique les unes avec les autres. Dans le modèle que nous avons utilisé, les nouveaux consommateurs modifiaient continuellement leurs préférences en fonction de l'état du marché et de la stratégie de marketing des producteurs. De plus, ils accumulaient de l'expérience leur permettant de mieux juger la valeur des différentes caractéristiques de chaque produit lors du processus d'achat. De leur côté, les producteurs développaient et apportaient des améliorations technologiques à leurs produits, en suivant une stratégie de R&D endogène. Les résultats obtenus étaient fonction de l'expérience de chaque producteur et des contraintes intertechnologiques exogènes. En remplaçant le système économique réel par un modèle plus simple mais ayant un comportement analogue, cette méthode d'étude nous a permis de procéder à un examen attentif de l'impact des subventions à la recherche.

Bien qu'il soit clair que le montant et la durée d'une subvention peuvent constituer des éléments très importants du succès d'un programme de soutien à la recherche et au développement, le moment durant lequel sont octroyées ses subventions semble également jouer un rôle décisif sur l'effectivité des divers programmes. Ainsi, comme nous l'avons vu, les subventions qui sont accordées au début du développement d'un marché semblent être beaucoup plus efficaces que des subventions accordées à un stade plus avancé. Ici, le temps peut donc expliquer une partie de la divergence des résultats obtenus entre les diverses politiques en matière de technologie.

Plusieurs exemples du monde réel démontrent que pour les diverses firmes qui se concurrencent dans un marché, le temps se définit souvent comme une ressource finie et limitée. En pareille occurrence, les décideurs publics devraient considérer la dimension économique du « temps » comme un élément essentiel de leurs diverses politiques en matière de technologie.

Nous avons également vu que le degré d'ouverture du marché aux nouveaux producteurs influence fortement le rendement des subventions. Ce résultat découle de l'hypothèse du modèle qui suppose que les nouveaux entrants (subventionnés ou non) pêchent aléatoirement dans le bassin des technologies déjà présentes dans l'industrie. Cette re-combinaison des différentes technologies permet à un nouveau producteur qui entre dans une niche de briser le *lock-in* et de chasser les producteurs présents, et ce, qu'ils soient subventionnés ou non. Cette capacité d'imitation dont disposent les entrants est un exemple d'externalités positives qui entraîne une sous-estimation de l'impact des subventions. Lors de leur « pêche » technologique, les nouvelles firmes profitent des connaissances accumulées de l'ensemble des firmes, incluant les firmes bénéficiant d'un soutien.

Les résultats obtenus dans ce travail, nous l'admettons, sont encore très préliminaires et invitent surtout à la réflexion. Une étude plus complète évaluerait non seulement l'impact direct des subventions sur les firmes qui les reçoivent, mais elle considérerait aussi les effets induits sur toute l'industrie ainsi que sur les consommateurs. Naturellement, dans de telles conditions, une description plus détaillée des diverses externalités de la R&D seraient nécessaires et désirables. La construction d'un nouveau modèle qui intégrerait les divers éléments des politiques en matière de technologie de façon plus réaliste permettrait également d'améliorer et d'étendre la portée de ce travail. Par exemple, dans un modèle plus complet, les différentes firmes pourraient participer aux activités de recherche et développement à l'intérieur d'un consortium partiellement subventionné, ce qui entraînerait divers échanges technologiques entre les firmes. En outre, l'hypothèse de sélection aléatoire des firmes qui reçoivent une aide gouvernementale pourrait être remplacée par les mécanismes de sélection présentement utilisés par les instances publiques. En dernier lieu, l'adaptation de ce modèle à un marché

spécifique réel ainsi qu'une détermination plus « *réaliste* » des différents paramètres qui le composent orienteraient les recherches et permettraient d'apporter des éclaircissements à un contexte particulier.

## Bibliographie :

- Aghion, P. et Howitt, P., "A model of growth through creative destruction", *Econometrica*, 60, 1992, 323-351.
- Andersen, E.S., *Evolutionary economics: post-Schumpeterian contributions*, Francis Pinter, London, 1994.
- Andersen, Esben S., Jensen, Anne K., Madsen, Lars et Jørgensen, Martin, *The Nelson and Winter models revisited: Prototypes for computer-based reconstruction of Schumpeterian competition*, DRUID Working Papers, Department of Business Studies, Aalborg University, 1996.
- Arthur, W.B., Durlauf, S.N. et Lane, D. (eds.), *The Economy as an Evolving Complex System II*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, Volume XXVII, Reading, MA: Addison Wesley, 1997.
- Bresnahan, T. and R. Gordon (Eds.), *The economic of new goods*, Chicago. University of Chicago Press, 1997.
- Branstetter, L. et Sakakibara, M., "Japanese Research Consortia: A Microeconomic Analysis of Industrial Policy", *Journal of Industrial Economics*, v. 46, iss. 2, 1998, 207-233.
- Cowan, R., Cowan, W. et Swann, P., "A model of demand with interaction among consumers", *International Journal of Industrial Organization*, 15, 1997, 711-732.
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. et Soete, L., *Technical change and economic theory*, Francis Pinter, London, 1988.
- Gigerenzer, G., "Rationality : Why social context matters" dans *Interactive minds : Life-span perspectives on the social foundation of cognition*, sous la direction de P.B. Baltes & U.M. Staudinger (Eds.), Cambridge University Press, 1996, 319-346.
- Gigerenzer, G. et Goldstein, D.G., "Reasoning the fast and frugal way: Models of bounded rationality", *Psychological Review*, vol. 103, (4), 1996, 650-669.
- Helpman, E., "Endogenous macroeconomic growth theory", *European Economic Review*, 36, 1992, 237-267.
- Irwin, D. A. et Klenow, P.J., "High-Tech R&D Subsidies: Estimating the Effects of Sematech", *Journal of International Economics*, v. 40, iss. 3-4, 1996, 323-344.
- Klepper, S., "Entry, exit, growth and Innovation over the product life cycle", *American Economic Review*, vol. 86, (3), 1996, 562-583.
- Klette, T.J. et Moen, J., "From Growth Theory to Technology Policy-Coordination Problems in Theory and Practice", *Nordic Journal of Political Economy*, , v. 25, iss. 1, 1999, 53-74.
- Klette, T.J., Moen, J. et Griliches, Z., "Do Subsidies to Commercial R&D Reduce Market Failures? Microeconomic Evaluation Studies", *Research Policy*, v. 29, iss. 4-5, 2000, 471-495.

- Lipsey, R.G. et Carlaw, K., *A Structuralist assessment of technology policies - Taking Schumpeter seriously on policy*, Ottawa, Industry Canada, 1998.
- Lucas, R.E.. "On the Mechanics of Economic Development" *Journal of Monetary Economics*, 22, 1988, 3-22.
- Mohnen, P., "R&D externalities and productivity growth", *STI Review*, 18, 1996, 39-66.
- Nelson, R. R. et Winter S.G., *An evolutionary theory of economic change*, Harvard University Press, Cambridge, 1982.
- Romer, P.M., "Increasing returns and long-run growth", *Journal of Political Economy*, 94, 1986, 1002-1037.
- Romer, P.M., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 98, 1990, S71-S102.
- Simon, H.A., "A behavioural model of rational choice", *Quarterly Journal of Economics*, 69, 1955, 99-118.
- Simon, H.A., *The sciences of the artificial*, MIT Press, Cambridge & London, 1969.
- Simon, H.A., *Models of bounded rationality*, MIT Press, Cambridge, 1982.
- Simon, H.A., "Invariants of human behavior", *Annual Review of Psychology*, 41, 1990, 1-19.
- Tesfatsion, L., *Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom*, <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.html>, 2002.
- Valente, M., *Lsd Introduction, Manuals, Downloads and Documentation*, <http://business.auc.dk/~mv/Lsd1.1/Intro.html>, 1998.
- Valente, M., *Technological Competition: a Qualitative Product Life Cycle*, Druid Working Paper No. 98-6, Department of Business Studies, Aalborg University, 1998.
- Valente, M., "A Model for the Evolution of Markets, Volume I", *Evolutionary Economics and computer simulation*, Thesis, Department of Business Studies, Aalborg University, 2000.
- Valente, M., "A Model for the Evolution of Markets, Volume II", *Evolutionary Economics and computer simulation*, Thesis, Department of Business Studies, Aalborg University, 2000.
- Valente, M., "A Model for the Evolution of Markets, Volume III", *Evolutionary Economics and computer simulation*, Thesis, Department of Business Studies, Aalborg University, 2000.
- Windrum, P., C., *Simulation models of technological innovation : A Review*, MERIT Working papers, University of Maastricht, 1999.
- Windrum, P. et Birchenhall, C., "Is life cycle theory a special case?, Dominant designs and the emergence of market niches through coevolutionary learning", *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 9, 1998, 109-134.