

MICROECONOMIE DE L'INNOVATION

Claude CRAMPES et David ENCAOUA

Toute action procurant un gain supérieur à son coût doit être entreprise et toute action dont le coût est supérieur au gain ne doit pas être entreprise. C'est sur cette norme élémentaire, mais très puissante, que sont bâtis le calcul micro-économique en général et la micro-économie de l'innovation en particulier. La difficulté particulière que pose l'analyse de l'activité de Recherche et Développement (R&D) provient de ce que son principal *input* et son principal *output* sont de l'information qui, quel que soit son degré d'intégration dans des systèmes complexes de connaissance, est à la fois très coûteuse à créer et copiable à coût presque nul. Comme le gain direct que peut retirer un agent d'une innovation particulière est en général assez petit, on arrive au paradoxe suivant : pour chaque agent, il peut être inefficace de créer (l'utilité étant plus faible que le coût) et efficace de copier (l'utilité étant positive, elle est plus grande que le coût de la copie qui est presque nul). Puisque tout agent économique rationnel prend ses décisions sur la base de ses gains et coûts futurs et remonte progressivement la chaîne des décisions jusqu'à la date présente, s'il anticipe qu'il ne pourra percevoir que son utilité directe, le candidat innovateur préférera s'abstenir. En revanche si, par un artefact commercial (réputation) ou juridique (droit de propriété), le candidat innovateur peut capter une partie des gains dont bénéficient les autres agents, alors il entreprendra un programme de R&D.

Quand plusieurs entreprises sont capables de mener à bien un programme de R&D, elles s'engagent dans une concurrence dont l'analyse requiert le recours à la théorie des jeux non coopératifs (Tirole, 1988). Chaque agent ou centre de recherche prend ses décisions en fonction de ce qu'il croit être l'avancement des travaux de ses concurrents ou partenaires, de leurs décisions courantes (s'il peut les observer) et des réactions des autres à ses propres décisions (si les autres les connaissent). De ce calcul naît une stratégie de meilleure réponse aux projets des autres et de la confrontation de ces meilleures réponses naît un équilibre du jeu de R&D, c'est-à-dire la détermination des plans de recherche arrêtés par les entreprises. Les caractéristiques de cet équilibre font généralement l'objet de deux types d'analyse : une analyse de sensibilité (ou statique comparative) pour savoir comment varient les programmes de recherche quand change l'un des paramètres structurant du modèle (par exemple, l'arrivée d'un challenger ou l'allongement de la durée maximum d'un brevet) et un test d'optimalité pour savoir si les efforts de recherche et/ou les flux d'innovation produits par les décisions privées des opérateurs sont excessifs ou au contraire trop faibles par rapport aux valeurs qui conduisent à l'optimum collectif.

Le chapitre est organisé de la façon suivante. La première partie détaille les mécanismes élémentaires qui poussent les entreprises à innover et les freins à leur effort quand l'appropriation des résultats n'est pas parfaite. La deuxième partie présente la distinction entre innovation de produit et innovation de procédé. La troisième partie s'intéresse aux aspects stratégiques et dynamiques de l'innovation en analysant les modèles d'enchères et les courses au brevet. Deux effets sont analysés, d'une part, celui de la concurrence pour l'obtention de l'innovation et, d'autre part, celui de la concurrence sur le marché des produits. On examine ainsi la validité de l'argument schumpétérien qui fait des monopoles les moteurs essentiels de la R&D. La quatrième partie examine les facteurs influençant le rythme des innovations. La cinquième partie aborde l'aspect spatial et sectoriel de l'économie de l'innovation en introduisant les effets externes positifs créés dans l'entourage des innovateurs (effets de débordement et effets d'agglomération). Enfin, la sixième partie est consacrée aux instruments institutionnels qui permettent de promouvoir l'effort de R&D, en particulier le système des brevets et des licences.

1. Innovation et mécanismes de marché.

Depuis l'article fondateur de Kenneth Arrow (1962), on comprend mieux les raisons pour lesquelles l'allocation des ressources et la coordination par les forces du marché ne sont pas toujours optimales pour la production d'innovations sur le plan collectif. Deux raisons sont au cœur de l'analyse : les risques inhérents à toute recherche et la nature de bien public des produits de la recherche.

1.1 Les risques de la recherche

La décision d'innover est un processus risqué, puisqu'en général l'innovateur n'est pas assuré à l'avance que son effort d'invention sera récompensé sur le plan commercial ni même qu'il va aboutir sur le plan technologique. Comme dans le cas d'autres activités économiques dont le résultat est entaché d'incertitude, on peut se demander si un mécanisme d'assurance ne pourrait pas protéger l'innovateur contre ces aléas et conduire à une allocation optimale des ressources dans un univers incertain. La réponse est négative. Certes, des financements spécifiques du capital-risque existent, mais ils permettent au mieux d'alléger les obstacles au financement de l'innovation sans constituer pour autant un véritable mécanisme d'assurance. L'inefficacité à laquelle conduirait l'existence d'un tel mécanisme peut être aisément perçue.

Du fait de l'impossibilité d'observer et de contrôler l'effort de recherche individuel, un mécanisme d'assurance contre le risque d'échec de production d'un nouveau bien ou de mise au point d'un nouveau procédé ne peut en effet qu'affaiblir les incitations individuelles d'un innovateur à réussir son projet. Il n'est donc pas collectivement efficace d'assurer l'activité individuelle d'innovation contre le risque d'échec. Ce qu'on observe plutôt, ce sont des mécanismes d'auto-assurance ou de gestion des risques. Ainsi, les grandes entreprises ont souvent un avantage important par rapport aux innovateurs individuels parce qu'elles ont les moyens de mener plusieurs projets de recherche simultanément et de diversifier les risques correspondants. Un tel mécanisme d'auto-assurance par la gestion d'un portefeuille de projets de recherche discrimine clairement entre ceux qui ont les moyens d'entreprendre simultanément plusieurs projets de recherche et les autres. C'est une première source d'imperfection des forces du marché dans l'allocation des ressources pour la production d'innovations. On retrouve là une certaine justification du premier argument schumpétérien selon lequel les grandes entreprises auraient un avantage, en matière d'innovation, sur les unités atomistiques des marchés de concurrence parfaite. Notons bien cependant qu'il ne s'agit à ce stade que d'un avantage en termes de *diversification des risques* et non en termes de *intensité de la recherche* ou de *rythme des innovations*. Nous aurons l'occasion dans la suite de préciser les autres arguments schumpétériens en ces domaines.

1.2 Connaissance et marché

Une deuxième imperfection tient à la nature du bien connaissance qui est le résultat de l'innovation. Est-il possible de concevoir un marché où s'échangeraient des informations liées à la connaissance ? Dans certains cas, de tels marchés existent et jouent un rôle important. On peut citer par exemple les journaux spécialisés pour lesquels il existe une demande et une offre d'informations spécifiques. Mais dans d'autres cas qui intéressent au premier chef l'innovation, les caractéristiques de la connaissance empêchent l'existence d'un marché. En tout premier lieu, si l'acheteur doit connaître le contenu de la connaissance pour en estimer la valeur avant de l'acquérir, on ne voit pas pour quelle raison, après avoir obtenu l'information, il serait encore disposé à en payer le prix. Le producteur ne serait donc plus incité à consentir l'effort en temps et en argent pour produire un bien dont il ne pourrait tirer aucun revenu. Ceci se résume à un argument bien connu. La connaissance est coûteuse à produire mais, à l'inverse des biens traditionnels, une fois produite, elle n'a pas besoin d'être reproduite pour être utilisée et elle peut être utilisée par chacun sans perdre pour autant son utilité intrinsèque.

Contrairement à la plupart des biens courants, la connaissance est un bien pour lequel il n'y a *pas de rivalité entre les consommateurs* car elle n'est pas détruite par l'usage. Pour créer l'incitation à la production de connaissance, il faut donc, soit confier cette activité à la sphère publique (comme cela est en général le cas de la recherche de base), soit l'étendre à la sphère privée en l'accompagnant d'une certaine forme de protection de la propriété intellectuelle, c'est-à-dire en garantissant au producteur individuel de la connaissance un *droit de propriété* plus ou moins exclusif lui permettant de percevoir des revenus issus de l'utilisation de cette connaissance. C'est le rôle des brevets et des licences d'exploitation sur lesquels nous revenons plus loin.

Ces titres de propriété constituent une deuxième source d'inefficacité économique : l'attribution par la société d'un droit de propriété intellectuelle ou industrielle au producteur de l'innovation est à la fois une condition nécessaire à sa production et une source de pouvoir de monopole dans son exploitation. Remarquons que l'exclusivité attachée à la propriété de la connaissance peut être totale ou partielle. Le *degré d'exclusivité* dans l'usage d'un bien détermine ainsi la mesure dans laquelle son propriétaire peut faire payer un droit pour son utilisation. Les biens qui sont à la fois *sans rivalité* et *non exclusifs* sont des *biens publics purs* dont un exemple type est donné par les connaissances de base issues de la recherche fondamentale. Les biens qui sont à la fois *non rivaux* et *exclusifs* sont des *biens publics marchands* dont un exemple type est précisément donné par les connaissances résultant des innovations industrielles. Dans les deux cas, la connaissance a des attributs qui la rapprochent bien plus d'un *bien public* que d'un bien privé.

On peut tirer de ce qui précède une conclusion importante. Au niveau global, les connaissances nouvelles produites par des agents privés sont étroitement liées aux *rendements d'échelle croissants* et à la *concurrence imparfaite*. C'est cette idée qui est abondamment exploitée dans les modèles de croissance endogène (Jones, 2000). Les rendements d'échelle croissants se comprennent aisément. La création d'une connaissance implique un coût fixe initial élevé sous la forme d'un investissement en dépenses de recherche. Mais, comme on l'a dit plus haut, une fois la connaissance produite, elle n'a pas besoin d'être reproduite et la production des biens ou des services incorporant cette connaissance peut se réaliser à un coût marginal qui peut être faible. Le prix de vente ne peut correspondre au coût marginal et cela conduit indéniablement à une source d'inefficacité économique. Mais cette inefficacité de marché peut être qualifiée de *nécessaire* au sens où la perspective d'un profit futur (impliquant à la fois le recouvrement du coût fixe et l'obtention d'une rente liée à l'exploitation de la découverte) est une condition nécessaire à la production de l'innovation

industrielle. Le profit est ainsi non seulement une motivation de l'innovation industrielle mais également une condition nécessaire. A titre d'illustration, les études économétriques estiment le taux de rendement moyen de l'investissement en recherche dans une fourchette de 15 % à 30 %, alors que le rendement moyen du capital physique varie entre 10% et 15%. De plus, sur le plan statistique, la distribution des profits liés à l'innovation est caractérisée par une très forte asymétrie et les estimations les plus robustes sont obtenues par des lois à queue droite épaisse traduisant le fait que les profits réalisés par un nombre réduit d'innovations, celles ayant connu le plus grand succès commercial, constituent une part notable de l'ensemble des profits issus de l'innovation.

2. Innovation de produit et innovation de processus

L'activité innovatrice des entreprises s'exerce à la fois sur la technologie et les modes d'organisation de la production d'une part, et sur les produits mis en vente, qu'il s'agisse de leur qualité ou de leur variété, d'autre part (Beath et Katsoulacos, 1991). Modéliser une activité de recherche permettant de faire baisser les coûts pour un ensemble de produits aux caractéristiques inchangées est *a priori* plus simple que d'envisager une modification des caractéristiques des produits. Cela explique que les économistes aient d'abord travaillé sur les *innovations de processus*, la technologie étant entièrement résumée dans la fonction de coût. La *création de nouveaux produits* ou *l'amélioration de produits existants* sont des innovations plus difficiles à étudier dans la mesure où elles affectent l'espace de choix des consommateurs. Pour contourner la difficulté d'une variation discontinue du nombre de biens disponibles (ce qui empêche d'utiliser les outils standards du calcul marginal), les économistes considèrent parfois que la palette des produits disponibles peut être représentée par une variable continue et peut donc être accrue à la marge. C'est maintenant une hypothèse couramment employée dans les modèles de croissance endogène.

En l'absence de dimension stratégique, l'incitation à la recherche pour améliorer les procédés de production se modélise par un arbitrage élémentaire entre coûts de recherche et coûts de production : le bon niveau d'effort est celui pour lequel le dernier euro investi dans le programme de recherche est compensé par une baisse égale du coût de production. Mais dans un calcul global au niveau de l'entreprise, le niveau des coûts dépend de la politique commerciale. Donc, dans un modèle micro-économique de l'entreprise, même l'effort d'innovation de processus dépend de la valorisation qui sera faite ultérieurement de *l'output* issu du processus. *A fortiori*, l'analyse micro-économique met en avant l'influence des

modalités de concurrence aval sur l'effort de R&D en processus. Par exemple, si on part d'une situation d'équilibre de Cournot (les entreprises choisissent leur *output* sans observer celui des concurrents et sans se consulter, le prix étant alors fixé à l'équilibre du marché), et si l'une des entreprises a la possibilité de faire baisser son coût de production, elle ne va pas se contenter de minimiser ses coûts totaux à niveau de production inchangé. L'occasion qui lui est donnée de gagner des parts de marché sur ses rivales grâce à un avantage de coût structurel va la conduire à surinvestir en R&D. Face aux mêmes possibilités de réduction de leurs coûts par un effort de recherche, toutes les entreprises vont surinvestir, ce qui constitue un exemple du Dilemme du Prisonnier¹ puisque leur situation après recherche est moins bonne que ce qu'elle était avant. Dans certains cas, une entreprise peut exclure ses rivales du marché par une *innovation drastique* : elle parvient à faire baisser son coût de production tellement que, même au prix de monopole, son produit est vendu en dessous du prix coûtant de ses concurrentes potentielles.

En ce qui concerne les produits, il est courant de les caractériser par leur *qualité* (tout le monde préfère une voiture qui consomme peu de carburant à une voiture qui consomme beaucoup) et par leur *variété* (certains préfèrent les voitures à quatre portes, d'autres les voitures à deux portes). Innover en proposant une *qualité supérieure* est une menace directe contre les produits existants que le nouvel arrivant vise à remplacer : un raisonnement en termes d'*innovation drastique* ou *non drastique*, semblable à celui employé pour les baisses de coût, permet d'évaluer l'incitation des entreprises à rechercher une amélioration de qualité.

En revanche, quand il s'agit de *variété* (ou différenciation horizontale), on obtient des résultats plus riches en recourant à des modèles avec adresses, c'est-à-dire des modèles dans lesquels les consommateurs sont dispersés en fonction de leurs préférences pour les caractéristiques des produits. Les consommateurs se voient proposer des produits qui ne correspondent pas exactement à ceux qu'ils souhaiteraient trouver. Donc, en faisant l'acquisition d'un des produits disponibles, un consommateur subit une désutilité d'autant plus grande que la gamme disponible diffère de l'idéal qu'il recherche. *L'innovation de produit* s'interprète alors comme une opération consistant à mettre sur le marché un produit permettant de réduire la distance moyenne entre la localisation des clients et la localisation des produits. La *prolifération des produits* est un moyen d'occuper le terrain et, par-là, de se protéger contre d'éventuelles entrées de concurrents. De fait, dans de nombreux secteurs, on observe une multiplication des variantes d'un même produit qui, sous prétexte d'innovation, sert surtout à bloquer l'entrée de concurrents (Gilbert et Newbery, 1982). Mais la prolifération

¹ Le Dilemme du Prisonnier décrit un jeu non coopératif dans lequel l'équilibre résultant des choix individuels

peut aussi être le fait de nouveaux entrants comme c'est le cas dans le domaine pharmaceutique où, à l'expiration des brevets protégeant les molécules princeps, de petits laboratoires peuvent utiliser l'information devenue publique pour produire des médicaments génériques (Scherer, 2001).

Une *innovation drastique* de processus (technologie permettant de vendre à un prix de monopole inférieur au coût de production des autres sans altérer la qualité du produit) ou de qualité des produits (accroissement de la qualité sans augmentation de coût) permet d'exclure les concurrents du marché si les innovations concernées peuvent faire l'objet d'une protection juridique, commerciale ou technique. Dans le domaine des biotechnologies, beaucoup de produits obtenus par recombinaison ne sont pas brevetables car ils existaient déjà à l'état naturel ; en revanche, le processus permettant de les obtenir peut être protégé. Il ne faut donc pas oublier que, sans un environnement juridique favorisant une panoplie diversifiée de moyens légaux permettant de s'approprier le fruit des efforts de R&D, l'incitation à innover est considérablement affaiblie.

3 Les aspects stratégiques de l'innovation

Quand plusieurs entreprises lancent simultanément un programme de R&D portant sur un même domaine, leurs décisions doivent être interdépendantes, en ce sens qu'elles sont basées sur ce qu'elles estiment que leurs rivaux font ou vont faire en matière d'innovation. Ceci modifie l'issue du processus. Par ailleurs, la structure de marché et l'intensité de la concurrence avant la découverte affectent les incitations à innover. Dans l'étude des aspects stratégiques de l'innovation industrielle, on examine successivement les effets relatifs à deux facteurs : la *concurrence pour l'obtention de l'innovation* et la *concurrence sur le marché des produits*.

3.1 La concurrence pour l'obtention de l'innovation.

La représentation des effets de *la concurrence pour l'obtention d'une innovation* donnée a été menée dans le cadre de deux types de modèles : les modèles déterministes d'enchères (procédures de type *appel d'offres* ou *concours*) et les modèles stochastiques de course au brevet (procédures de type *tournoi*).

n'est pas le meilleur choix pour la collectivité des joueurs.

3.1.1 Les modèles déterministes d'enchères

Dans ce premier type de modèle (Dasgupta et Stiglitz, 1980), on suppose que plusieurs firmes identiques et ayant un même taux d'actualisation r cherchent à obtenir une innovation spécifique dont la valeur P est connue et commune à tous les participants. Chaque entreprise exprime sa disponibilité à investir sous forme d'une enchère donnant le montant de ressources qu'elle est prête à engager dans la recherche. Seule l'entreprise ayant exprimé l'enchère la plus élevée s'engage dans la recherche et réalise l'investissement correspondant. La stratégie d'une firme est ainsi le choix d'une enchère qui, si elle venait à être gagnante, exprime le montant d'investissement à réaliser aujourd'hui pour l'obtention ultérieure de l'innovation. Si une enchère n'est pas gagnante, elle ne donne lieu à aucun investissement. Le modèle déterministe a ainsi la structure d'un *appel d'offres* ou d'un *concours*. La date à laquelle une firme ayant gagné l'enchère parvient à l'innovation est donnée par une fonction déterministe T , décroissante et convexe du montant de son investissement, de sorte que la firme qui obtient l'innovation en premier est celle dont l'enchère est la plus élevée. Une façon simple d'interpréter ce modèle est de supposer que les firmes s'adressent à un laboratoire de recherche extérieur pour lui commander une recherche. Le laboratoire fournit le résultat de sa recherche à l'entreprise dont la disponibilité à payer est la plus élevée à une date qui est d'autant plus proche que le montant payé est plus élevé.

Si on suppose que la valeur P de l'innovation ne dépend pas de la date à laquelle elle est obtenue, le gain d'une firme dont la disponibilité à investir x est la plus élevée s'écrit $V(x) = P \exp(-rT(x)) - x$, tandis que le gain d'une firme dont la disponibilité à investir est plus faible est égal à 0.

A l'équilibre de Nash² du jeu non coopératif correspondant, les propriétés suivantes sont satisfaites :

- i/ le montant de l'enchère gagnante x^* est celui qui annule la valeur actualisée de l'investissement : $P \exp(-rT(x^*)) - x^* = 0$;
- ii/ au moins deux firmes, participant au concours, enchérissent à hauteur de x^* ;
- iii/ seule une firme (choisie au hasard au sein des firmes ayant soumis l'enchère gagnante) réalise un investissement de recherche correspondant à ce montant x^* .

L'intuition de ces résultats est claire : la concurrence potentielle pour l'obtention de l'innovation conduit à une *dissipation de la rente*. Le profit de la firme gagnante est nul et les firmes ayant enchéri pour un montant inférieur n'investissent pas en recherche. Remarquons

que le même résultat aurait été obtenu si au lieu de supposer que les firmes réalisent des enchères simultanées, on avait supposé qu'une firme dispose d'un avantage de premier intervenant. Remarquons également que si tous les participants avaient créé une "joint-venture" pour agir de manière coopérative comme l'aurait fait un monopole, le montant optimal de l'enchère x^{**} aurait été donné par $x^{**} = \text{Argmax}[P \exp(-rT(x)-x)]$. Il est facile de vérifier que $x^{**} < x^*$ de sorte que ce modèle conduit à la conclusion importante suivante : la concurrence pour l'obtention de l'innovation conduit à un investissement de recherche supérieur à celui qu'entreprendrait une firme unique, du fait de l'absence de coordination que la concurrence implique. De plus, cette concurrence pousse la firme gagnante à accroître sa dépense jusqu'au niveau qui épuise la valeur actualisée des gains futurs.

3.1.2 Les modèles stochastiques de course au brevet

Dans les modèles stochastiques de course au brevet (Loury, 1979, Lee et Wilde, 1980), la date d'obtention de l'innovation n'est plus supposée déterministe. C'est une variable aléatoire τ représentée par une fonction T décroissante en fonction du niveau x de l'investissement : $\tau = T(x)$. Afin de simplifier le problème, cette variable aléatoire est supposée suivre une loi exponentielle : $Pr[\tau = T(x) < t] = 1 - \exp(-f(x)t)$, où la fonction $f(x)$ représente le *taux de hasard* de la découverte, c'est-à-dire la probabilité instantanée de réussite. La date de succès suit ainsi un processus de Poisson dont le taux de hasard dépend de l'investissement. On suppose que la fonction f est strictement croissante, concave et que $f(0) = 0$. Notons que, contrairement au modèle d'enchères précédent, dans une course au brevet tous les participants réalisent un investissement en recherche, y compris les perdants. Seule la firme qui fait la découverte en premier s'approprie l'innovation de valeur P . La course au brevet prend ainsi la forme d'un *tournoi*. Le nombre de firmes participant à la course est noté n et c'est cette variable qui sert à mesurer l'intensité de la concurrence pour l'obtention de l'innovation. Comme précédemment, la valeur du brevet ne dépend pas de la date d'obtention. Les modèles de Loury (1979) et Lee et Wilde (1980) diffèrent par le traitement de la dépense de recherche.

Dans le modèle de Loury, l'investissement en recherche a la nature d'une *dépense fixe* réalisée une fois pour toutes par chaque firme au début de la course. Par exemple, cette dépense est fonction de la taille du laboratoire de recherche qu'il faut construire pour participer à la course. Dans ces conditions, si on note x la dépense d'investissement d'une

² Dans la théorie des jeux non coopératifs, l'équilibre de Nash est la situation dans laquelle aucun joueur ne regrette son choix étant donné le choix des autres.

firme et a la dépense d'investissement agrégée des $(n-1)$ autres participants à la course, l'expression de l'espérance de la valeur actualisée des gains de la firme s'écrit : $V(x, a) = [Pf(x)/(a+f(x)+r)] - x$.

Si on désigne par $x^*(n)$ la valeur d'équilibre symétrique (équilibre de Nash du jeu correspondant à une course au brevet à n participants), on obtient alors, par une analyse de statique comparative, les résultats suivants :

i/ Le niveau d'investissement individuel $x^*(n)$ décroît avec le nombre n de participants à la course, mais l'investissement agrégé $nx^*(n)$ croît avec n .

ii/ Un accroissement du nombre n de participants à la course conduit à une réduction de l'espérance de la date de succès de l'innovation, c'est-à-dire la date de la première découverte $T(n) = 1/(nf(x^*(n)))$.

iii/ L'investissement agrégé d'équilibre $nx^*(n)$ est plus élevé que ne le serait l'investissement optimal x^{**} résultant d'un comportement coopératif des n firmes agissant comme un seul joueur qui maximise la somme des profits.

Le modèle montre donc que la concurrence pour l'innovation, mesurée par le nombre de participants à la course, est favorable à l'investissement agrégé en recherche. Elle rapproche la date espérée de découverte. Elle conduit à un niveau total de dépenses excessif par rapport à ce qu'il serait collectivement optimal de réaliser. Notons cependant la particularité que constitue la première partie du résultat *i/* ci-dessus : dans le modèle de Loury, l'investissement individuel décroît avec le nombre n de participants à la course, même si l'investissement agrégé croît avec n .

Cette particularité a amené Lee et Wilde à proposer une reformulation du problème. Au lieu de supposer que l'investissement en recherche est un coût fixe engagé une fois pour toutes au début de la course, ces auteurs proposent de retenir l'hypothèse plus réaliste selon laquelle la dépense en recherche dure tant que la découverte n'a pas été réalisée. C'est donc d'un *flux continu de dépenses* qu'il s'agit. L'accent est ainsi mis sur l'intensité de la recherche en termes de rémunération des chercheurs plutôt que sur la taille du laboratoire. Dans ces conditions et en gardant les notations précédentes, l'espérance de la valeur actualisée de gain de la firme s'écrit : $V(x, a) = [(Pf(x) - x)/(a + f(x) + r)] - F$, en notant F le coût fixe éventuel lié à l'entrée dans la course (construction du laboratoire).

Tous les résultats de Loury sont alors inchangés à l'exception du résultat *i/* ci-dessus qui est remplacé par le résultat *i'/* suivant :

i'/ Lorsque l'investissement en recherche prend la forme d'un flux constant de dépenses, supportées tant que la découverte n'a pas été réalisée, le niveau d'investissement individuel $x^*(n)$ croît avec le nombre n de participants à la course.

Ces résultats montrent que la concurrence pour l'obtention de l'innovation mesurée par le nombre de participants à la course accroît l'investissement en recherche, tant au niveau individuel qu'au niveau agrégé. C'est ce résultat qui a vraisemblablement incité les autorités américaines de défense de la concurrence à introduire un nouveau concept de *marché pertinent* dans l'analyse des abus de position dominante à l'interface du droit de la propriété intellectuelle et du droit de la concurrence. Ce nouveau concept est celui du *marché de l'innovation*. L'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle peut être qualifiée d'abusives si elle conduit à restreindre le nombre d'entrants pour l'obtention d'innovations ultérieures (marché de l'innovation), même si cette utilisation ne peut être qualifiée d'abusives au regard du marché pertinent des produits. Cet argument a été utilisé à l'encontre du producteur de microprocesseurs Intel qui a menacé des producteurs de logiciels détenant par ailleurs quelques brevets relatifs à des microprocesseurs de ne plus leur vendre son Pentium s'ils ne lui cédaient pas leurs brevets. Le « *Department of Justice* » américain a considéré que ce comportement était répréhensible, non pas au regard du fonctionnement du marché des microprocesseurs où Intel dispose pourtant d'une part de plus de 80%, mais plutôt au regard du marché (virtuel) de l'innovation, dans la mesure où cette menace ne pouvait que réduire l'incitation d'autres entreprises à développer de nouveaux savoir-faire dans le domaine des microprocesseurs.

Avant de clore cette partie, on peut faire deux remarques. La première est que, comme nous l'avons vu, les modèles déterministes et les modèles stochastiques génèrent un niveau d'investissement excessif par rapport à ce qu'il serait collectivement optimal de réaliser. La raison en est double. D'une part, chaque participant à la course cherche à en être le vainqueur, alors que la société n'est intéressée que par la réalisation de l'innovation, quel qu'en soit l'auteur. D'autre part, si trop de firmes participent à la course au brevet correspondant à une même innovation, cela entraîne une duplication des efforts de recherche et une certaine forme de gaspillage.

La deuxième remarque est que, pour parvenir à des résultats analytiques, la plupart des modèles de course au brevet utilisent l'hypothèse simplificatrice d'un *flux constant de dépenses de recherche au cours du temps*. Cela revient à postuler que le taux de hasard de la découverte ne varie pas selon qu'on est plus ou moins proche de la cible ou selon l'importance des dépenses antérieures ou encore selon l'état d'avancement des recherches des

concurrents. En d'autres termes, les processus utilisés sont dits "sans mémoire". Il est clair que cette hypothèse se justifie bien plus par la commodité de calculs qu'elle permet que par son réalisme. D'autres travaux, sur lesquels on ne peut s'étendre ici mais qui sont présentés dans l'article de synthèse de Reinganum (1989), ont introduit des considérations dynamiques et un traitement plus approprié des *effets de mémoire* dans les courses au brevet.

3.2 La concurrence sur le marché des produits.

L'influence sur l'innovation de la concurrence sur le marché des produits a fait l'objet de nombreux travaux. Avant d'en présenter les idées essentielles, rappelons la prédiction de Schumpeter (1942) sur cette question. Au-delà de l'avantage, mentionné plus haut, des grandes entreprises en matière de diversification des risques, Schumpeter défendait l'idée que, du fait de leur pouvoir de marché, les monopoles étaient en meilleure position que les entreprises d'un marché concurrentiel pour assurer les investissements en recherche nécessaires à l'innovation. De ce fait, ils constitueraient selon Schumpeter un mal nécessaire pour parvenir à l'efficacité dynamique d'un système économique. Rappelons que, dans cette conjecture, il ne s'agit pas du monopole *ex post*, c'est à dire du monopole résultant d'une découverte protégée par un brevet, mais du monopole *ex ante*, en tant que structure de marché prévalant avant la réalisation de la découverte.

3.2.1 L'effet de remplacement.

Dans l'article déjà cité, Arrow (1962) a montré que la position de Schumpeter sur ce point était erronée. Il est en effet très simple de montrer dans le cas d'une innovation de procédé consistant à abaisser le coût marginal de production que l'incitation d'un monopole à innover est plus faible que celle d'une entreprise en concurrence parfaite. Ce résultat, connu sous le nom *d'effet de remplacement*, traduit simplement le fait qu'en réalisant une innovation de procédé, un monopole s'assure un différentiel de gain plus faible que celui d'une entreprise en concurrence parfaite. En effet, en innovant, un monopole se remplace lui-même en passant simplement d'un profit de monopole avant l'innovation à un profit de monopole plus élevé après l'innovation, alors qu'une entreprise en concurrence parfaite obtient un différentiel de profit plus élevé puisqu'elle passe d'un profit nul avant l'innovation à un profit de monopole après l'innovation.

3.2.2 *L'effet d'efficacité.*

Que se passe-t-il à présent si le monopole est contraint par la *menace d'entrée d'un concurrent potentiel* ? Gilbert et Newbery (1982) ont examiné cette question dans le cadre d'un modèle déterministe d'enchère. Si le monopole exprime la plus forte disponibilité à investir, la firme installée conserve son monopole. Si c'est le concurrent qui exprime la plus forte disponibilité, le concurrent entre sur le marché en réalisant l'innovation et le marché est alors partagé entre le concurrent et la firme installée. La disponibilité à investir de la firme installée est ainsi égale à la différence entre le profit de monopole qu'elle obtient en réalisant elle-même l'innovation et le profit de duopole qu'elle obtient en laissant son concurrent potentiel réaliser l'innovation. Si cette différence est supérieure au profit de duopole qu'obtient le concurrent en réalisant lui-même l'innovation, condition qu'on exprime sous le nom d'*effet d'efficacité*, le monopole est incité à réaliser l'innovation et à se maintenir en tant que monopole. Sa disponibilité à investir est donc la valeur qui annule le profit actualisé du concurrent potentiel. Ainsi, *l'effet d'efficacité* expliquerait la *persistance* du monopole par le pouvoir dont dispose ce dernier d'empêcher l'innovation du concurrent. Une stratégie de prolifération de brevets, comme celle utilisée par Xerox dans les années 1960 dans le domaine des photocopieurs, en constitue une bonne illustration.

3.2.3 *Persistance du monopole.*

Reinganum (1989) a réexaminé la question de la *persistance* du monopole dans le cadre d'un modèle stochastique de course au brevet. Elle montre que si la firme qui réussit en premier parvient à capter une part suffisamment grande du marché après l'innovation, la disponibilité à investir de la firme installée est plus faible que celle du concurrent potentiel à l'équilibre de Nash du jeu correspondant. La *persistance* du monopole n'est donc plus assurée dans ce cadre et c'est plutôt à un résultat d'*alternance* que l'on parvient. Pour saisir l'intuition de ce résultat, supposons que l'innovation soit *drastique*, c'est-à-dire que le premier innovateur capture tout le marché après l'innovation en pratiquant un prix de monopole. Dans le cadre du modèle stochastique, la date d'obtention de l'innovation est incertaine. La durée de la période pendant laquelle la firme installée perçoit son profit de monopole est une variable aléatoire qui, en probabilité, est d'autant plus courte que le montant investi en recherche (par la firme installée ou par le concurrent) est élevé. Ce qu'exprime alors la

propriété *d'alternance*, c'est que la firme installée est moins incitée que le concurrent potentiel à réduire la durée de cette période.

3.2.4 *Pression concurrentielle.*

Un travail plus récent (Boone (2000)) cherche à élargir les indicateurs servant à mesurer la pression concurrentielle que subit une firme sur le marché des produits. Il distingue trois types de variables : la structure des coûts relatifs, le nombre de concurrents et l'intensité de la concurrence en matière de détermination des prix ou des quantités. Il parvient à montrer que l'effet d'un accroissement de l'intensité de la concurrence sur l'incitation à innover d'une firme dépend de deux éléments : d'une part, le niveau relatif de son coût par rapport à celui des concurrents, d'autre part, le fait que l'incitation à innover porte sur une innovation de produit ou sur une innovation de procédé. Trois résultats principaux sont ainsi obtenus.

i/ Lorsque la firme dispose d'un avantage substantiel sur ses concurrentes en matière de coût, l'incitation à réaliser une innovation de produit est d'autant plus forte que la concurrence est élevée sur le marché des produits.

ii/ Lorsque le coût de la firme est proche de celui de ses concurrents, l'incitation à réaliser une innovation de procédé est d'autant plus forte que la concurrence est élevée sur le marché des produits.

iii/ Enfin, une augmentation de la pression concurrentielle sur le marché des produits ne peut accroître simultanément les innovations de produit et les innovations de procédé dans un secteur.

Ce modèle est intéressant à la fois parce qu'il introduit des effets de seuil dans la relation entre concurrence et incitation à innover, conduisant à remettre en cause la monotonie de cette relation et parce qu'il distingue les innovations de procédé et de produit, conduisant à établir un *arbitrage* entre les incitations à réaliser ces deux types d'innovations.

Au total, on retiendra de ce qui précède que la concurrence effective et potentielle est en général favorable au progrès technique, à la fois en tant que source directe de l'innovation et en tant qu'aiguillon pour accroître l'incitation à innover des firmes installées. Cette prédiction théorique se situe à l'opposé de l'effet schumpétérien. Cependant, les travaux les plus récents, comme ceux de Boone, laissent penser que l'effet schumpétérien n'est pas complètement absent. Au-delà d'un certain seuil, l'effet de la pression concurrentielle sur l'incitation à innover peut en effet être négatif. Ces idées sont maintenant intégrées dans des modèles de croissance endogène pour évaluer l'effet de la concurrence sur la croissance

économique (Encaoua et Ulph, 2000). Des études empiriques récentes confirment par ailleurs l'existence d'une relation non monotone entre pression concurrentielle sur le marché des produits et innovation. Il existe un seuil d'intensité de la concurrence en dessous duquel la pression concurrentielle sur le marché des produits est favorable à l'innovation et au-delà duquel l'effet est défavorable.

4 Technologie, demande et rythme des innovations.

La question examinée dans cette partie est celle des facteurs qui déterminent le rythme des innovations. C'est évidemment une question complexe dont nous ne traitons ici que quelques aspects. On retiendra deux facteurs relatifs respectivement à la technologie et à la demande selon que l'impulsion de l'innovation provient principalement des opportunités technologiques ("*technology-push*") ou de la pression de la demande ("*demand-pull*").

4.1 Les opportunités technologiques

Les opportunités technologiques d'un secteur représentent le potentiel de progrès technique que recèle l'activité correspondante. Cette notion importante renvoie au fait qu'un euro investi en recherche ne conduit pas nécessairement au même niveau de gain de productivité selon le potentiel technologique de l'activité où il est investi.

Sur le plan de la modélisation, les opportunités technologiques d'un secteur sont le plus souvent traitées sous une forme réduite qui postule la relation entre l'intensité des opportunités technologiques et les variables mesurant le rythme du progrès technique comme le taux de hasard des découvertes ou la date de succès d'une innovation ou encore la valeur absolue de l'élasticité de la fonction de coût par rapport à la dépense d'investissement de recherche. On postule ainsi que le taux de hasard est d'autant plus élevé, la date de succès d'autant plus avancée, et l'élasticité de la fonction de coût d'autant plus forte que les opportunités technologiques d'une activité sont élevées. Tous les résultats des modèles précédents de course au brevet ou d'enchères sont ainsi affectés de manière évidente par le paramètre d'opportunités technologiques.

L'intérêt du concept provient du fait que les opportunités technologiques ne dépendent pas seulement des *lois de la nature* mais également de *l'histoire passée* en termes d'accumulation de connaissances de base et d'innovations technologiques. Les *opportunités technologiques* dépendent ainsi d'un large ensemble de facteurs, comme le niveau

d'avancement des connaissances de base, leur degré de diffusion et de réception par l'industrie, la vitesse d'adoption des nouvelles technologies et des nouveaux produits, le spectre des sources informationnelles utilisées dans le processus d'innovation et les réseaux de relations que les entreprises tissent entre elles et avec les laboratoires de recherche pour concevoir et développer leurs innovations. Ces relations très complexes servent de support à la réflexion des pouvoirs publics pour les politiques technologiques de support à l'innovation, sur lesquelles nous revenons plus loin.

La nature des activités présentant les opportunités technologiques les plus fortes varie beaucoup en longue période. Ceci se traduit par des inflexions temporelles de ce que sont les *industries clés* à tel ou tel moment de l'histoire.

Enfin, la notion d'opportunités technologiques n'est pas sans lien avec le concept de "technologies génériques" ou encore de "technologies à usage généralisé" qui correspondent, selon le vocable introduit par Bresnahan et Trajtenberg (1995), aux "*General Purpose Technologies*" (GPT). Une innovation majeure est qualifiée de GPT si elle a un potentiel d'utilisation dans un grand nombre de secteurs et si elle change de manière notable la manière dont ceux-ci fonctionnent. Par exemple, dans la phase contemporaine, les gains de productivité issus des Sciences des Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) se propagent à tous les secteurs de l'industrie et des services et sont à l'origine de changements organisationnels importants dans les entreprises, tant en termes d'organisation du travail qu'en termes de fonction de conception ou de commercialisation.

La notion de "technologie générique" donne ainsi du sens à la notion de *complémentarités intersectorielles de l'innovation*. La productivité de la recherche dans un secteur est d'autant plus élevée que le secteur a su s'adapter aux modes d'organisation qu'implique la technologie générique et, réciproquement, le rythme de développement de la recherche dans les secteurs d'utilisation accroît à son tour le rythme de progrès technique de la technologie générique. Des travaux contemporains sur la notion de GPT, notamment pour évaluer leur rôle sur la croissance économique, seront évoqués à la partie 5.

Si la notion d'opportunités technologiques est riche sur le plan conceptuel, son appréhension au niveau empirique reste toutefois difficile. Différentes approches sont utilisées. Certains travaux utilisent des classes d'opportunités technologiques fondées sur le nombre de brevets déposés. D'autres travaux, notamment en France, utilisent l'indicateur qualitatif fourni par les entreprises en réponse à la question suivante dans les Enquêtes Innovation : "*Considérez-vous que votre activité est technologiquement (a) non innovante, (b) faiblement innovante, (c) moyennement innovante, (d) fortement innovante*". En regroupant

les catégories (a) et (b), d'une part, et les catégories (c) et (d), d'autre part, on aboutit à une répartition des différentes branches de l'économie selon leur degré *d'opportunités technologiques*. En croisant cette information avec celle liée à l'intensité de l'activité innovante des entreprises, une certaine hétérogénéité interbranches et intrabranche apparaît. D'une part, de fortes disparités existent entre les branches depuis celles à *haut niveau d'opportunités technologiques* (comme l'aéronautique, la pharmacie, les biens d'équipement professionnels), jusqu'à celles à *faible niveau d'opportunités technologiques* (comme l'industrie du bois et ameublement, le papier et carton, le textile et l'habillement, les matériaux de construction). D'autre part, au sein de ces deux types de branches, de fortes disparités en matière de capacités d'innovation existent entre les entreprises. Les branches à faibles opportunités technologiques comportent une proportion significative d'entreprises fortement innovantes et celles à fortes opportunités technologiques ne sont pas exemptes d'entreprises ne consacrant aucun effort significatif à la recherche. Ces résultats laissent donc penser que l'activité innovante d'une entreprise ne dépend pas seulement du *déterminisme technologique* de sa branche d'appartenance. Mais, il n'en reste pas moins que, sur le plan économétrique de l'explication des performances individuelles d'entreprises, la prise en compte de la variable "opportunités technologiques" conduit à des effets significatifs et importants (Barlet, Duguet, Encaoua et Pradel, 1998).

4.2 Rôle de la demande

L'accent mis sur les "opportunités technologiques" à l'origine des innovations est parfois contrebalancé par celui sur les impulsions nées de la demande ("*demand-pull*"). Selon Schmookler (1966), ce serait en effet la demande qui jouerait un rôle déterminant pour expliquer à la fois *l'intensité* et la *direction* de l'activité d'innovation des entreprises. Deux prémisses fondent son analyse. D'une part, la capacité d'innovation est largement répandue au sein des entreprises et celles-ci s'adaptent aux opportunités de profit, d'où qu'elles viennent. D'autre part, la taille d'un marché existant ou potentiel joue un rôle important dans l'orientation des innovations. Plus cette taille est élevée, plus l'innovation se dirige vers le marché correspondant, en partie parce que le profit d'une innovation croît avec la taille du marché et en partie parce que les chances de succès augmentent avec le nombre d'innovateurs potentiels sur le marché. Pour illustrer, ce serait parce que la demande de thérapie génique s'accroît que les laboratoires pharmaceutiques réorientent actuellement leur recherche en ce domaine.

La thèse de Schmookler est cependant plus sophistiquée que ne le laisse entrevoir la formulation précédente. Il ne dénie pas l'importance des opportunités technologiques comme impulsion de l'innovation, mais il montre que les équipements issus des innovations dans les industries à fortes opportunités technologiques (secteurs d'origine) ont tendance à être adoptés ultérieurement essentiellement dans les secteurs où la demande est la plus élevée (secteurs d'utilisation). Cette thèse suggère que les innovations technologiques se diffusent au cours du temps, au travers d'une sorte de tableau d'échanges interindustriels, depuis les industries d'origine où la base technologique en termes de connaissances et d'opportunités est forte, jusqu'aux industries d'utilisation qui sont celles où la demande est élevée.

Cette vision est intéressante, mais elle reste difficile à tester car, idéalement, il faudrait pouvoir identifier le secteur d'origine et le secteur d'utilisation de chaque innovation. Un travail empirique important réalisé par Scherer (1982) a permis de déceler l'origine de tous les brevets (plus de 1500) utilisés par un échantillon de 443 entreprises américaines sur une période d'un an, en distinguant la nature de l'invention correspondante (processus interne, bien d'équipement, matériaux), l'industrie d'origine de l'invention et les industries d'utilisation. Même si les résultats de Scherer relativisent quelque peu la thèse de Schmookler, ils ne l'invalident pas totalement. La corrélation entre, d'une part, les brevets utilisés par une industrie d'utilisation, portant sur des biens d'équipement produits dans une industrie d'origine et, d'autre part, les investissements (pris comme indicateurs de demande) réalisés par les industries d'utilisation, est assez forte. Les résultats de cet important travail confirment donc en partie la thèse de Schmookler qui, sans dénier l'importance de l'origine des innovations en termes d'opportunités technologiques, montre que les innovations en biens d'équipement se diffusent dans les différents secteurs selon l'importance de la demande.

Cela laisse penser qu'il faut prendre en compte simultanément la stimulation de la demande (*demand-pull*) et les opportunités technologiques (*technology push*) qui indiquent les secteurs où l'activité d'innovation est concentrée, pour comprendre l'origine, la diffusion et le rythme des innovations. Mais cela nécessite des travaux statistiques et économétriques approfondis avant de parvenir à une meilleure compréhension de cette question cruciale et difficile.

5. Micro-économie géographique de l'innovation

L'économie géographique en général et l'économie géographique de l'innovation en particulier sont des champs de recherche jeunes et en plein développement. De fait, même si

la micro-économie ne manque jamais de rappeler que les biens doivent être indicés par leur localisation (dans le temps, dans l'espace et dans l'ensemble des états de la nature), il faut bien reconnaître que l'étude des localisations géographiques est très en retard, comparée aux deux autres dimensions. La recherche en micro-économie géographique de l'innovation est à la fois descriptive et normative (Feldman et Audretsch, 1999). Sous l'angle descriptif, il s'agit de construire des modèles permettant d'expliquer le regroupement d'innovateurs dans certaines régions à certaines époques et les modalités de diffusion de leurs productions à l'extérieur. Par analogie, l'analyse peut s'étendre à la concentration sectorielle de certaines innovations et à leur effet d'entraînement vers d'autres secteurs industriels (*cf. supra* quatrième partie). L'approche normative vise ensuite à suggérer des outils d'intervention publique pour obtenir des localisations des innovateurs permettant d'accroître le bien-être collectif.

Les ingrédients essentiels de la micro-économie géographique de l'innovation sont les *effets de débordement* et le *partage des indivisibilités*. La recherche de nouveaux produits ou processus ne suit pas une route parfaitement définie. Au cours du programme de recherche, peuvent apparaître des découvertes annexes qui n'intéressent pas directement le laboratoire impliqué mais qui peuvent donner des idées d'application à d'autres. De plus, une partie des informations utiles pour le laboratoire impliqué se diffuse dans son environnement immédiat. Ces *externalités positives* poussent les centres de recherche à se regrouper et l'effet boule de neige peut être suffisamment fort pour inciter les plus réfractaires à se joindre eux aussi au club. A ces externalités directes s'ajoutent des gains indirects venant d'un *partage des coûts*. En particulier les deux ressources essentielles de la recherche (main-d'œuvre qualifiée et financement) ont d'autant plus de chances d'être disponibles à un coût raisonnable que des universités et des organismes bancaires et financiers se sont installés dans le voisinage. Il en va de même de certains équipements lourds nécessaires aux expérimentations et de l'infrastructure de transport et d'énergie. Dans le même ordre d'idées, le regroupement d'activités inventives relatives à un même secteur d'activité permet aux entreprises de partager la présence des offreurs de facteurs intermédiaires, en particulier la matière grise. Cet argument plaide en faveur d'un regroupement des centres de recherche des entreprises d'une même industrie car, s'il s'agit de chercheurs utilisant des technologies trop hétérogènes, l'effet de masse peut ne plus jouer.

Cependant, la diversité des compétences réunies en un même lieu augmente les possibilités de fécondation croisée. Il n'est donc pas évident que le regroupement d'activités identiques en un même lieu se justifie de la même façon pour les activités de recherche et pour celles de développement. Un minimum de variété peut se révéler très fructueux pour la

phase de recherche qui, dans certains secteurs, passe par une relative "fantaisie". En revanche, le développement d'une invention et sa traduction en innovation commercialisable nécessitent une rigueur et une standardisation des approvisionnements et technologies pour lesquels les *effets d'agglomération* appellent une grande homogénéité des entreprises.

Mais deux effets négatifs s'opposent aux avantages qu'une entreprise peut retirer de la localisation de ses centres de recherche dans un lieu déjà occupé par une forte population de laboratoires identiques. D'abord, il y a certains *effets de congestion* inévitables en économie spatiale : saturation des voies de transport, défauts d'approvisionnement en énergie, etc. Le second effet repoussoir est celui de la concurrence qui ne manquera pas de s'exercer au niveau du recrutement des chercheurs. Pour éviter les risques de *hold-up*, c'est-à-dire les risques de voir les investissements en recherche partir avec leurs bénéficiaires à l'occasion de surenchères sur les salaires et les conditions de travail, les employeurs ont intérêt à faire signer à leurs chercheurs des clauses de non concurrence, c'est-à-dire l'interdiction de travailler pour des concurrents dans un certain périmètre et pour un certain temps. Le jeu qui s'engage entre les employeurs des chercheurs est du type du dilemme du prisonnier : chacun individuellement a intérêt à essayer de débaucher les employés des autres laboratoires mais collectivement ils ont intérêt à s'entendre pour éviter l'opportunisme des chercheurs.

Les recommandations de ces modèles en termes de politique économique diffèrent selon qu'on raisonne à un niveau agrégé national ou au niveau des collectivités locales. Le gouvernement national souhaite qu'un nombre satisfaisant d'innovations viennent irriguer l'industrie nationale et, dans ce cas, la localisation importe peu. En revanche, chaque localité doit défendre ses intérêts, d'autant plus que la population des chercheurs est potentiellement plus dynamique et plus riche que d'autres. Les municipalités vont donc se livrer à une concurrence en termes de fiscalité, de permis de construire et de subventions pour franchir le seuil critique à partir duquel les externalités positives deviendront suffisamment fortes pour entretenir le mouvement des nouvelles implantations.

Il existe une grande hétérogénéité entre les innovations. Alors que la plupart participent au progrès de façon marginale, certaines ont des effets radicaux. Le moteur à vapeur, l'électricité, l'ordinateur sont des "technologies d'usage généralisé" ("*General Purpose Technologies*") qui affectent l'ensemble de l'économie, y compris dans ses composantes sociales et familiales (Helpman, 1998). Les recherches micro-économiques sur ces GPT et sur leur rôle dans la croissance sont très récentes. L'étude de la réaction de l'économie à l'arrivée d'une GPT porte sur les phénomènes de diffusion via des innovations induites et des phénomènes d'apprentissage. On essaie aussi d'expliquer comment on peut assister à un

ralentissement momentané de la croissance à cause des besoins d'éducation et de formation exigés par l'emploi d'une GPT (par exemple, l'informatique). Ces analyses sont à la frange entre la micro et la macro-économie car elles appliquent les outils de la micro-économie moderne à des modèles multisectoriels. On peut ainsi faire apparaître des cycles provoqués par l'adoption progressive d'une GPT dans une économie à plusieurs secteurs.

6. Les incitations à la Recherche et Développement.

Puisque la production d'innovations consiste essentiellement en une production de savoir et de savoir-faire, donc d'information, et puisque cette information est à la fois coûteuse à créer et peu coûteuse à reproduire, les risques de comportements opportunistes et d'équilibres sous-optimaux sont très grands. Il faut donc concevoir des mécanismes, privés ou publics, donnant aux entreprises les bonnes incitations en matière de recherche. Il y a essentiellement deux voies (Wright, 1983) : soit les innovateurs doivent pouvoir s'approprier privativement les résultats de leurs efforts financiers, soit ils ne peuvent y parvenir et, dans ce cas, il faut faire supporter par la collectivité les dépenses engagées par les agents privés. Les modalités pratiques de réalisation de ce principe ont des effets différents en termes d'efficacité collective et la plupart des gouvernements les utilisent toutes dans des proportions variables. Dans la catégorie "socialisation des coûts", on peut ranger les laboratoires et organismes publics de recherche, les subventions à des programmes communs ou encore les concours. Dans la catégorie "privatisation des gains", entrent tous les titres de propriété sur des actifs immatériels : brevets, licences, droits d'auteurs, marques, etc. A mi-chemin entre les deux, existent des institutions autorisant une collaboration limitée entre plusieurs entreprises avec parfois une aide financière ou fiscale publique : organismes de standardisation, entreprises communes de recherche, etc.

Nous discutons dans la suite successivement des brevets, des licences et des organismes d'appropriation collective, avant d'évoquer les interfaces entre le droit de la propriété intellectuelle et le droit de la concurrence.

6.1 Le brevet

Un brevet est un droit d'exploitation monopolistique reconnu par la collectivité à un entrepreneur privé. Du point de vue du titulaire, le principal défaut du brevet est qu'il n'apporte qu'une protection très imparfaite contre les imitations alors qu'il exige une

divulgaration publique complète de l'information si chèrement acquise par l'innovateur. Du point de vue de la collectivité, son point faible est la nécessité de reconnaître un droit d'exploitation monopolistique sur une information qui pourrait être utilisée par beaucoup d'entreprises, et donc de se priver des stimulants de la concurrence (Crampes et Moreaux, 1995).

Comparé aux autres méthodes d'organisation de la recherche (en particulier le financement public de programmes prédéfinis exécutés par des entreprises privées ou la construction de laboratoires publics), le brevet présente plusieurs *avantages informationnels*.

i/ L'entreprise qui dépose un brevet connaît mieux que quiconque les dépenses de R&D qu'elle a engagées et pourra donc proportionner ses efforts de développement et de commercialisation à ces dépenses alors que, dans le cadre d'un financement public, le bailleur de fonds est face à une asymétrie informationnelle et peut difficilement évaluer la somme à promettre pour inciter à un effort de R&D donné.

ii/ Puisque le titulaire du brevet se voit reconnaître le droit d'exploiter de façon monopolistique son invention, c'est-à-dire le droit de demander l'exclusion du marché et la punition d'un éventuel imitateur, il doit se charger lui-même de la surveillance de son marché et, en raison du coût des poursuites judiciaires, il a souvent intérêt à négocier avec les contrevenants plutôt qu'à les assigner en justice. Ce système exploite donc les avantages d'une décentralisation de la police des droits.

iii/ La contrepartie du monopole d'exploitation de l'invention brevetée est l'obligation de fournir un descriptif complet de cette invention, accessible au public et compréhensible par un homme de l'art, de façon à nourrir la masse des connaissances scientifiques et techniques qui pourront être utilisées ensuite par d'autres inventeurs, alors que la politique du secret nuit à la nécessaire circulation des connaissances technologiques.

Parmi les *inconvénients* de la protection par brevets, on note les points suivants :

i/ En sanctionnant la fin et non le début d'un processus de recherche, le brevet encourage la duplication de certaines dépenses dans les entreprises ou laboratoires qui sont en situation de concurrence technologique (inefficience amont).

ii/ En accordant le droit d'exploiter monopolistiquement une invention, le brevet crée une inefficacité dans le fonctionnement des marchés sur lesquels sont exploitées les inventions (inefficience aval).

iii/ En rémunérant les efforts scientifiques et techniques de l'inventeur par des gains qui dépendent principalement de son savoir-faire commercial, il transmet des incitations biaisées. Sur ce dernier point, notons cependant que la plupart des brevets peuvent faire

l'objet d'une cession ou d'une mise à disposition dans le cadre de contrats de licence, permettant ainsi à celui qui est "bon inventeur" mais "mauvais commerçant" d'exploiter le savoir-produire et le savoir-vendre de ses licenciés.

L'efficacité de la protection des inventions par des brevets se pose en termes très différents selon les secteurs d'activité. Ils sont très utilisés en chimie et en pharmacie, mais peu prisés dans les autres secteurs. Les raisons sont multiples. D'abord, le brevet ne permet pas l'appropriation totale des résultats de la recherche : on peut toujours introduire des innovations périphériques si l'entreprise n'a pas rédigé de bonnes revendications; les brevets ne sont effectivement utiles que s'ils permettent d'engager avec succès une action légale contre un concurrent distrait ou indélicat. En second lieu, l'idée selon laquelle l'information technologique est un bien public facilement utilisable doit être fortement nuancée : si le délai nécessaire pour imiter dans des conditions de coûts garantissant la rentabilité de l'imitation est supérieur au délai permettant au titulaire du brevet d'améliorer significativement son invention initiale, l'imitateur risque d'être toujours en retard d'une course. Les brevets présentent donc peu d'intérêt dans les secteurs où l'imitation peut être rapide mais où les opportunités technologiques et les effets d'apprentissage sont importants (industrie des semi-conducteurs par exemple) et dans les secteurs où l'imitation est très coûteuse ou nécessite des délais très longs.

Malgré cela, les entreprises déposent des brevets. La première raison est que la taille du portefeuille détenu est un indicateur du niveau de leur activité inventive. C'est un moyen de contrôle du travail des personnels de recherche, un signal de dynamisme envoyé aux clients, aux fournisseurs, aux banquiers, une information documentaire à destination des instances publiques distributrices de subventions, de crédits d'impôts et abattements de taxes liées à l'activité de recherche. L'inconvénient évident de cette politique de signalement est la diffusion vers les concurrents d'informations technologiques cruciales. Une seconde raison est que les brevets définissent des droits de propriété qui permettront d'accroître le rapport de force (*leadership* et valeur de réservation du *statu quo*) lors de négociations avec d'autres entreprises ou lors du règlement à l'amiable de certains litiges. De même, ces droits de propriété permettent d'accorder des licences et d'accéder ainsi à des marchés étrangers où l'entrée est subordonnée à l'attribution de licences d'exploitation à des entreprises indigènes.

Jusqu'à une date récente, l'analyse micro-économique de l'innovation ne rendait compte de l'importance des brevets que de manière implicite, en considérant qu'il existait un moyen légal de s'approprier tout ou partie des fruits des efforts de R&D, mais sans que ce moyen soit décrit dans ses différentes dimensions. Les travaux plus récents ont rendu les

caractéristiques des brevets endogènes. En déposant une demande de brevet, un inventeur cherche à définir *l'étendue de la protection juridique* dont il va disposer et cette étendue peut être définie de deux façons : d'abord *protection temporelle* de l'invention définie *stricto sensu*, ce qui soulève des problèmes de calendrier (date de dépôt, risques de préemption, durée de maintien) ; ensuite *protection contre les extensions par d'autres du brevet initial*, soit par inclusion dans les clauses du brevet de domaines connexes, soit par améliorations prévues dans le domaine initial ou dans d'autres domaines. Le dimensionnement d'un brevet peut ainsi être envisagé comme la fixation de la hauteur (améliorations), de la largeur (étendue des protections) et de la longueur (durée) du "tunnel" à l'intérieur duquel l'inventeur pourra se comporter monopolistiquement.

6.2 Les licences

Établir un *contrat de licence* pour un brevet d'invention est une pratique courante qui permet au détenteur du brevet d'accroître son retour sur investissement en R&D. Une licence octroie à une ou plusieurs entreprises le droit d'exploiter un brevet en échange d'un paiement au propriétaire de l'invention. Les clauses financières consistent dans certains cas à ne spécifier que le montant d'un forfait fixe mais, plus fréquemment, elles incluent des redevances, soit par unité produite, soit proportionnellement aux ventes réalisées sur l'invention. Le partage du risque est une des raisons les plus souvent avancées pour expliquer les clauses financières des contrats de licence. Quand la demande pour un produit nouveau est incertaine et/ou quand la réduction des coûts de production apportée par une nouvelle technologie n'est pas parfaitement anticipée, le vendeur et l'acheteur d'une innovation ont intérêt à lier les paiements aux états de la nature et donc à avoir recours à un système de redevances. L'inventeur cherche à bénéficier d'une demande très forte, tandis que le détenteur d'une licence cherche à éviter des paiements trop élevés dans le cas où les ventes ne correspondraient pas à ses espérances.

Pour justifier l'utilisation de redevances, la littérature théorique focalise son attention sur deux types de considérations qui ne sont pas directement reliées au problème de risque. Une première s'attache à des aspects stratégiques et s'applique aux cas où le brevet est transmis à au moins deux entreprises. Puisque les redevances accroissent les coûts marginaux des bénéficiaires, elles peuvent être utilisées par le détenteur du brevet pour inciter les entreprises aval à réduire leur niveau de production, ce qui permet d'accroître les profits de l'industrie et donc les montants que le détenteur du brevet peut espérer extraire.

L'autre justification est développée dans un cadre d'asymétrie d'information et fait jouer aux redevances le rôle de signal. Quand le détenteur d'un brevet possède une information plus complète sur la valeur de son innovation, il peut en signaler la très grande valeur en proposant un contrat basé principalement sur des redevances qui permettent de faibles paiements au cas où l'innovation ne serait pas performante.

6.3 Appropriation collective

On examine à présent très brièvement quelques questions liées à *l'appropriation collective de l'innovation*. Dès lors que les entreprises ne sont pas capables de garder individuellement le fruit de leur recherche, elles peuvent tenter d'en organiser la protection en collaborant avec d'autres, dans des structures collectives de recherche ou de partage de l'information. Qu'il s'agisse de partage des coûts, de partage des résultats ou de coordination au sein d'organismes de normalisation, ces structures collectives posent de nombreux problèmes de gouvernance et de réglementation. Pour souhaitables qu'elles soient quand il s'agit de faire baisser les coûts ou d'améliorer la palette des produits disponibles, les ententes doivent cesser dès l'instant où elles visent à organiser un partage des marchés et à affaiblir la concurrence.

6.4 Droit de la concurrence et propriété intellectuelle.

Évoquons en dernier lieu quelques problèmes à l'interface des droits de propriété intellectuelle et du droit de la concurrence. Les remèdes institutionnels au problème de l'appropriation des fruits de la recherche (brevets, licences, entreprises communes) peuvent être utilisés par des entreprises innovatrices pour limiter la concurrence notamment pour bloquer l'entrée de concurrents. Lorsque l'un des facteurs utilisés dans un processus de production n'admet pas le moindre substitut, le contrôle de l'accès à ce facteur essentiel donne un pouvoir de marché très grand sur tous les produits qui l'intègrent dans leur fabrication. En effet, le dépositaire du droit d'accès au facteur essentiel dispose d'un pouvoir d'exclusion : puisque son bien est irremplaçable, tous les utilisateurs devront en passer par ses conditions. S'il s'agit d'une entreprise privée, elle prendra des décisions généralement sous-optimales car elle n'internalise pas les gains de la totalité des agents concernés.

L'utilisation de l'information scientifique et technique contenue dans un brevet ou une norme pose parfois le même type de problèmes que l'accès à une *infrastructure*

essentielle, problèmes auxquels il faut ajouter le fait qu'il s'agit d'un bien public sans autre exclusion d'usage que légale. Comment organiser alors, au mieux des intérêts de la collectivité, l'accès au savoir contenu dans un brevet et qui dans certains cas est indispensable pour la fabrication de produits de haute technologie ? La réponse traditionnelle à cette question consiste à rappeler que le titulaire d'un brevet est libre d'en faire commerce et que le seul accès possible consiste donc à obtenir du titulaire une licence d'utilisation contre le versement d'une redevance : il y a accès contrôlé. Si le brevet est utilisé pour fabriquer un bien final admettant quelques substituts, ce moyen d'accès donnera lieu à une distribution de licences qui ne s'éloignera pas trop de la distribution optimale. Ce n'est certainement plus le cas pour un brevet essentiel et il est possible qu'il soit plus efficace de redéfinir les droits de propriété : tout utilisateur potentiel peut obtenir une licence à condition de verser une redevance "juste et raisonnable" au titulaire du brevet. Il y a alors accès libre.

Conclusion

Au cours des deux dernières décennies, l'analyse micro-économique de l'innovation, à l'image de l'ensemble de l'économie industrielle, a fait des progrès considérables grâce aux outils de la théorie des jeux. L'identification des moteurs de la recherche dans les entreprises, le déroulement des courses à l'innovation avec information symétrique ou asymétrique, la formation de groupements de recherche sectoriels ou géographiques, le rôle de la recherche publique, les manœuvres stratégiques des innovateurs en matière de dépôt de brevet sont quelques-uns des domaines dans lesquels les économistes ont fait des progrès considérables.

Bien entendu, la recherche sur la recherche est loin d'être terminée. Parmi les axes les plus explorés par les économistes à l'heure actuelle, on citera à titre d'exemples :

- les travaux visant à mieux comprendre le rôle joué par les règles de droit, en particulier les procédures judiciaires pour violation de brevets, dans les processus de lancement et d'accompagnement des programmes de recherche (Crampes et Langinier, 2002) ;
- l'analyse des relations entre le droit de la concurrence et le droit de la propriété intellectuelle dans des secteurs économiques émergents où la dynamique, l'incertitude et les externalités positives constituent l'essence même de l'activité (Encaoua et Hollander 2002) ;

- la participation des économistes aux débats sur le meilleur mode de protection des innovations séquentielles et complémentaires qui sont les caractéristiques de nombreuses industries, comme les programmes d'ordinateur par exemple (Besen et Maskin 2000) ;

En revanche, les micro-économistes n'ont pas encore apporté de contribution substantielle à la R&D dans le domaine du vivant. A cause de la capacité de reproduction naturelle de ce type d'innovation, c'est un champ de recherche qui mérite une attention particulière.

Bibliographie

Arrow K. (1962) "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", in NBER conference n° 13 *The Rate and Direction of Inventive Activity : Economic and Social Factors*, Princeton University Press, 609-625,

Barlet C., E. Duguet, D. Encaoua et J. Pradel (1998), "The commercial success of innovations : an econometric analysis at the firm level in French manufacturing", *Annales d'Economie et de Statistique*, 49/50:457-478

Beath J. et Y. Katsoulacos (1991) "The economic theory of product differentiation", Cambridge University Press

Bessen J. et E. Maskin (2000), "Sequential Innovation, Patents, and Imitation", MIT Department of Economics, Working Paper n° 00-01, January.

Boone J. (2000), "Competitive pressure : the effects on investments in product and process innovation", *Rand Journal of Economics*, 31, 3:549-569

Bresnahan T. et M. Trajtenberg (1995), "General purpose technologies : Engines of growth", *Journal of Econometrics*, 60 : 83-108

Crampes C. et M. Moreaux (1995) "Les caractéristiques des brevets", *Revue d'Economie Industrielle, hors série*, 1^{er} trimestre 1995, 11-26

Crampes C. et C. Langinier (2002) "Litigation and Settlement in Patent Infringement Cases", à paraître dans *Rand Journal of Economics*

Dasgupta P. et J. Stiglitz. (1980) "Industrial structure and the nature of innovative activity", *Economic Journal*, 90:266-293

Encaoua D. et A. Hollander (2002) "Competition policy and innovation", à paraître dans *Oxford Review of Economic Policy*

Encaoua D. et D. Ulph (2000), "Concurrence, innovation et croissance: un modèle de création non destructrice", *Cahiers d'Economie Politique*, n° spécial, 37:155-176.

- Feldman M.P. et D. B. Audretsch** (1999) "Innovation in cities: Science-based diversity, specialization and localized competition", *European Economic Review*, 43(2) 409-429
- Gilbert R. et D. Newbery** (1982) "Preemptive patenting and the persistence of monopoly", *American Economic Review*, 72: 514-526.
- Helpman E.** (ed.) (1998) "General Purpose Technologies and Economic Growth", *MIT Press*, Cambridge.
- Jones C.** (2000), "Théorie de la croissance endogène", De Boeck Université, chap.4
- Lee T. et L. Wilde** (1980), "Market structure and innovation : a reformulation", *Quarterly Journal of Economics*, 94:429-436
- Loury G.** (1979), "Market structure and innovation", *Quarterly Journal of Economics*, 93:395-410
- Reinganum J.** (1989), "The Timing of Innovation : Research, Development and Diffusion", in *Handbook of industrial Organization*, eds. R. Schmalensee & R. Willig, vol.1, ch. 14, North Holland, 849-908
- Scherer F.** (1982), "Demand-Pull and technological invention : Schmookler revisited", *The Journal of Industrial Economics*, XXX, 3:225-237,
- Scherer F.** (2001), "The patent system and innovation in pharmaceuticals", *Revue internationale de droit économique*, numéro spécial "Pharmaceutical patents, innovations and public health".
- Schmookler J.** (1966), "Invention and Economic Growth", *Harvard University Press*, Cambridge
- Schumpeter J.** (1942), "Capitalisme, Socialisme et Démocratie", Payot
- Tirole J.** (1988) "Théorie de l'organisation industrielle", *Economica*, Tome II, chapitre 10 : Recherche-Développement et adoption de nouvelles technologies.
- Wright B.D.** (1983) "The economics of invention incentives: patents, prizes and research contracts" *American Economic Review*, September, vol 73 n°4.