Cours Economie de l'Innovation
Chapitre 5
Durée et étendue de la protection: le cas d'une innovation isolée.
David ENCAOUA
Janvier 2005

1 Introduction

Le brevet est un droit de propriété intellectuelle dont l'objet est d'inciter des inventeurs individuels ou des entreprises à réaliser des investissements en recherche et développement en leur permettant de s'approprier les résultats de leur investissement. Le brevet confère à son détenteur un droit exclusif temporaire pour l'exploitation de son invention, le droit d'exploitation pouvant être réalisé directement par l'inventeur ou cédé à un tiers par le biais d'une licence. Ce droit de propriété intellectuelle n'est accordé que pour une durée finie (20 ans dans la plupart des pays). La durée de vie légale représente la *longueur* du brevet[1]. Nous avons examiné au premier chapitre la justification théorique d'une durée de vie finie du brevet. Elle résulte de l'arbitrage entre l'efficacité dynamique et l'efficacité statique. Un allongement de la durée de la protection induit un inventeur à introduire une innovation plus substantielle mais la société n'en bénéficie intégralement que plus tard, c'est-à-dire après l'expiration de la durée de la protection. La durée de protection optimale est celle qui maximise le bien être social actualisé en tenant compte de la relation qui existe entre la durée de la protection et l'importance de l'innovation.

Mais un brevet ne se définit pas uniquement par sa durée de vie légale. Une autre dimension importante concerne le champ de ses revendications, qui délimitent *l'étendue de la protection*. Cette notion, qu'on désigne comme étant la *largeur* du brevet ("*patent breadth*"), est difficilement saisissable sur le plan de l'analyse économique. Contrairement à la notion de longueur qui renvoie à la notion légale de durée de vie du brevet, la largeur n'a pas une contrepartie légale aisément identifiable. Elle renvoie à l'étendue du *champ des revendications* ("*patent claims*") couvertes par le brevet. C'est en effet

[1] La durée de vie légale est à distinguer de la durée de vie effective du brevet, cette dernière pouvant être plus courte que la première, soit parce que le détenteur du droit n'a pas acquitté les annuités de renouvellement, soit parce que l'innovation est devenue obsolète du fait de l'apparition d'une amélioration ultérieure.

la nature et l'étendue de ces revendications, accordées par l'office des brevets et retenues par les tribunaux en cas de procès en infraction, qui permettront de déterminer s'il y a eu ou non infraction. Remarquons en tout premier lieu que l'étendue du champ des revendications renvoie à deux dimensions distinctes.

La première est celle d'une protection contre l'imitation dont la contrefaçon est la forme la plus ultime. De manière générale, l'imitation consiste en la mise au point de variantes plus ou moins proches de l'invention initiale ou s'en inspirant plus ou moins fortement ("*inventing around*"). Reste à définir ce qu'on entend par degré de proximité ou degré d'inspiration, sachant que ces notions ne figurent pas explicitement dans le brevet. Cette dimension de la protection contre les imitateurs ("*lagging breadth*") pose une question essentielle pour la configuration optimale du brevet, question qui fait l'objet de ce chapitre. Supposons que l'incitation à innover soit assurée par un brevet dont les gains assurent la couverture des coûts. Deux types de brevets sont à priori possibles. Vaut-il mieux accorder un brevet long et étroit ou un brevet court et large ? Un brevet long et étroit conduit à accorder à l'innovateur un pouvoir de marché faible qui s'étend sur une longue durée puisque un brevet étroit ouvre la possibilité d'une concurrence par des proches substituts qui n'enfreignent pas le brevet. Inversement, un brevet court et large conduit à un pouvoir de marché plus élevé sur une durée courte puisqu'un brevet large empêche la concurrence par des proches substituts. On voit là se dessiner une façon d'appréhender la largeur d'un brevet en faisant appel à une notion de proximité dans l'espace des caractéristiques des biens en cas d'innovation de produit ou dans l'espace des coûts en cas d'innovation de procédé. Dans les deux cas, il appartient aux tribunaux de déterminer si les substituts constituent une infraction ou non du produit ou de la technologie brevetée, en fonction du champ des revendications couvertes par le brevet. Il peut s'agir également de connaissances générées par l'innovation et permettant à des concurrents d'aménager de manière plus ou moins explicite leur propre technologie ou leurs produits autour de l'innovation ("*inventing or building around*"). Remarquons que le bénéfice des concurrents peut provenir d'une licence de fabrication accordée par l'innovateur et, dans ce cas, il appartient aux autorités en charge du droit de la concurrence de déterminer si les clauses de la licence ne sont pas trop restrictives en termes de concurrence.

Ainsi, sur le plan de l'analyse économique, la largeur du brevet renvoie à la détermination d'un seuil limitant le pouvoir de marché de l'innovateur, c'est à dire la part du bénéfice de l'innovateur que peuvent s'approprier des concurrents sans enfreindre le droit du détenteur du brevet. Selon cette première dimension, la largeur du brevet détermine donc la *limite du pouvoir de marché de l'innovateur face à des concurrents horizontaux.* La littérature économique de langue anglaise consacre le terme de "*lagging breadth*" à cette notion.

Remarquons à ce stade que la dimension de la protection que nous avons désigné sous le terme générique de largeur ne s'avère totalement appropriée que dans le contexte d'une innovation *isolée.* Dans le cas d'innovations successives où chaque innovation, fondée sur celle qui la précède, vise à en améliorer les performances et la qualité ou encore à introduire de nouvelles applications, une autre dimension de la protection devient nécessaire, celle qui définit la *hauteur* du brevet. Il s'agit cette fois de définir un seuil de "nouveauté" ou "d'inventivité" pour qu'une nouvelle invention soit brevetable, étant donné l'état de l'art antérieur. On peut songer par exemple aux innovations successives qui président à la miniaturisation des microprocesseurs, à l'accroissement de capacité d'un disque dur, aux technologies successives de compression numérique des images (MPEG), ou encore au séquençage d'un gène permettant la production d'une protéine ou d'une molécule à l'origine d'une nouvelle thérapeutique. La question est alors de savoir quelle étendue de protection doit-on accorder à un innovateur à l'encontre d'inventions futures qui n'ont pas encore vu le jour. Cette question est particulièrement importante dans le cas où l'innovation de base n'a pas de valeur commerciale en elle-même, alors que les applications qu'on en tire sont commercialisables.

Cette deuxième dimension de la protection qu'on désigne comme la *hauteur* du brevet distingue donc les améliorations ou applications futures qui seront considérées enfreignant le brevet de celles qui ne le seront pas parce que suffisamment nouvelles ou suffisamment invetives. Le terme anglais pour désigner l'étendue de cette protection est celui de "*leading breadth*". Notons enfin que dans le contexte d'innovations séquentielles, la notion de durée de vie légale du brevet peut elle-même perdre sa pertinence. En effet, la protection du brevet à l'encontre d'innovations futures peut conduire à une *durée de vie effective* inférieure à celle de sa durée de vie légale. C'est notamment le cas lorsqu'une invention d'amélioration, n'enfreignant pas un brevet existant, apparaît avant la date d'expiration de celui-ci et parvient à faire sortir l'innovation précédente du marché.

Depuis quelques années, les économistes ont investi la question de la configuration optimale du brevet ("patent design"). Ce chapitre introduit cette question par l'examen de l'arbitrage entre longueur et largeur du brevet

2 Arbitrage entre longueur et largeur du brevet.

Considérons une innovation isolée qui satisfait les trois critères de brevetabilité, à savoir la nouveauté, l'inventivité et l'utilité. On suppose que l'Office des Brevets (que nous désignons dans la suite comme le régulateur) dispose d'une information parfaite[2] et décide d'accorder à l'innovateur un brevet défini par sa longueur et sa largeur, c'est à dire la durée de vie et l'étendue de la protection contre les concurrents, étendue qui limite son pouvoir de marché comme on l'a expliqué plus haut. Ces deux instruments sont en général substituables, car ils affectent dans le même sens l'incitation à innover. Le profit actualisé de l'innovateur croît aussi bien avec la durée de la protection qui lui est accordée, qu'avec le pouvoir de marché instantané dont l'étendue de la protection le dote. Il est donc inutile et coûteux pour la société d'accorder une protection qui soit à la fois longue et large. Du point de vue du bien-être social, la question se pose alors de savoir quelle combinaison vaut-il mieux proposer, un brevet long et étroit quand à l'étendue de la protection ou, au contraire, un brevet court et large ?

Cette question a été abondamment étudiée dans la littérature économique (Nordhaus (1972), Tandon (1982), Gilbert et Shapiro (1990), Klemperer (1990), Waterson (1990), Gallini (1992), Denicolo (1996), Matutes, Régibeau et Rockett (1996), Maurer et Scotchmer (1998), Wright (1999)). L'abondance de cette littérature est un premier signe que la réponse n'est pas simple et qu'elle dépend de nombreux facteurs dont en premier lieu la définition retenue de la notion de protection contre l'imitation. Avant d'expliciter les différentes définitions adoptées pour mesurer cette variable et de procéder à un tour d'horizon de la littérature, présentons d'abord un cadre formel d'analyse commun à plusieurs approches.

[2] Cette hypothèse est évidemment très forte à un double point de vue. D'une part, on a toutes les raisons de penser que le régulateur dispose d'une information plus limitée que celle dont dispose l'innovateur. Dautre part, et cela est plus grave, nous montrerons dans un chapitre ultérieur que si le régulateur est autant informé que l'innovateur, la protection par le brevet n'est pas nécessairement l'instrument optimal pour inciter l'innovateur à entreprendre son projet. Plus précisément, nous montrerons que c'est seulement dans un cadre d'information imparfaite que le brevet peut devenir un mécanisme incitatif.

2.1 Cadre général d'analyse.

Résoudre l'arbitrage entre la durée de vie et l'étendue de la protection d'un brevet conduit le régulateur à choisir les niveaux de deux instruments, la longueur et la largeur, notés respectivement L et l, qui minimisent la valeur actualisée du *coût social* du brevet sous la contrainte que la valeur actualisée du flux de profits générés par l'innovation durant la période $[0, L]$ soit suffisante pour inciter l'innovateur à réaliser la dépense nécessaire pour réaliser l'innovation. On se place ici dans un cadre d'information parfaite.

On adopte les notations suivantes :

- V est la valeur attendue de l'innovation. Dans certains modèles cette valeur est une donnée exogène et dans d'autres elle est endogène. On supposera ici que V est exogène ($V > 0$).

- L est la durée de vie du brevet (longueur) et on suppose $L \in [0, \infty[$.

- l est le degré de protection du brevet (largeur). La mesure de cette variable diffère selon le modèle considéré. Il nous suffit pour l'instant de dire que dans la plupart des modèles, on retient une mesure normalisée de la largeur de sorte que $l \in [0, 1]$. La valeur de l croît avec l'étendue de la protection contre les concurrents. Une largeur $l = 0$ correspond à une étendue nulle de la protection (le brevet ne protège en rien l'innovateur contre les concurrents existants) et une largeur $l = 1$ correspond à une étendue maximale de la protection (le pouvoir de marché de l'innovateur est total).

- $CS(l)$ est le flux par unité de temps du *coût social du brevet*. Ce coût social représente la perte de bien-être instantanée, liée au pouvoir de marché dont bénéficie le détenteur du brevet pendant toute la durée de vie de celui-ci. Dans la mesure où ce pouvoir de marché dépend du degré de protection vis à vis des concurrents, le coût social dépend lui-même de l'étendue de la protection l. La perte de bien être est mesurée par la "*perte sèche*" ("*deadweight loss*") due au pouvoir de marché de l'innovateur. On suppose que $CS(l)$ est une fonction croissante de l, bornée et telle que $CS(0) = 0$.

- $\Pi(l)$ est le flux de profit instantané pendant la durée du brevet. Il dépend lui-même de la largeur du brevet et on suppose que $\Pi(l)$ est une fonction croissante de l,bornée et telle que $\Pi(0) = 0$.

- r est le taux d'actualisation que l'on suppose commun au régulateur social et aux entreprises.

Si l'on suppose que la valeur exogène V est le minimum que doit récupérer l'innovateur pour entreprendre son innovation, le régulateur doit alors résoudre le programme suivant

$$\underset{(L\geq 0, 1\geq l\geq 0)}{Min} \int_0^L CS(l)e^{-rt}dt \quad (1)$$

$$t.q. \int_0^L \Pi(l)e^{-rt}dt \geq V \quad (2)$$

Ce programme peut être réécrit de manière simple.

Soit $\bar{l}$ la solution en l de l'équation $\int_0^\infty \Pi(l)e^{-rt}dt = V$. Comme la fonction $\Pi(l)$ est croissante, on en déduit que la valeur de l doit être au moins égale à $\bar{l}$ pour que la contrainte (2) soit satisfaite. Donc $l \in [\bar{l}, 1]$. Cette solution $\bar{l}$ est donnée par $\Pi(\bar{l}) = rV$. Le seuil $\bar{l}$ correspond à la *protection minimale* qui assure à l'innovateur la valeur V durant une durée de vie infinie du brevet. Remarquons qu'on doit avoir $\bar{l} > 0$, car $\Pi(0) = 0$ et $V > 0$.

Les propriétés de croissance des fonctions $CS(l)$ et $\Pi(l)$ assurent que la contrainte (2) du programme doit être saturée à l'optimum. Les variables L et l sont donc liées par la relation $\frac{1-\exp(-rL)}{r} = \frac{V}{\Pi(l)}$.

En remplaçant dans la fonction objectif (1), on peut réécrire le programme sous la forme suivante :

$$\underset{l\in[\bar{l},1]}{Min} \left[\frac{CS(l)}{\Pi(l)}V\right] \quad (3)$$

L'interprétation est maintenant claire. Le ratio $R(l) \equiv \frac{CS(l)}{\Pi(l)}$ mesure la perte de bien être social par unité de profit engendré par l'innovation L'étendue optimale de la protection contre l'imitation est celle qui minimise ce ratio. Selon les propriétés de ce ratio, on déduit alors la configuration optimale du brevet.

Deux cas sont possibles.

2.1.1 1er cas : Il n'existe pas de solution intérieure du programme (3).

Les seules solutions sont alors les solutions de bord $l = \bar{l}$ ou $l = 1$. La 1ère solution de bord $l = \bar{l}$ est associée par définition à $L = \infty$. Le couple $(l = \bar{l}, L = \infty)$ correspond alors à une étendue de la protection minimale et à une durée de vie infinie. Il correspond à un brevet long et court. La 2ème solution de bord est $\bar{l} = 1$. Mais dans ce cas, la valeur optimale $\overline{L}$ qui lui est associée est donnée par la solution en L de l'équation $\int_0^L \Pi(\bar{l})e^{-rt}dt = V$. Cette solution $\overline{L}$ est donnée par $\frac{1-\exp(-r\overline{L})}{r} = \frac{V}{\Pi(\bar{l})}$. Le couple $(\bar{l} = 1, L = \overline{L})$ correspond alors à une étendue de la protection maximale et une durée de vie minimale. Il correspond à un brevet court et large.

2.1.2 2ème cas : Il existe une solution intérieure $l^* \in]\bar{l}, 1[$ au programme (3).

Cette solution intérieure satisfait alors la condition du premier ordre

$$CS'(l^*)\Pi(l^*) - CS(l^*)\Pi'(l^*) = 0 \quad (4).$$

A cette solution intérieure $l^* \in]\bar{l}, 1[$, définie par la condition précédente, est associée une longueur L^* donnée par l'équation $\frac{1-\exp(-rL^*)}{r} = \frac{V}{\Pi(l^*)}$. Remarquons bien que l'étendue de la protection l et la durée du brevet L sont des instruments substituables. Il suffit pour le voir de partir de la contrainte $\int_0^L \Pi(l)e^{-rt}dt = V$ pour déduire par le théorème des fonctions implicites que $\frac{dL}{dl} = -\frac{V\Pi'(l)}{[\Pi(l)]^2\exp(-rL)} < 0$.

La nature de la solution du programme (3) (solution de bord ou solution intérieure) dépend des propriétés des fonctions $CS(l)$ et $\Pi(l)$. Ces propriétés dépendent elles-mêmes du modèle spécifique qui génère ces fonctions. Mais, en tout état de cause, le modèle très simple qui vient d'être présenté constitue l'architecture de base de l'ensemble des modèles d'arbitrage entre longueur et largeur d'un brevet.

Les différents modèles varient selon diffférentes spécifications parmi lesquelles on peut citer : la mesure retenue de la largeur l du brevet, la distinction entre innovation de produit ou de procédé, la nature de la concurrence (prix ou quantités) sur le marché du produit, le caractère déterministe ou stochastique de la technologie d'innovation, le caractère exogène ou endogène de la valeur V du brevet, la prise en compte ou non dans le coût social du brevet du coût de l'imitation et enfin des possibilités qu'un innovateur offre ou non une licence plutôt que de s'exposer au risque d'imitation.

Avant de présenter en détail dans la suite un modèle général consacré à la question de l'arbitrage entre durée de vie et étendue de la protection du brevet d'une innovation isolée, un très bref aperçu de la littérature économique autour de cette question est présenté cidessous.

2.2 Bref aperçu de la littérature.

Tandon (1982) part de l'idée qu'on peut réduire la perte de bien-être due au pouvoir de marché que confère la détention d'un brevet en imposant au détenteur l'obligation de licencier son procédé innovant. Considérons par exemple une innovation de procédé permettant une réduction du coût unitaire de production. Le prix de la licence est un taux de redevance ("royalties") par unité de produit. Ce taux de redevance peut être exprimé comme un pourcentage de la réduction de coût que permet l'utilisation de la technologie licenciée. Le taux de redevance (prix de la licence) est endogène et, dans ces conditions, les instruments de la politique du brevet sont la longueur L et le prix de la licence ρ. Ce prix agit exactement comme la largeur l du brevet. Pour le voir prenons les valeurs extrêmes de ρ. La valeur $\rho = 0$ exprime que l'innovateur est obligé de céder gratuitement son innovation de procédé, ce qui signifie que son innovation n'est nullement protégée contre un concurrent qui n'a pas réalisé la dépense correspondante. A l'autre extrême, le taux $\rho = 1$ exprime que l'innovateur cède sa licence à un taux de redevance qui lui permet d'utiliser totalement son pouvoir de monopole. En effet, si l'innovation de procédé réalisée par le licencieur conduit à un abaissement $d > 0$ du coût unitaire, consistant à passer d'un coût initial c_0 à un nouveau coût donné par $c = c_0 - d$, un taux $\rho = 1$ signifie que la licence est vendue selon un système de redevance unitaire égale à d, de sorte que le licencié disposant de la nouvelle technologie est soumis à un coût unitaire égal à $c + d = c_0$. L'innovateur conserve dans ce cas une protection totale contre ses concurrents. Une valeur intermédiaire de ρ dans $]0, 1[$ signifie qu'un concurrent qui n'a pas supporté les dépenses de recherche pour réaliser l'innovation de procédé peut néanmoins bénéficier d'une licence lui permettant de produire au coût $c + \rho d = c_0 - (1 - \rho)d$. Le bénéfice de l'innovation est ainsi partagé dans la proportion $(\rho, 1 - \rho)$ entre l'innovateur et le concurrent. Un des principaux résultats de Tandon est que la configuration optimale est définie par une solution de bord donnée par le couple $(L = \infty, \rho = \overline{\rho})$ où $\overline{\rho}$ est le taux de redevance minimal requis pour satisfaire la contrainte d'incitation de l'innovateur (qui est auusi le licencieur). L'analyse de Tandon conduit donc à une étendue de la protection minimale. De plus, Tandon montre par simulation qu'en fixant une durée de vie au niveau correspondant à la durée légale (20 ans), l'instauration d'un régime de licence obligatoire (avec un taux de redevance réglementé par le législateur) conduirait à une amélioration substantielle du bien-être. L'analyse de Tandon est menée essentiellement pour des innovations de procédé, mais le cas des innovations de produit peut également être envisagé .

Dans un modèle très épuré, Gilbert et Shapiro (1990) retiennent comme instruments du brevet, d'une part, sa longueur L et, d'autre part, le prix de vente p du produit exprimé comme un pourcentage de l'écart entre le prix de monopole et le coût marginal de production que permet la nouvelle technologie. C'est ce pourcentage qui définit la largeur l de l'innovation. C'est donc une représentation directe de l'étendue de la protection contre les concurrents : le niveau du prix de vente du produit innnovant détermine la largeur du brevet. Comme dans l'approche de Tandon, l'analyse de Gilbert et Shapiro conduit à une configuration optimale où la durée de la protection est infinie et l'étendue de la protection est minimale. Plus généralement, ces auteurs montrent qu'il suffit que la fonction de bien-être social soit une fonction décroissante et concave du profit de l'innovateur pour que la combinaison $(L = \infty, p = \overline{p})$ soit optimale

Klemperer (1990) présente l'analyse d'une innovation de produit sous la forme d'un modèle de différenciation horizontale des biens, en utilisant l'approche de la concurrence spatiale à la Hotelling (1929) avec concurrence en prix. Dans un tel contexte, la largeur d'un brevet relatif à un nouveau produit est définie par l'étendue de la zone de protection accordée à ce nouveau produit. L'étendue de cette zone représente la distance minimale que doit respecter un bien substitut pour ne pas être considéré comme enfreignant le produit nouveau. Les consommateurs sont distingués par l'expression de la désutilité qu'ils subissent en ne trouvant pas sur le marché un produit idéal correspondant à leurs préférences. Comme dans le modèle de Hotelling, cette désutilité dépend à la fois de la "distance" entre leur produit idéal et le produit consommé et du coût de transport. Dans le modèle de Klemperer, le coût de transport peut être différent pour chaque consommateur, exprimant ainsi une dimension verticale de la différenciation qui s'ajoute à la dimension horizontale. Le bien nouveau de qualité supérieure ou les biens concurrents de qualité inférieure peuvent être demandés par les consommateurs. Dans ce type de modèle, Klemperer trouve différentes configurations optimales du brevet selon les spécifications choisies. Par exemple, il existe des situations où une configuration optimale du brevet comporte une durée courte et une protection large. C'est notamment le cas lorsque les consommateurs ont des fonctions de demande inélastiques au prix. Mais dans ce cas, on conçoit aisément que l'extension de la zone de protection accordée à l'innovateur accroît le surplus des consommateurs. Les quantités consommées du bien supérieur et des biens inférieurs ne dépendant pas de leurs prix respectifs, le choix pourra se reporter sur le produit préféré sans perte de surplus. C'est pourquoi la configuration optimale du brevet requiert dans ce cas une étendue de la protection sans limite, c'est à dire une zone de protection étendue. On notera que c'est un résultat quasiment tautologique. C'est en effet quand l'innovateur n'a aucun avantage à accroître le prix de vente de son produit qu'il convient de lui accorder le brevet le plus large possible. Ainsi, même si ce cas n'est pas totalement pathologique, il ne paraît pas raisonnable de le considérer comme un cas de référence pour l'analyse de la configuration optimale du brevet. Inversement, lorsque les consommateurs ont des fonctions de demande élastiques au prix et des coûts de transport identiques, la configuration optimale du brevet requiert une durée longue et une étendue de la protection étroite. On retrouve alors les résultats de Tandon (1982) et Gilbert et Shapiro (1990).

Gallini (1992) suppose qu'une firme innovatrice a le choix entre maintenir secrète son innovation ou la faire breveter. Les conséquences ne sont pas les mêmes dans la mesure où la décision de breveter peut provoquer l'entrée de concurrents qui, sans enfreindre le brevet, développent des substituts plus ou moins parfaits de l'innovation. Le coût de développement d'un substitut a la nature d'un coût fixe k. L'entrée d'un concurrent développant un substitut du nouveau produit est d'autant plus vraisemblable que la durée de la protection accordée est longue. L'entrée dépend évidemment des modalités de la concurrence sur le marché des produits. Si la concurrence sur le marché des produits se fait en prix, aucune entrée ne peut avoir lieu puisque chaque producteur d'un substitut parfait du produit innovant est désavantagé par le coût fixe k. Par contre, si la concurrence se fait en quantités, des entrants peuvent apparaître. Le nombre de substituts augmente tant que des opportunités de profit existent. Le profit de l'innovateur est alors une fonction strictement décroissante du nombre de substituts présents sur le marché. Le coût fixe k de développement d'un substitut peut ainsi être considéré comme reflétant l'étendue de la protection de l'innovation. C'est donc une définition technologique de l'étendue de la protection que retient Gallini et cette définition n'est pas entièrement équivalente à celle privilégiant une notion de distance dans l'espace des caractéristiques, comme dans l'approche de Klemperer. Dans l'approche de Gallini, plus k est faible, plus la firme innovatrice a intérêt à choisir de garder secrète son innovation plutôt que de la faire breveter et de provoquer l'entrée de produits substituts. Gallini parvient à la conclusion que la politique optimale consiste à borner la durée de vie ($L = \overline{L}$) et à accroître l'étendue de la protection en rendant très coûteux le développement de produits substituts ($l = k = \infty$). Dans ce modèle, le coût social du brevet inclut les dépenses liées au développement de produits substituables du produit innovant. Ces dépenses sont considérées comme un gaspillage de ressources. Cette conclusion issue du modèle de Gallini a été critiquée par Maurer et Scotchmer (2002) qui font remarquer que le gaspillage résultant du développement de substituts parfaits pourrait être évité par l'octroi de licences plutôt que par un ajustement de la politique du brevet. La prise en compte des revenus engendrés par ces licences permettrait de renverser la conclusion de Gallini. Un brevet de durée longue et dont l'étendue de la protection serait étroite devient alors préférable dans ce cas à un brevet de durée faible et de protection large.

Au terme de ce bref tour d'horizon consacré à l'arbitrage entre longueur et largeur du brevet, le lecteur peut penser à juste titre qu'aucune conclusion ferme et définitive n'émerge. Une analyse plus fouillée est donc nécessaire. Nous retiendrons une conception assez générale de la notion de largeur d'un brevet, c'est à dire de l'étendue de la protection.

2.3 Notions d'étendue de la protection.

Considérons en premier lieu une *innovation de procédé*. Le modèle de Tandon (1982) explicite de manière très claire la notion de largeur dans ce cas. Supposons qu'avant l'innovation, le coût unitaire de la technologie standard d'une industrie soit c_0 et qu'un innovateur introduit une nouvelle technologie brevetée permettant un abaissement de ce coût d'un montant d ($0 < d < c_0$), parvenant ainsi à un coût unitaire de $c_0 - d$. Une première conception de l'étendue de la protection accordée à cette innovation de procédé consiste à définir dans quelle mesure des concurrents directs, n'ayant pas réalisé eux-mêmes l'innovation technologique, mais bénéficiant néanmoins de ses retombées, seront jugés comme enfreignant ou non le brevet. On est ainsi amené à définir un seuil $l \in [0, 1]$ tel qu'un concurrent direct de l'innovateur sera considéré ne pas enfreindre le brevet si et seulement si son coût de production c après l'innovation est tel que $c \in [c_0 - ld, c_0]$. Inversement, si $c \in [c_0 - d, c_0 - ld[$, un concurrent qui produit au coût c sera considéré comme enfreignant le brevet. Le seuil $l \in [0, 1]$ définit dans ce cas l'étendue de la protection du brevet relatif à l'innovation de procédé.

Considérons en second lieu une *innovation d'amélioration de qualité d'un produit*. Supposons qu'un innovateur parvienne à introduire une amélioration de qualité Δ par rapport à la qualité standard q_0 du produit. La qualité du produit de l'innovateur est ainsi égale à $q_0 + \Delta$. Supposons que cette innovation d'amélioration de qualité soit brevetée. Là encore, des concurrents directs de l'innovateur peuvent eux-mêmes bénéficier des retombées de l'innovation et améliorer la qualité de leurs produits. Comme dans le cas précédent on définit un seuil $l \in [0, 1]$ tel qu'un concurrent direct de l'innovateur sera considéré ne pas enfreindre le brevet si et seulement si la qualité q de son produit après l'innovation est dans l'intervalle $[q_0, q_0 + l\Delta]$. Inversement, si $q_0 + l\Delta < q \leq q_0 + \Delta$, le concurrent qui produit la qualité q est considéré comme enfreignant le brevet. Le seuil $l \in [0, 1]$ définit encore dans ce cas l'étendue de la protection du brevet relatif à l'innovation de qualité. Dans ce cas, les concurrents peuvent introduire une amélioration de qualité égale au plus à $l\Delta$ sans enfreindre le brevet.

Considérons enfin le cas d'une *innovation de produit ou de procédé* et mettons l'accent sur le *coût de l'imitation*. Supposons qu'une entreprise a mis au point une innovation de produit ou de procédé *drastique*, c'est à dire une innovation telle que son auteur puisse exclure du marché ses concurrents en pratiquant un prix de vente égal au prix de monopole. Supposons, comme dans le modèle de Gallini (1982), que l'innovation puisse être "imitée", en dépensant un coût fixe, noté k, pour développer un produit substitut parfait du produit innovant. Supposons enfin que l'entrée des "imitateurs" se poursuive jusqu'à ce que le profit de chacun d'eux s'annule. Après l'introduction de son innovation, le profit de l'innovateur à l'équilibre de libre entrée est alors limité à k, jusqu'à la date d'expiration L de l'innovation. Après cette date, l'innovation tombe dans le domaine public et le profit de l'innovateur s'annule. L'étendue de la protection influence de manière positive le coût de l'imitation, c'est à dire le coût de développement d'un produit substitut. Une deuxième conception de l'étendue de la protection consiste donc à retenir une dimension technologique plutôt qu'une délimitation dans l'espace des produits entre ceux qui enfreignent et ceux qui n'enfreignent pas. Le coût fixe k de développement d'un produit (ou d'un procédé) substitut de l'innovation protégée peut ainsi s'exprimer comme une fraction l du profit de monopole π^m que l'innovateur aurait pu s'approprier en l'absence de ces substituts. On définit ainsi l'étendue de la protection par la fraction l donnée par $l = \frac{k}{\pi^m}$. Plus cette fraction est importante, plus l'étendue de la protection est élevée. Cette approche tend à mettre en avant l'idée que le développement de substituts parfaits du produit innovant correspond à un gaspillage de ressources. Dans ce cas, l'arbitrage entre durée et étendue de la protection tend à favoriser l'étendue plutôt que la durée.

3 Un modèle général.

Nous présentons ici le modèle de Denicoló (1996) qui offre un cadre général aboutissant à des conditions suffisantes d'optimalité des différentes configurations longueur-largeur. Ce modèle prend explicitement en compte les dépenses de R&D que nécessite l'innovation. De plus, il introduit la concurrence pour l'obtention de l'innovation sous la forme d'une course au brevet dans laquelle les participants choisissent l'intensité de leur effort de recherche en fonction de la durée du brevet et de l'étendue de sa protection Dans la mesure où la largeur du brevet détermine ce que les concurrents du vainqueur de la course peuvent s'approprier à la suite de l'innovation, la course au brevet n'est pas un tournoi dans lequel seul le vainqueur s'approprie le bénéfice net de l'innovation ("*winner takes all*"). Ce que reçoivent les vaincus de la course pendant toute la durée de vie du brevet dépend de l'étendue de la protection accordée au brevet. De plus, le modèle prend également en compte les flux de profits des entreprises après l'expiration du brevet. Donc, l'incitation à innover ne se réduit pas aux seuls flux de profit pendant la durée de vie du brevet. Enfin, la notion retenue *d'étendue de la protection* est suffisamment flexible pour s'adapter à une grande variété de situations. Pour toutes ces raisons, il est intéressant de présenter en détail ce modèle.

3.1 Présentation du modèle

Supposons que les pouvoirs publics énoncent une règle (L, l) où L est la durée de vie du brevet (longueur) et l est l'étendue de la protection à l'encontre des concurrents. On normalise la mesure de l'étendue de la protection, de sorte que l'absence totale de protection correspond à $l = 0$ et la protection totale à $l = 1$. L'étendue de la protection croît avec l.

Supposons que n firmes participent à une course au brevet pour l'obtention d'une innovation spécifique. Chaque firme i $(i = 1, ..., n)$ consacre un flux continu de dépense de recherche x_i, dépense encourue tant que la découverte n'est pas réalisée (effet d'intensité). La technologie de la R&D est stochastique et la date de découverte est une variable aléatoire distribuée selon une loi de Poisson dont le paramètre est donné par le taux de hasard $T(x)$. Rappelons que ce paramètre mesure la probabilité instantanée de découverte, conditionnellement à une absence de découverte antérieure. On suppose que les rendements de la technologie de R&D sont décroissants. On a donc $T'(x) > 0$ et $T''(x) < 0$.

Pour simplifier, on suppose qu'avant l'apparition de l'innovation, le flux de profit est le même pour toutes les firmes. On le note π.Les flux de profit du vainqueur et des perdants pendant la durée de vie du brevet dépendent de l'étendue de la protection l. Ils sont notés respectivement $\pi_v^*(l)$ et $\pi_p^*(l)$, l'indice v désignant le vainqueur de la course et l'indice p un perdant. On suppose une parfaite symétrie entre les perdants de la course.

Après l'expiration du brevet, l'innovation tombe dans le domaine public et le vainqueur comme les perdants de la course ont un flux de profit qui ne dépend plus de l'étendue du brevet. On note π^{**} ce flux de profit à l'expiration du brevet.

On note $V(L, l)$ et $P(L, l)$ la valeur actualisée des gains respectivement du vainqueur de la course et d'un perdant. Ces valeurs dépendent bien de la configuration (L, l) du brevet. En effet, la valeur actualisée des gains du vainqueur de la course est donnée par:

$$V(L,l) = \int_0^L \pi_v^*(l) \exp(-rt) dt + \int_L^\infty \pi^{**} \exp(-rt) dt$$

On note, comme précedemment, $\varphi(L) = 1 - \exp(-rL)$. L'expression cidessus devient alors:

$$V(L,l) = \frac{\varphi(L)}{r} \pi_v^*(l) + \frac{1-\varphi(L)}{r} \pi^{**} \quad (4)$$

De même, la valeur actualisée des gains d'un perdant de la course est égale à :

$$P(L,l) = \frac{\varphi(L)}{r} \pi_p^*(l) + \frac{1-\varphi(L)}{r} \pi^{**} \quad (5)$$

On introduit à présent quelques hypothèses.

La première hypothèse (H_1) conduit à supposer que, quelle que soit l'étendue de la protection l, le flux de profit du vainqueur de la course $\pi_v^*(l)$ durant la période de validité du brevet est au moins égal au flux de profit π^{**} qu'il perçoit après l'expiration du brevet.: $\pi_v^*(l) \geq \pi^{**} \forall l \geq 0$. On suppose également que cette inégalité est stricte sauf pour $l = 0$, c'est à dire dans le cas où aucune protection n'est accordée à l'innovateur. De même, on suppose qu'un perdant perçoit un flux de profit $\pi_p^*(l)$ pendant l'exercice du brevet qui est au plus égal au flux de profit π^{**} qu'il perçoit à l'expiration du brevet : $\pi_p^*(l) \leq \pi^{**}$.

Au total, l'hypothèse H_1 s'écrit:

$$(H_1) : \pi_v^*(l) \geq \pi^{**} \geq \pi_p^*(l) \ \forall l \geq 0 \text{ et } \pi_v^*(l) > \pi_p^*(l) \ \forall l > 0$$

De ces expressions on déduit : $V(L, l) > P(L, l) \ \forall l \geq 0$, l'inégalité étant stricte sauf pour $l = 0$.

Une seconde hypothèse (H_2) stipule qu'en l'absence totale de protection $(l = 0)$, le vainqueur d'une course ne peut s'approprier aucun avantage spécifique par rapport aux concurrents qui ont perdu la course. C'est ce qui se produit si la concurrence sur le marché des produits est très vive et que l'innovateur ne parvient pas à protéger son pouvoir de marché. Dans ce cas, l'hypothèse H_2 s'exprime par :

$$(H_2) : \pi_v^*(0) = \pi_p^*(0) = \pi^{**}$$

Une troisième hypothèse enfin (H_3) exprime que le flux de profit du vainqueur de la course durant la durée de vie du brevet croît avec le degré de protection accordé tandis que celui d'un perdant ne croît pas avec le degrè de protection. De plus, le flux de profit d'un perdant de la course est nul si la la protection est totale $(l = 1)$. Pour simplifier, on suppose que les fonctions de flux de profit sont dérivables, de sorte que l'hypothèse H_3 s'écrit :

$$(H_3) : \frac{d\pi_v^*(l)}{dl} > 0 \ , \ \frac{d\pi_p^*(l)}{dl} \leq 0 \text{ et } \pi_p^*(1) = 0$$

3.2 L'équilibre de Nash de la course au brevet.

Etant donnée la règle (L, l), le jeu représentant la course au brevet est déterminé en calculant l'espérance des valeurs actualisées des gains des différents participants à la course. Notons x_i la dépense en R&D de la firme i et x_{-i} le vecteur des dépenses des concurrents de i. En suivant la méthode explicitée au chapitre 2, l'espérance de gain de la firme i s'écrit :

$$G_i(x_i, x_{-i}) = \int_0^\infty [\exp\{-[r + \sum_{j=1}^{j=n} T(x_j)]t\}][T(x_i)V + (\sum_{j\neq i} T(x_j))P + \pi - x_i]dt$$

Après intégration, on obtient :

$$G_i(x_i, x_{-i}) = \frac{T(x_i)V + (\sum_{j\neq i} T(x_j))P + \pi - x_i}{r + T(x_i) + (\sum_{j\neq i} T(x_j))}$$

Dans cette expression, les arguments omis des fonctions V et L sont $V = V(L, l)$ et $P = P(L, l)$ selon les expressions trouvées plus haut. Après simplifications, la condition du premier ordre que doit satisfaire un équilibre de Nash intérieur s'écrit:

$$T'(x_i)\left\{\sum_{j\neq i} T(x_j)[V - P] + rV - \pi + x_i)\right\} = \sum_{j=1}^{j=n} T(x_j) + r$$

Si on examine l'équilibre symétrique pour lequel $x_i = x\ \forall i$, on obtient :

$$(n-1)T(x)(V-P) + rV - \pi = \frac{1}{T'(x)}\left[nT(x) + r - xT'(x)\right]$$

En remplaçant V et P par leurs expressions, on obtient alors une équation dont la dépense d'équilibre $x(L, l)$ est la solution :

$$\frac{\varphi(L)}{r}[(n-1)T(x)(\pi_v^*(l)-\pi_p^*(l))+r(\pi_v^*(l)-\pi^{**})]=K(x)\ (6)$$

La valeur du second membre $K(x)$ est donnée par :

$$K(x)=\frac{nT(x)+r-xT'(x)}{T'(x)}+\pi-\pi^{**}\ (7)$$

Notons que l'expression de $K(x)$ dans (7) ne fait pas intervenir directement L et l. La valeur de K ne dépend de L et l qu'indirectement via la dépense d'équilibre $x(L,l)$. Par contre, la valeur de $K(x)$ dépend directement des paramètres du problème $(r,T(x),n,\pi,\pi^{**})$.

On a ainsi déterminé, en fonction de la règle publique (L,l) du brevet, la condition (6) que doit satisfaire le niveau de dépenses d'équilibre $x(L,l)$ d'une firme engagée dans la course au brevet .

3.3 Les solutions en matière de durée et d'étendue de la protection.

On est à présent en mesure d'analyser le choix public en matière de durée (L) et d'étendue de la protection (l). A tout couple (L,l) est associé un niveau de dépense individuelle $\overline{x}$ solution de (6). La question est alors de savoir quel couple (L,l) la société a intérêt à établir. On remarque que le membre de gauche de l'équation (6) est séparable en L et l. Posons:

$$A(l,\overline{x})\equiv(n-1)T(\overline{x})(\pi_v^*(l)-\pi_p^*(l))+r(\pi_v^*(l)-\pi^{**})$$

La condition du premier ordre (6) s'écrit alors :

$$\frac{\varphi(L)}{r}A(l,\overline{x})=K(\overline{x})\ (8)$$

L'équation (8) exprime la condition nécessaire que doivent satisfaire les variables L et l sachant que $\overline{x}(L,l)$ est l'équilibre symétrique du jeu de concurrence pour l'innovation. C'est donc la contrainte sous laquelle le surplus global doit être maximisé pour obtenir la configuration optimale (L, l). Rappelons que $K(\overline{x})$ est donné par :

$$K(\overline{x}) = \frac{nT(\overline{x}) + r - \overline{x}T'(\overline{x})}{T'(\overline{x})} + \pi - \pi^{**}$$

Plusieurs remarques utiles pour la recherche de la configuration optimale peuvent être faites à ce stade

1. L'expression de $K(\overline{x})$ est nécessairement positive. Supposons d'abord que les profits courants avant l'innovation et après l'expiration du brevet soient assez proches ($\pi - \pi^{**}$ proche de 0). Il suffit alors que l'expression $nT(\overline{x}) + r - \overline{x}T'(\overline{x})$ soit positive pour en déduire que $K(\overline{x})$ est positif. Or, ceci résulte de l'hypothèse de rendements décroissants de la technologie de recherche. En effet, le rendement moyen de l'intensité de la recherche $\frac{T(\overline{x})}{\overline{x}}$ est dans ce cas supérieur au rendement marginal $T'(\overline{x})$. Si par contre, le profit avant l'innovation est largement inférieur au profit après l'expiration du brevet ($\pi - \pi^{**} < 0$), il se peut que l'expression de K devienne négative, mais dans ce cas il n'existe pas d'équilibre intérieur au jeu de concurrence.

2.L'expression de $A(l, \overline{x})$, s'interprète comme une mesure de l'incitation d'une firme à gagner la course grâce à un flux de dépenses en R&D de $\overline{x}$ sachant que le brevet est de largeur l. En effet, la valeur de $A(l, \overline{x})$ donnée par $A(l, \overline{x}) = (n-1)T(\overline{x})(\pi_v^*(l) - \pi_p^*(l)) + r(\pi_v^*(l) - \pi^{**})$ est la somme pondérée de deux termes. Le1er terme $(\pi_v^*(l) - \pi_p^*(l))$ représente la différence entre les flux de profit du vainqueur et d'un perdant pendant la durée d'exercice du brevet. Ce 1er terme, qui s'interprète comme la "*menace concurrentielle*", est pondéré par le poids $(n-1)T(\overline{x})$. Or, ce poids représente la probabilité qu'un concurrent gagne la course .On remarquera que la menace concurrentielle est positive dans ce modèle. Le 2ème terme $(\pi_v^*(l) - \pi^{**})$ représente la différence entre le flux de profit $\pi_v^*(l)$ du vainqueur de la course durant l'exercice du brevet et son flux de profit π^{**} après que le brevet soit tombé dans le domaine public. Cette différence est donc la "*rente du vainqueur*". Ce 2ème terme, qui s'interprète comme l'*incitation par la rente*, est pondéré par le taux d'intérêt r puisque cette rente est perpétuelle (elle dure une infinités de périodes après l'expiration du brevet). La menace concurrentielle et l'incitation par la rente contribuent à renforcer l'incitation à gagner la course.

3. Si une seule firme participe à la course ($n = 1$), seule l'*incitation par la rente* intervient dans la mesure de l'incitation à innover. En effet, dans ce

cas, $A(l,\overline{x})$ ne dépend plus de $\overline{x}$ puisque $A(l,\overline{x}) = r(\pi_v^*(l) - \pi^{**})$ si $n = 1$.

4. Si $\pi_p^*(l) = 0$, situation qui se produit selon l'hypothèse H_3 lorsque la protection par le brevet est totale ($l = 1$) et si $\pi^{**} = 0$ (situation de concurrence parfaite après que l'innovation tombe dans le domaine public), à nouveau seule l'*incitation par la rente* intervient : $A(l,\overline{x}) = [(n-1)T(\overline{x}) + r]\,\pi_v^*(l)$.

5. De plus, de l'hypothèse H_2, on tire $A(0,\overline{x}) = 0$, de sorte qu'une protection nulle ($l = 0$) est insuffisante pour assurer l'incitation à innover donnée par l'équation (6). Ceci suggère l'existence d'un seuil minimal pour l'étendue de la protection afin que l'incitation à innover soit satisfaite.

6. Enfin, de l'hypothèse H_3, et de l'expression de $A(l,\overline{x})$, on tire la conclusion que l'incitation à gagner la course croît avec l'étendue de la protection :

$$\frac{\partial A(l,\overline{x})}{\partial l} > 0$$

De l'ensemble des remarques qui précèdent, on peut tirer une proposition concernant la nécessité d'une protection minimale. En effet, comme $A(0,\overline{x}) = 0$, que $A(l,\overline{x})$ croît avec l, et que $K(\overline{x}) > 0$, on en déduit que pour chaque couple $(L,\overline{x})$, il existe une valeur unique $\overline{l}(L,\overline{x})$ strictement positive qui satisfait la condition $\frac{\varphi(L)}{r}A(\overline{l},\overline{x}) = K(\overline{x})$. Cette valeur $\overline{l}(L,\overline{x})$ représente l'étendue minimale de la protection qui dépend de la durée de vie L du brevet et de l'intensité désirée de la recherche $\overline{x}$.

Proposition 1 *(Denicoló,1996) Pour une valeur $\overline{x}$ du flux de dépenses en R&D satisfaisant l'équation (6) et pour toute durée de vie L du brevet, il existe un seuil minimal strictement positif de l'étendue de la protection du brevet $\overline{l}(L,\overline{x})$ défini par $\frac{\varphi(L)}{r}A[\overline{l}(L,\overline{x}),\overline{x}] = K(\overline{x})$. L'investissement en R&D pour participer à la course au brevet n'est réalisé que si l'étendue l de la protection accordée au brevet est supérieure ou égale à ce seuil minimal ($l \geq \overline{l}(L,\overline{x})$).*

3.4 Fonction de bien-être.

On note $w(l)$ l'expression du flux instantané de bien-être défini par la somme du surplus courant des consommateurs et des profits courants des producteurs, générés tous deux par l'innovation. Ce flux de bien-être qui représente le surplus global, dépend de l'étendue de la protection l pour plusieurs raisons. D'une part, pendant la durée d'exercice du brevet, plus l'étendue de la protection est élevée, plus le surplus des consommateurs est faible. Le surplus des consommateurs durant la période de protection est donc une fonction décroissante de l'étendue de la protection. D'autre part, non seulement les consommateurs voient leur surplus baisser avec l'étendue de la protection, mais cette baisse n'est pas entièrement compensée par un accroissement de profits des entreprises, dans la mesure où la société dans son ensemble subit une perte sèche ("*deadweight loss*") qui croît avec le pouvoir de marché de l'innovateur. Cette inefficacité statique de base, associée au pouvoir de marché, dépend de l'étendue de la protection accordée. Notons qu'à l'expiration du brevet, l'étendue de la protection devient nulle ($l = 0$) et le flux de surplus global devient égal à $w(0)$ où $w(0)$ représente le bien être maximal en l'absence de protection.

Nous introduisons ici une 4ème hypothèse (H_4) selon laquelle le surplus global est une fonction strictement décroissante de l'étendue de la protection. Cette hypothèse est vérifiée dans plusieurs applications comme nous le verrons dans la suite.

$$(H_4) : w'(l) < 0 \ \forall l \in [0, 1]$$

Il résulte de cette hypothèse que pour toute valeur strictement positive de l'étendue de la protection l, le flux de surplus global $w(l)$ durant la période de validité du brevet est inférieur au flux de surplus social $w(0)$ après l'expiration du brevet : $w(l) < w(0)$, $\forall l > 0$[3].

Notons que la différence $w(0) - w(l)$ n'est autre que ce que nous avons appelé plus haut le *coût social* du brevet, noté $CS(l)$ et qui correspond à la

[3] Remarquons toutefois que cette hypothèse cruciale n'est pas vérifiée dans certaines situations envisagées dans le modèle de Klemperer (1990). Considérons par exemple la situation où tous les consommateurs ont une fonction de demande inélastique au prix. Dans ce cas, ils peuvent acheter une certaine quantité du bien soit auprès de l'innovateur qui produit le bien de qualité supérieure, soit auprès des concurrents qui produisent des biens inférieurs. L'élargissement de la zone protégée de l'innovateur conduit alors à un accroissement du surplus des consommateurs. Or, c'est l'étendue de cette zone de protection qui définit l'étendue de la protection du brevet dans le modèle de Klemperer. Ainsi, dans ce cas, l'hypothèse H_4 se trouve violée. Mais de telles situations, où les fonctions de demande de biens de qualités différenciées ne dépendent pas de leurs prix respectifs, semblent peu plausibles et c'est la raison pour laquelle on maintient dans ce qui suit l'hypothèse H_4.

perte de bien être due au pouvoir de marché de l'innovateur. On posera donc $w(0) - w(l) = CS(l)$.

Etant donné un brevet de configuration (L, l), le surplus global actualisé, noté $W(L, l)$, s'écrit donc : $W(L, l) = \int_0^L \exp(-rt) w(l) dt + \int_L^\infty \exp(-rt) w(0) dt$. On obtient :

$$W(L, l) = \frac{1}{r}\{\varphi(L)[w(l) - w(0)] + w(0)\} = \frac{1}{r}\{-\varphi(L) CS(l) + w(0)\}$$

La configuration (L, l) optimale est donc la solution du programme de minimisation du coût social

$$\underset{l \in [0,1], L \geq 0)}{Min} \varphi(L)[w(0) - w(l)]$$

sous la contrainte d'incitation :

$$\varphi(L) A(l, \overline{x}) \geq r K(\overline{x})$$

Puisque la fonction $w(l)$ est décroissante en l et que $A(l, \overline{x})$ croît avec l, il en résulte que la contrainte est nécessairement saturée à l'optimum. La saturation de la contrainte définit de manière univoque la durée L comme une fonction décroissante de l'étendue de la protection l. On retrouve bien le fait que la durée L et l'étendue de la protection l sont des instruments substituables. Plusieurs possibilités doivent donc être envisagées selon la nature de la solution du programme précédent.

3.4.1 1er cas : La solution optimale conduit à $l = 1$.

Dans ce cas, l'étendue de la protection est maximale.

On note alors $\overline{L}$ la valeur de L qui satisfait la contrainte:

$$\varphi(\overline{L}) A(1, \overline{x}) = r K(\overline{x}) \text{ (15)}$$

avec $A(1, \overline{x}) = \pi_v^*(1)[(n-1)T(\overline{x}) + r] - r\pi^{**}$ et $K(\overline{x}) = \frac{nT(\overline{x}) + r - \overline{\overline{x}} T'(\overline{x})}{T'(\overline{x})} + \pi - \pi^{**}$

3.4.2 2ème cas : La solution optimale conduit à $L = \infty$.

Dans ce cas, la valeur de l'étendue de la protection est donnée par $\bar{l}(\infty, \overline{x}) = \lim_{L\to\infty} \bar{l}(L, \overline{x})$ où la fonction seuil $\bar{l}(L, \overline{x})$ est définie par la proposition précédente. On vérifie que $\bar{l}(\infty, \overline{x}) < 1$. L'étendue du brevet est minimale.

On peut à présent déterminer des conditions suffisantes pour que l'une ou l'autre de ces solutions de bord soit la solution optimale.

3.5 Conditions suffisantes d'optimalité.

Notons que le programme précédent peut être simplifié. En remarquant que la saturation de la contrainte conduit à $\varphi(L) = \frac{rK(\overline{x})}{A(l,\overline{x})}$ et en remplaçant dans la fonction objectif $\varphi(L)$ par cette valeur, on obtient le programme équivalent suivant :

$$\underset{l\in[\bar{l},1]}{Min} \frac{w(0) - w(l)}{A(l, \overline{x})} \equiv \underset{l\in[\bar{l},1]}{Min} \frac{CS(l)}{A(l, \overline{x})}$$

Ce programme a une profonde similitude avec celui examiné dans la 1ère partie de ce chapitre. La seule différence est qu'à présent le ratio à minimiser $R(l) \equiv \frac{CS(l)}{A(l,\overline{x})}$ est celui du coût social du brevet par unité d'incitation à participer à la course, alors que dans les modèles précédents il s'agissait de minimiser le ratio du coût social du brevet par unité de profit qu'il génère. Notons que ces deux programmes coincident si $n = 1$ ou si $\pi_p^*(l) = \pi^{**} = 0$.

Des conditions suffisantes, permettant de discriminer entre l'une ou l'autre des deux solutions de bord, peuvent alors être établies. Il suffit d'étudier le sens de variation de la fonction $R(l) \equiv \frac{CS(l)}{A(l,\overline{x})}$ que l'on cherche à minimiser sur l'intervalle $[0, 1]$. On a :

$$R'(l) = -\frac{[w'(l)A(l, \overline{x}) + \frac{\partial A(l,\overline{x})}{\partial l}(w(0) - w(l))]}{[A(l, \overline{x})]^2} \equiv -\frac{\Phi(l)}{[A(l, \overline{x})]^2}$$

Dans l'expression précédente, on a noté $\Phi(l) = [w'(l)A(l, \overline{x}) + \frac{\partial A(l,\overline{x})}{\partial l}(w(0) - w(l))]$. Le signe de $R'(l)$ est donc l'opposé de celui de $\Phi(l)$. On vérifie d'abord que les hypothèses H_1 à H_4 ne suffisent pas à caractériser le signe de $\Phi(l)$, donc celui de $R'(l)$. Des conditions supplémentaires sont donc requises.

Notons d'abord que $\Phi(0) = 0$ (car $A(0, \overline{x}) = 0$). D'autre part, la dérivée de $\Phi(l)$ s'écrit : $\Phi'(l) = w''(l)A(l, \overline{x}) + \frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2}(w(0) - w(l))$. Plusieurs cas doivent donc être distingués selon que les fonctions de coût social $CS(l)$ et d'incitation à innover $A(l,\overline{x})$ sont des fonctions convexes ou concaves de la largeur l du brevet.

3.5.1 1er cas : $w''(l) \geq 0$ et $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} \geq 0$ (une au moins des deux inégalités étant stricte).

Dans ce cas, on a: $\Phi'(l) > 0$. Comme $\Phi(0) = 0$ on en déduit $\Phi(l) > 0$ $\forall l > 0$. Donc $R'(l) < 0$. La fonction $R(l)$ étant décroissante, on en déduit $\underset{l\in[\overline{l},1]}{Arg\min} R(l) = 1$. Dans ce cas, l'étendue de la protection doit être maximale et la durée minimale.

3.5.2 2ème cas : $w''(l) \leq 0$ et $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} \leq 0$ (une au moins des deux inégalités étant stricte).

Dans ce cas, on a $\Phi'(l) < 0$. Comme $\Phi(0) = 0$,on en déduit $\Phi(l) < 0$ $\forall l > 0$. Donc $R'(l) > 0$. La fonction $R(l)$ étant croissante, on en déduit $\underset{l\in[\overline{l},1]}{Arg\min} R(l) = \overline{l}$. Dans ce cas, l'étendue de la protection doit être minimale et la durée maximale.

3.5.3 3ème cas : $w''(l) = 0$ $\forall l$ et $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} = 0$ $\forall l$.

Dans ce cas, on a $\Phi'(l) = 0$ $\forall l$ donc la fonction $\Phi(l)$ est indépendante de l. Comme $\Phi(0) = 0$, on en déduit $\Phi(l) = 0$ $\forall l$. Donc, $R'(l) = 0$ $\forall l$. Il en résulte que toute valeur de $l \in [\overline{l}, 1]$ convient. Une valeur de l est associée à une valeur de L solution de $\varphi(L)A(l,\overline{x}) = rK(\overline{x})$.

3.5.4 4ème cas : $w''(l) \geq 0$ et $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} \leq 0$ ou $w''(l) \leq 0$ et $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} \geq 0$.

Dans ce cas, aucune conclusion sur la configuration optimale du brevet ne peut être tirée.

Ces résultats conduisent donc aux conditions suffisantes d'optimalité suivantes.

Proposition 2 *(Denicoló, 1996) Sous les hypothèses H_1 à H_4, si les fonctions croissantes de coût social $CS(l)$ et d'incitation à innover $A(l,\overline{x})$ sont* *convexes en l, strictement pour au moins l'une des deux, la configuration optimale du brevet est une protection totale combinée à une durée limitée. De même, si les fonctions de coût social $CS(l)$ et d'incitation à innover $A(l, \overline{x})$ sont concaves en l, strictement pour au moins l'une des deux, la configuration optimale du brevet combine une protection limitée et une durée illimitée. Enfin, si les fonctions de coût social $CS(l)$ et d'incitation à innover $A(l, \overline{x})$ sont toutes les deux linéaires en l, la configuration optimale du brevet est indéterminée.*

4 Application 1: Configuration optimale du brevet d'une innovation de procédé dans un duopole de Cournot.

Considérons un duopole homogène ($n = 2$) dont la fonction de demande linéaire est donnée par $p = a - Q$ où $Q = q_1 + q_2$. Les deux firmes se font concurrence à la Cournot et ont un coût marginal de production constant et identique, noté c. Elles participent à une course au brevet pour l'obtention d'une innovation de procédé permettant d'abaisser le coût, du niveau c au niveau $c-d$ où d est un paramètre tel que $0 < d < c$. Le perdant de la course a la possibilité d'aménager l'innovation de procédé du vainqueur de la course et de produire au coût $c - \alpha d$ $(0 \leq \alpha \leq 1)$. La valeur de $l = 1 - \alpha$ mesure ainsi l'étendue de la protection accordée au détenteur du brevet. Dans ce cas, pendant la durée de vie du brevet, l'innovateur dispose d'une technologie brevetée caractérisée par le coût marginal $c-d$ et le concurrent dispose d'une technologie non enfreignante caractérisée par le coût $c - (1 - l)d$.

Posons $s = a - c$ et supposons $s > d$, .de sorte que même sous le régime d'une protection totale ($l = 1$), le concurrent de l'innovateur puisse réaliser un profit non nul à l'équilibre de Cournot. La condition $s > d$ revient donc à dire que l'innovation de procédé est non drastique, même dans le cas où elle est parfaitement protégée.

Des calculs immédiats conduisent aux expressions suivantes :
- flux de profit de chaque firme avant l'innovation: $\pi = \frac{s^2}{9}$
- flux de profit du vainqueur de la course $\pi_v^*(l) = \frac{[s+(1+l)d]^2}{9}$
- flux de profit du perdant de la course $\pi_p^*(l) = \frac{[s+(1-2l)d]^2}{9}$
- flux de profit commun aux deux firmes après l'expiration du brevet:

$\pi^{**} = \frac{(s+d)^2}{9}$

- flux de surplus de consommateurs $\frac{[2s+(2-l)d]^2}{18}$

- flux de surplus global $w(l) = \frac{[2s+(2-l)d]^2}{18} + \pi_v^*(l) + \pi_p^*(l) = \frac{1}{18}[11d^2l^2 - 8d(d+s)l + 8(s+d)^2]$

Il est alors aisé d'examiner comment varie le surplus global $w(l)$ avec l'étendue de la largeur l. On calcule pour cela $w'(l) = \frac{d}{9}[11dl - 4(s+d)]$ et $w''(l) = \frac{11d}{9} > 0$

On en déduit qu'une étendue de la protection l telle que $l < \frac{4(s+d)}{11d}$ conduit à un flux de surplus global $w(l)$ décroissant en l ($w'(l) < 0$) et strictement convexe en l ($w''(l) > 0\ \forall l$). Ce seuil $\frac{4(s+d)}{11d}$ est inférieur à 1 si $s < \frac{7}{4}d$. Au total, si on combine cette dernière condition à celle qui exprime que l'innovation est non drastique, on obtient $d < s < \frac{7}{4}d$. Sous cette double condition, la fonction de surplus global $w(l)$ associée à une étendue de la protection l est décroissante pour $l \in [0, \frac{4(s+d)}{11d}]$ et croissante pour $l \in [\frac{4(s+d)}{11d}, 1]$. Par contre, si $\frac{7}{4}d. < s$, alors le seuil $\frac{4(s+d)}{11d}$ est supérieur à 1 et la fonction de surplus global $w(l)$ est décroissante pour tout $l \in [0,1]$. Notons que dans les deux cas, on a $w(1) < w(0)$.

Evidemment, seule la partie décroissante de la fonction $w(l)$ traduit l'existence d'un arbitrage entre durée de vie et étendue de la protection du brevet. Pour les valeurs de l, telles que $w'(l) > 0$, un accroissement de la protection l accroît le surplus global, car un accroissement de la part de marché de la firme la plus efficace est bénéfique pour la société.

Examinons à présent l'incitation à innover $A(l,\overline{x})$. Comme $n = 2$, on obtient : $A(l,\overline{x}) = T(\overline{x})[\pi_v^*(l) - \pi_p^*(l)] + r[\pi_v^*(l) - \pi^{**}]$. En remplaçant par les expressions trouvées de $\pi_v^*(l)$, $\pi_p^{*\prime}(l)$ et π^{**}, on obtient : $\pi_v^*(l) - \pi_p^*(l) = \frac{1}{3}(ld)(2s + (2-l)d)$ et $\pi_v^*(l) - \pi^{**} = \frac{1}{9}(ld)(2s + (2+l)d)$. Donc $A(l,\overline{x}) = T(\overline{x})\frac{ld}{3}(2s + (2-l)d) + r\frac{ld}{9}(2s + (2+l)d)$. En dérivant par rapport à l, on obtient $\frac{\partial A(l,\overline{x})}{\partial l} = \frac{2d^2l}{3}(\frac{r}{3} - T(\overline{x}))$. L'incitation à participer à la course est donc une fonction croissante de l'étendue de la protection si et seulement si $r > 3T(\overline{x})$. De plus, on vérifie que si cette condition est satisfaite, l'incitation à participer à la course est une fonction convexe de l'étendue de la protection, car $\frac{\partial^2 A(l,\overline{x})}{\partial l^2} = \frac{2d^2}{3}(\frac{r}{3} - T(\overline{x}))$

Nous sommes à présent en mesure de conclure grâce à la proposition précédente.

Supposons $r > 3T(\overline{x})$ et $s > d$. La minimisation du ratio $R(l) \equiv \frac{w(0)-w(l)}{A(l,\overline{x})}$ par rapport à $l \in [0,1]$ conduit à distinguer deux cas.

4.1 Premier cas : $s < \frac{7}{4}d$.

C'est la situation où l'innovation de procédé, tout en étant non drastique ($d < s$), conduit néanmoins à une baisse importante du coût ($d > \frac{4}{7}s$). Dans ce cas, la protection socialement optimale conduit à une étendue de la protection $l = \frac{4(s+d)}{11d}$. La durée correspondante du brevet est donnée par la valeur $L(\overline{x})$ solution de l'équation $\varphi(L)A(\frac{4(s+d)}{11d}, \overline{x}) = rK(\overline{x})$.

4.2 Deuxième cas : $s > \frac{7}{4}d$.

C'est la situation où l'innovation de procédé est à la fois non drastique ($d < s$), et non importante en terme de baisse du coût ($d < \frac{4}{7}s$). Dans ce cas, la protection socialement optimale conduit à une étendue maximale de la protection $l = 1$. La durée de la protection est dans ce cas minimale et donnée par la valeur $L(\overline{x})$ solution de l'équation $\varphi(L)A(1, \overline{x}) = rK(\overline{x})$.

Pour une extension de ce problème au cas où la demande est non linéaire, voir Wright (1999)

5 Application 2 : Etendue de la protection avec licence obligatoire

On se contentera ici de donner quelques indications élémentaires. Le lecteur intéressé pourra consulter pour plus de détails l'article deTandon (1982) "Optimal patents with compulsory licensing", *Journal of Political Economy*, 90, 470-486.

On considère une innovation de procédé parvenant au coût c. La fonction de demande est donnée par $Q(p)$. On suppose qu'on est dans un régime de licence obligatoire vendue selon un système de royalties dont le niveau est fixé par le régulateur. Soit $p^m(c)$ le prix de monopole au coût c. Sans réglementation du prix de la licence, mais avec licence obligatoire, l'innovateur fixerait un niveau de royalties au niveau maximal égal à $p^m(c) - c$;

On note $(1 - \alpha)$ la fraction de ce niveau maximal que le régulateur autorise comme prix de la licence. Une fois licencié, le marché du bien devient concurrentiel et le prix s'établit au niveau $p(\alpha) = c + (1 - \alpha)(p^m(c) - c)$. Le cas $\alpha = 0$ correspond à une *protection totale*, cad à la situation où le marché n'est pas réglementé (aucune diffusion de l'innovation). Le cas $\alpha = 1$

correspond à une *absence totale de protection*, cad à la situation où le marché est réglementé (diffusion totale de l'innovation).

L'innovateur qui licencie son innovation obtient donc un profit donné par $\pi_W^*(\alpha) = (1-\alpha)(p^m(c) - c)Q(p(\alpha))$ avec $p(\alpha) = c + (1-\alpha)(p^m(c) - c)$. Dans ce régime de licence obligatoire, on a $\pi_L^*(\alpha) = \pi^{**} = 0$. L'incitation à innover est donnée par $I(\alpha) = [(n-1)h(\overline{x}) + r]\, \pi_W^*(\alpha)$. Il en résulte $I''(\alpha) < 0 \Longleftrightarrow \pi_W^{*\prime\prime}(\alpha) < 0 \Longleftrightarrow Q''(p) < 0$;

Le surplus global est égal à $w(\alpha) = \int_0^{Q(\alpha)} p(\alpha)dQ - cQ(\alpha)$. On obtient $w'(\alpha) = -(1-\alpha)(p^m(c) - c)Q'(p(\alpha)) \Longrightarrow w'(\alpha) > 0$. De plus, on a l'équivalence $w''(\alpha) < 0 \Longleftrightarrow Q''(p) < 0$. On en déduit que si la fonction de demande est concave, le brevet d'une innovation de procédé avec licence obligatoire doit avoir une étendue de protection minimale et une durée infinie.