HAL open science

La protection de la propriété intellectuelle et l'innovation : contributions empiriques et théoriques

Serge Pajak

▶ To cite this version:

Serge Pajak. La protection de la propriété intellectuelle et l'innovation : contributions empiriques et théoriques. Economies et finances. Télécom ParisTech, 2011. Français. NNT : . pastel-00622839

HAL Id: pastel-00622839
https://pastel.hal.science/pastel-00622839v1

Submitted on 12 Sep 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Telecom ParisTech

Thèse

Pour le Doctorat en Sciences Économiques

La protection de la propriété intellectuelle et l'innovation : contributions empiriques et théoriques

Présentée et soutenue le 20 avril 2011 par

Serge Pajak

Sous la direction des professeurs
Marc Bourreau et **Patrick Waelbroeck**

Devant le jury composé de

David Encaoua
Professeur Emérite à l'Université Paris 1
Président

Claude Crampes
Professeur à l'Université Toulouse 1
Rapporteur

Bruno Van Pottelsberghe
Professeur à l'Université Libre de Bruxelles
Rapporteur

Thierry Pénard
Professeur à l'Université de Rennes 1
Examinateur

Marc Bourreau
Professeur à Telecom ParisTech
Directeur de thèse

Patrick Waelbroeck
Maître de Conférence HDR à Telecom ParisTech
Directeur de thèse

"Telecom ParisTech et l'Institut Telecom n'entendent donner ni approbation ni désapprobation quant au contenu de cette thèse, qui n'engage que son auteur."

Remerciements

Je remercie tout d'abord Marc Bourreau et Patrick Waelbroeck, qui m'ont fait confiance au moment où je souhaitais commencer une thèse en économie et m'ont encadré pendant plus de trois ans. L'écriture de ces travaux de recherche doit beaucoup, et j'en suis conscient, à l'environnement intellectuel qu'ils m'ont fourni.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à David Encaoua, qui a accepté de présider ce jury. À l'Université Paris 1 lorsque j'étais étudiant, puis aux séminaires sur l'innovation durant ma thèse, son contact a toujours été extrêmement enrichissant durant ces années.

La présence dans le jury de Claude Crampes, de Bruno Van Pottelsberghe et de Thierry Pénard est pour moi un grand honneur. Je leur en suis vivemment reconnaissant.

Les participants du séminaire sur l'économie et l'économétrie de l'innovation ont partagé avec moi leur enthousiasme et leur expertise dans ces domaines, et je voudrais leur dire combien je leur en suis reconnaissant. Je remercie particulièrement Yassine Lefouili, pour son amitié depuis notre rencontre à la Maison des Sciences Économiques et pour sa précieuse collaboration dans la rédaction de l'un des articles présenté dans cette thèse.

Katheline Schubert et Jean-Philippe Tropéano ont contribué, durant les années passées au magistère d'économie puis en master, à ce que je m'oriente vers la recherche.

Je remercie vivemment Godefroy Beauvallet de m'avoir accueilli au département, au tout début. Durant le stage, j'ai beaucoup appris sur le management de la recherche, et je suis désormais bien convaincu qu'il s'agit d'un art.

Que Michel Gensollen trouve ici l'expression de mes remerciements les plus chaleureux pour le temps qu'il m'a consacré au cours de mon passage au département. Je n'ai aucun doute que je bénéficierai longtemps des synthèses et de la mise en perspective des travaux en économie qu'il a accepté de partager.

Je salue, bien sûr, Thomas Houy qui très tôt a eu pour moi des conseils amicaux et toujours *insightful*. Merci également à David Bounie pour ses conseils et ses recommandations avisés.

Maya Bacache sait combien son soutien cordial m'a été utile, et nos conversations stimulantes, pendant deux ans.

Merci à Niko, Justus, Henry, Régis, Joeffrey... pour leur amitié, ainsi qu'aux doctorants du département.

Enfin, je remercie –déjà– Alain Rallet et Fabrice Rochelandet, pour la suite.

Sommaire

Introduction générale 6

Premier chapitre
« Do Innovative Firms Rely on Big Secrets ? An Analysis of IP Protection Strategies with the CIS 4 Survey » 34

« Avance technologique, brevet, secret : quelle stratégie de divulgation pour les firmes innovantes ? » 62

Deuxième chapitre
« Imitation and Intellectual Property Protection : The Strategic Implications of Damage Rules » 82

Troisième chapitre
« Adoption Strategies with an Imperfectly Competitive Technology Market » 115

Conclusion et prolongements 140

« Chacun s'accorde aujourd'hui sur le fait que le savoir et l'innovation sont la condition majeure du développement des sociétés. Or, il existe deux mondes qui font de ces ressources leur alpha et leur oméga : les arts et la recherche scientifique et technique. »

Pierre-Michel Menger

in *Portrait de l'artiste en travailleur. Métamorphoses du capitalisme.*

1 L'activité créatrice au centre de l'économie

L'innovation technique, c'est-à-dire l'activité créatrice appliquée au domaine industriel, est considérée comme une des sources principales du progrès social et économique. L'importance de l'innovation et du progrès technique dans l'amélioration du niveau de vie a été identifiée dès Adam Smith (1776), qui décrivait l'évolution de l'organisation de la production dans une manufacture d'épingles. Smith se montrait admiratif devant l'augmentation spectaculaire de la productivité qui découlait de la spécialisation du travail et des effets d'apprentissage. À l'inverse, l'innovation a été formulée par Schumpeter (1942) comme un processus de *destruction créatrice*. Il s'agit alors, dans un premier temps, d'une innovation majeure, où un entrepreneur prend le risque de proposer un procédé radicalement nouveau. Schumpeter soutient que l'innovation procède par rupture, suivie d'une succession d'améliorations de moindre ampleur. L'innovation majeure procure à l'entrepreneur une rente de monopole, précisément du fait de son originalité totale. Les améliorations secondaires sont potentiellement nombreuses, mais tardives, car il faut d'abord rattraper l'avance prise par l'innovateur, et sont également plus faciles à imiter. Au final, elles sont moins rentables. Ce schéma de grappe d'innovation a pour conséquence les cycles

économiques tels qu'on les connait. Par la suite, les travaux de Solow (1956) sur la nature de la croissance montrent que le progrès technique est la principale source du résidu [1]. Plus récemment, Aghion et Howitt (1992) proposent une modélisation du processus de destruction créatrice, dans lequel le niveau de recherche constitue le principal déterminant de la croissance.

Le caractère novateur d'une technique, avec la présence d'activité créatrice en amont de la conception d'un produit ou d'un procédé, pose immédiatement le problème de la copie, et donc de la protection, de l'innovation et de la création. Avant de devenir cruciaux pour l'ensemble de l'économie, ces problèmes relevaient du domaine, important mais limité économiquement, de l'édition et des œuvres littéraires. Ainsi, la loi de la Reine Anne, dit Copyright Act de 1709, s'intitule : *« An Act for the Encouragement of Learning, by vesting the Copies of Printed Books in the Authors or purchasers of such Copies, during the Times therein mentioned »*.

Le sujet porte aujourd'hui bien au-delà. L'économie de la connaissance est une économie qui repose sur la production et la gestion des savoirs, l'importance des dépenses de recherche et développement, et l'intensité de l'utilisation des nouvelles technologie de l'information.

Les industries culturelles sont particulièrement concernées par les conséquences de l'économie de la connaissance. Elles font face à l'impact profond de la numérisation, qui conduit à diffuser de nombreuses œuvres sous une forme numérique, aisément duplicable (Varian, 2005 ; Curien et Moreau, 2006 ; Le Diberder, 2010). De fait, un contenu numérique peut être multiplié presque sans limitation par un individu, sans que l'utilité tirée du bien ne diminue pour aucun utilisateur. En l'absence de protection, le contenu immatériel (numérique) a des caractéristiques de bien public, ce qui suggère qu'il sera produit en quantité sous-optimale [2].

1. Le résidu est la part de la croissance économique qui n'est pas expliquée par la combinaison des facteurs capital et travail.

2. En plus de la première loi sur le *copyright* mentionnée plus haut, citons la formulation de la Constitution des États-Unis, Article 2, Section 8, : *« Congress shall have power [...] to promote the progress of science and useful arts, by securing for limited times to authors and inventors the exclusive right to their respective writings and discoveries. »*, ainsi que du Livre vert de la Commission européenne sur le droit d'auteur dans l'économie de la

Dans les secteurs industriels et de biens matériels, la nécessité de dégager un avantage compétitif conduit les firmes à proposer des produits et des procédés innovants. Le résultat de la recherche est pour une grand part immatériel. Par exemple, lorsqu'il existe plusieurs voies de recherche dans un secteur, le simple fait de savoir laquelle conduit à un résultat commercial est en soi une information qui possède une valeur économique très élevée, que l'innovateur ne peut plus s'approprier dès qu'il annonce l'existence de son innovation. Plus le résultat de la recherche est immatériel et moins il est naturellement rival et exclusif [3], et l'incitation à l'innovation s'en trouve réduite (Arrow, 1962).

Face à des contenus qui, pour des raisons techniques, peuvent être copiés quasiment sans coût, ou à des biens dont la différenciation tient à une connaissance innovante et intangible, la démarche de *propriété* intellectuelle vise à rétablir le caractère exclusif et rival de ces innovations. Comme nous le verrons par la suite, celle-ci peut prendre plusieurs formes : i) des mesures de la part des entreprises, comme le secret industriel, ii) des mesures instaurées par la société dans ce but, comme le droit d'auteur, le brevet d'invention, ou encore le dépôt de dessins et modèles.

Cette introduction générale s'organise autour de deux parties. Dans une première partie, nous rappelons les mécanismes susceptibles d'augmenter les incitations privées à l'innovation. En effet, la protection de la propriété intellectuelle constitue une des multiples réponses possibles au problème d'incitation à l'innovation. Cette section propose un aperçu des mesures favorables à la création, en termes de politiques publiques comme d'arguments théoriques. Dans une deuxième partie, nous détaillons les caractéristiques des instruments économiques de protection de la propriété intellectuelle. Loin de relever d'une description figée, le cadre économique et juridique

connaissance (2008) : *« Un niveau de protection élevé du droit d'auteur est essentiel à la création intellectuelle, dans la mesure où il assure le maintien et le développement de la créativité dans l'intérêt des auteurs, des producteurs, des consommateurs et du public en général. »*

3. Voir Foray (2009), « L'Économie de la connaissance », pour une synthèse des spécificités de la connaissance comme objet de recherche.

des droits de propriété intellectuelle se trouve être mouvant et incertain, comme l'a montré la littérature récente en économie industrielle.

2 Les mécanismes économiques visant à augmenter les incitations à l'innovation

Pour améliorer les incitations à l'innovation, la démarche la plus directe est de subventionner soit l'effort de recherche, soit un résultat innovant, ce qui peut se faire, respectivement, par l'instrument fiscal ou par une récompense. Une approche indirecte consiste à ne pas agir sur l'effort de recherche proprement dit, mais à améliorer l'efficacité de cet effort, par exemple en améliorant la capacité d'absorption des firmes ou la circulation des connaissances tacites. Plus largement, on peut agir sur l'environnement dans lequel la firme se situe. Nous présentons à cette fin deux dispositions juridico-économiques qui influencent le processus d'innovation : le droit des faillites et la flexibilité du marché du travail. Enfin, une dernière partie traite de la possibilité d'incitations à l'innovation en l'absence de propriété intellectuelle.

2.1 Subventionner l'innovation : des instruments flexibles

La fiscalité participe, comme aide publique, au soutien à l'innovation. En France, le crédit d'impôt recherche (CIR), qui a été instauré en 2001, est un outil totalement non discriminant en terme d'objectif de la recherche. Il vise à augmenter les dépenses des entreprises, sans chercher à les diriger. Une entreprise active en R&D peut déduire de son imposition un montant égal à 30% de ses dépenses de R&D éligibles pour la tranche inférieure à 100 millions d'euros, et 5% au delà. Le CIR a représenté pour l'année 2009 une dépense de 5 milliards d'euros. Le dispositif vise à augmenter les dépenses privées de R&D de façon non-ciblée : les contrôles *ex-post* portent

uniquement sur le caractère éligible au non des dépenses déclarées au titre du crédit d'impôt, selon leur classification comptable [4], et l'État ne porte à cette occasion aucune appréciation sur l'opportunité des dépenses. La seule différenciation de l'incitation porte sur la nature de la firme : un remboursement particulièrement rapide est prévu pour les entreprises récentes et les Jeunes Entreprises Innovantes (JEI) [5].

Le « prix » (ou récompense) constitue également une forme de subvention à l'innovation. Il consiste, pour une entité publique ou privée, à annoncer le versement d'une récompense à quiconque propose une solution technique à un problème formulé par l'organisateur du prix. Les États ont eu largement recours à de telle subvention au XIXe siècle. Aujourd'hui, ce sont plutôt des entreprises, comme par exemple le prix « Netflix », d'un montant d'un million de dollars, qui a démarré en 2006 et a été accordé en 2009, pour améliorer un algorithme d'appariement des DVD aux goûts des consommateurs. Un système de subvention a l'avantage de fortement diriger l'effort de recherche, potentiellement aussi bien vers des inventions fondamentales que vers celles immédiates et appliquées. Mais ce dirigisme est également un inconvénient : bien que le prix évite la perte sèche due au monopole temporaire accordé par un brevet, il permet à une innovation d'être rentable même lorsqu'il n'existe aucune demande pour celle-ci. Au contraire du système de brevet, dans lequel la valeur du titre de propriété est assise sur la demande de marché pour l'innovation protégée, la récompense est discrétionnaire, et demande de faire confiance à l'entité accordant la récompense pour en aligner précisément le montant sur la valeur sociale. Ainsi, les économistes qui ont cherché à comparer directement le système de protection par brevet et de subvention ne tranchent pas définitivement entre les deux. L'efficacité économique de la subvention peut être supérieure au brevet, ou au contraire bien inférieure, selon l'information

4. Les dispositions relatives au CIR sont énoncées à l'article 244 iv B du Code général des impôts.

5. Les JEI bénéficient, par ailleurs, d'autres facilités fiscales, qui visent soit l'entreprise elle-même, comme l'exonération totale d'IS durant les trois premiers trimestre bénéficiaires, soit les associés de celle-ci, comme l'exonération des plus-values de cession de titres (article 44 sexies-0 A du CGI, introduit en 2004).

dont dispose celui qui offre la récompense (Gallini et Scotchmer, 2001).

2.2 Augmenter la capacité d'absorption des entreprises

Une autre catégorie de politique publique vise à améliorer la diffusion des pratiques et de la démarche de recherche, plutôt que des résultats. En effet, l'efficacité d'une firme en recherche dépend de sa capacité à comprendre puis réintégrer les connaissances existantes (c'est la « capacité d'absorption » de l'innovation). On constate, d'ailleurs, qu'une grande part des activités de recherche conduites par les firmes consiste à rattraper leurs concurrents. Il ne s'agit pas de gaspillage des ressources, car pour se mettre efficacement au niveau de ses concurrents, il ne faut pas seulement réutiliser les résultats de leur recherche mais reproduire par soi-même leurs expériences et leur trajectoire de recherche. L'activité de R&D et la capacité de la firme à bénéficier de la recherche des autres firmes sont complémentaires (Cohen et Levinthal, 1989). Lors du processus de recherche, une firme obtient des résultats qui lui sont propres et améliore sa compréhension générale du domaine où elle pratique de la R&D (Nelson, 1982). La firme peut alors anticiper les trajectoires de recherche possibles, définir des priorités, reproduire rapidement les expériences des concurrents et en tirer des conclusions. De nombreuses études montrent l'importance des 'connexions' dont bénéficie une entreprise vis-à-vis des sources extérieures de connaissance, notamment le milieu amadémique (Cockburn et Henderson, 1998), ainsi que l'importance des effets de réseau (Power, et al., 1996). Dans un tel contexte, améliorer la circulation des connaissances tacites constitue un objectif de politique publique au moins aussi important qu'augmenter le niveau des dépenses de R&D [6]. Cela passe par encourager les chercheurs publics à exercer dans le privé, par exemple avec le statut de Jeune Entreprise Innovante évoqué ci-dessus. Des recherches

6. Le savoir tacite constituant un avantage comparatif, les firmes ne cherchent pas spontanément l'explicitation et la codification de la connaissance innovante. Paul David a proposé le le terme de *tacitunity* pour désigner la tendance des firmes à maintenir tacites les connaissances qui pourraient être codifiées (cité par D. Foray, 2009).

récentes s'attachent à cerner le rôle et l'impact des mutations du personnel de R&D (*churning*) sur la performance innovative des entreprises (Müller et Peters, 2010).

2.3 Établir un environnement favorable à l'innovation

Certaines politiques publiques sont moins proches de la firme, et visent à susciter un contexte favorable, au sens large, à l'innovation pour ainsi augmenter les incitations à innovation. Cela concerne :

- *Le marché des capitaux.* Le marché de la technologie présente une asymétrie informationnelle entre l'innovateur, qui est le seul à connaître l'état réel d'avancement de son innovateur, et les investisseurs[7]. La sélection adverse dans le financement des projets de recherche est importante, et un marché des capitaux imparfait peut bloquer le financement de l'innovation (Mohnen, et al., 2008). L'État peut alors proposer des aides publiques pour suppléer au marché des capitaux déficient. De nombreux travaux visent à évaluer l'efficacité de ces aides publiques (Rajan and Zingales, 1998 ; Toivanen and Hyytinen, 2005 ; Mohnen, et al., 2008). Une autre solution à l'asymétrie d'information sur la qualité de l'innovation en cours réside dans le capital risque. Le capital risqueur se distingue des investisseurs institutionnels ou des marchés de capitaux par sa capacité à réduire considérablement le désavantage informationnel qui le sépare de l'innovateur. Pour cela, le capital risqueur, d'une part se spécialise dans le financement des jeunes entreprises innovantes, ce qui lui donne une connaissance fine des problématiques spécifiques à ces situations, et d'autre part exerce activement son rôle de conseil en tant que détenteur du capital. Kortum et Lerner (2000) établissent un lien significatif entre le financement par capital-risque et le

7. Les droits de propriété intellectuelle soumis à validation par un organisme extérieur, comme les brevets, jouent alors un rôle crucial pour signaler la qualité de l'innovation, même lorsque celle-ci est inaboutie.

degré d'innovation de la firme. En aval, la qualité de l'information des investisseurs reste cruciale. Ainsi, après avoir produit et commercialisé une innovation, la perspective d'une revente de la firme à un investisseur privé de capital-investissement, bien informé, est une importante incitation à l'innovation (Norback, et al., 2010).

– *Le marché du travail.* Dans la vision présentée par Joseph Schumpeter, l'innovation n'est pas une avancée linéaire vers un meilleur produit, mais procède plutôt par ruptures, lorsqu'un nouveau produit ou un nouveau procédé introduit une innovation radicale. Ainsi, l'innovation rend obsolète des pans entiers de l'industrie : la nouveauté s'accompagne d'une destruction (et non d'une amélioration) des technologies existantes, selon un phénomène de *destruction créatrice.* La destruction créatrice se traduit immédiatement en remettant en cause les entreprises et les emplois lié à ces technologies [8]. En conséquence, dans cette analyse, l'absence de flexibilité du marché du travail est un facteur négatif pour l'innovation car les mécanismes de protection sociale aboutissent à conserver artificiellement en place des emplois condamnés par les évolutions technologiques. De plus, les entreprises anticipent que, si elles développent un nouveau procédé trop différent de l'actuelle, elles pourront librement embaucher des salariés dont la formation correspond aux nouveaux besoins, mais pas se séparer des autres. Pour concilier cette analyse avec la nécessité de protéger les salariés, le rapport *« Protection de l'emploi et procédures de licenciement »* (Tirole et Blanchard, 2003), propose une refonte du système de protection sociale, basée sur i) une plus grande liberté de licenciement des entreprises, en mettant fin à l'intervention des tribunaux pour évaluer la pertinence économique de la décision [9], associée à ii) une

8. Environ 10 000 emplois sont détruits chaque jour, en France, et environ autant sont créés, l'évolution du taux de chômage correspondant à la différence entre ces deux flux, d'après une estimation présentée dans l'ouvrage *« Le chômage, fatalité ou nécessité ? »* (Cachuc et Zylberberg, 2004).

9. Voir le rapport *« De la Précarité à la Mobilité : Vers une Sécurité Sociale Professionnelle »* (Cachuc et Kramarz, 2004), pour une description de l'évolution des pratiques du licenciement destinées à contourner le contrôle du juge sur la procédure de licenciement économique, ainsi qu'un panorama très complet sur les problématiques du marché de l'emploi.

pénalité de licenciement, payée à la fois au salarié et aux organismes sociaux, qui intègre toutes les externalités négatives, notamment dues à la formation professionnelle.

- *Le partage du risque.* Les conséquences d'un échec du processus de R&D peuvent, selon les pays, peser durement sur l'entrepreneur ou bien être partagés avec d'autres acteurs. Le capital-risque et les aides publiques évoqués plus haut contribuent à une socialisation des conséquences, comme peut aussi le faire le droit des faillites. La loi américaine (le chapitre 11 du code des impôts) est ainsi particulièrement favorable à l'entrepreneur en faillite et lui permet, beaucoup plus facilement qu'en Europe, de se dégager de ses obligations vis-à-vis de ses créditeurs (Jackson, 1985). En Europe, la logique est de considérer que ces derniers doivent assumer la responsabilité de la confiance qu'ils ont placé dans l'entrepreneur en lui faisant crédit. Pendant longtemps, ce sujet a fait l'objet d'une analyse purement juridique. Plusieurs études empiriques récentes visent à isoler l'impact de cette disposition sur les jeunes entreprises. Elles procèdent en comparant les facilités relatives de la mise en faillite dans de nombreux pays, et concluent que les lois sur les faillites "laxistes", qui diluent la responsabilité des entrepreneurs, soutiennent l'innovation (Armour, et al. 2007 ; Lee, et al., 2010).

- *Une politique de rachat de brevets.* On peut également envisager des méthodes d'incitation plus complexes, qui sélectionnent finement l'aspect souhaitable de plusieurs pratiques existant indépendamment, afin de les combiner. Par exemple, le rachat d'un brevet dans le but de le placer dans le domaine public, améliore beaucoup la diffusion de l'innovation. Mais lorsque la puissance publique souhaite procéder à un rachat de brevet, elle doit la plupart du temps le faire contre la volonté du propriétaire, qui demande en contrepartie de recevoir une estimation haute de la valeur sociale de l'innovation, et pas sa valeur privée. En général, de telles négociations échouent. Quant aux gouvernements qui sont capables de racheter de

façon discrétionnaire un droit de propriété intellectuelle, ils se trouvent, souvent, également en situation de proposer un prix confiscatoire, ce qui annule toute incitation *ex-ante*. Pour remédier à cela, il faut imposer au détenteur du brevet non pas sa vente à l'État, mais sa mise aux enchères publiques. Lorsque l'innovation est considérée comme ayant une valeur sociale élevée, l'État participe alors à la vente aux enchères (Kremer, 1998).

2.4 L'innovation est-elle possible sans brevet ?

Nous avons vu plus haut que la récompense constitue une alternative possible au droit de propriété pour inciter à l'investissement. Ces résultats sont complétés par une branche de la littérature qui se consacre à expliciter quelles sont les incitations à la création et comment il est possible de commercialiser un produit innovant, soumis à une concurrence dès sa production, en l'absence de récompense et de protection juridique de la propriété intellectuelle.

Lorsqu'un innovateur est détenteur, par exemple, d'un procédé qui permet de réduire le coût marginal de production d'une firme, celui-ci peut-il vendre son idée sans protection ? L'information est asymétrique, car seul l'innovateur connait la réalité de son idée, tandis que l'acquéreur potentiel, qui peut être un capital risqueur ou bien une firme intéressée par l'innovation, n'a que les informations volontairement révélées par l'innovateur. Avec des droits de propriété intellectuelle (DPI), l'information peut être à la fois diffusée à l'acquéreur potentiel, qui s'assure ainsi de la crédibilité de l'offre, sans que ce dernier puisse l'exploiter commercialement, du fait de la protection juridique. De plus, le brevet constitue un signal qui contribue à informer l'acquéreur potentiel. En l'absence de droit de propriété, l'obstacle principal réside dans la possibilité d'expropriation : une fois l'information révélée par l'innovateur pour crédibiliser son offre, l'acquéreur potentiel peut en disposer pour son propre compte sans avoir à l'acquérir. Toutefois, il existe deux facteurs qui atténuent ce résultat. D'une part, l'innovateur sérieux a intérêt a diffuser l'in-

formation afin de négocier en information complète. D'autre part, une fois l'information révélée volontairement, la firme cliente doit acquérir effectivement l'idée proposée pour empêcher l'innovateur de se tourner vers les concurrents. L'existence d'un équilibre avec, à la fois, révélation complète et acquisition, montre que la production et la vente d'idée intangible peut être réalisée en l'absence de protection (Anton et Yao, 1994).

La dynamique compétitive sur le marché de la technologie influence également le rôle de la protection de l'innovation. Ainsi, les entrants potentiels sur ce marché peuvent concurrencer l'innovateur de deux manières : soit en imitant (de façon coûteuse) sa technologie, soit en obtenant une licence. En faisant concurrence à l'innovateur sur le marché des produits, un imitateur devient également présent sur le marché de la technologie, car il peut lui aussi proposer une licence pour sa technologie substituable. Le prix de la licence se détermine sur le marché de la technologie, et il est décroissant avec le nombre d'entrants. Il existe donc une incitation, pour les imitateurs potentiels, à retarder leur entrée afin d'attendre que de nouveaux entrants fassent baisser le prix de la technologie. La guerre d'usure ainsi obtenue est suffisante, sous certaines conditions, pour susciter de façon endogène un délai de copie, qui permet à l'innovateur de réaliser un profit. Ces résultats sont obtenus en supposant une faible asymétrie d'information, contrairement à Anton et Yao (1991), et ils montrent l'importance de l'interaction entre le marché des produits et le marché de la technologie pour établir des incitations à l'innovation en l'absence de DPI (Henry et Ponce, 2009).

Enfin, pour contourner le caractère non rival et non exclusif des biens produits, la firme peut renoncer à vendre ce bien, et plutôt se focaliser sur un bien complémentaire, mais qui possède les caractéristiques habituelles d'appropriabilité. Dans le cas des logiciels libres, il s'agit de proposer un service de maintenance ; tandis qu'un artiste peut chercher à centrer ses recettes sur les concerts plutôt que sur les ventes de titres numérisés (Shapiro et Varian, 1998 ; Boldrin

et Levine, 2005).

3 La protection de la propriété intellectuelle

Une entreprise qui souhaite protéger sa propriété intellectuelle dispose pour cela de plusieurs méthodes, et le choix de la méthode de protection a des conséquences importantes en terme de bien-être social, car chaque forme de protection de la propriété intellectuelle amène un degré différent de diffusion des connaissances. Nous présentons tout d'abord des éléments de définition des méthodes de protection, puis le contenu de la thèse cherchera à analyser plus finement le choix de la méthode de protection et ses conséquences.

Malgré leur analogie, un droit de propriété intellectuelle n'est pas équivalent à un droit de propriété physique. Le DPI est considérablement plus incertain et plus flou que le droit de propriété physique. Cela se traduit de deux façons : d'une part, l'étendue de la protection intellectuelle accordée par la société a changé au cours du temps, en terme de durée et de critère de brevetabilité, d'autre part le brevet d'invention est un titre de propriété incertain du fait de ses modalités d'émission.

3.1 Les multiples formes de la protection

Le secret industriel Il consiste à prendre des mesures visant à conserver au sein de l'entreprise des informations relatives à un produit ou un procédé de fabrication. Aux États-Unis, le *Uniform Trade Secrets Act* réglemente l'usage du secret industriel par les entreprises. La loi exige que l'entreprise qui poursuit pour infraction au secret industriel a pris, avant l'infraction dont elle s'estime victime, des mesures positives, coûteuses et proportionnées à l'importance économique

de la propriété intellectelle à protéger. La loi prévoit, notamment, que les indemnités financières à verser à l'inventeur en cas de vol de secret industriel sont calculées de manière similaire à celles exigibles en cas d'infraction de brevet, c'est-à-dire royalties raisonnables, enrichissement indû, ou manque à gagner. L'objectif de la loi est de faire du secret industriel un mode de protection de la propriété intellectuelle dont l'infraction est sanctionnée de la même façon qu'une infraction de brevet, de façon à renforcer le secret industriel comme alternative possible au brevet. Il reste que la preuve de l'infraction est plus difficile à apporter lorsque l'innovation est protégée par secret, notamment parce que l'ingénierie-inverse n'est pas considérée comme une infraction au secret industriel (Anton et Yao, 1994).

Le *copyright* / droit d'auteur Le droit d'auteur protège les œuvres de l'esprit originales dès leur création, même lorsqu'elles sont encore inachevées. Il s'applique de plein droit sans démarche particulière [10], au contraire de la protection par brevet d'invention, dépôt de marque ou par enregistrement de dessins et modèles. Par la même logique, au contraire de ces DPI, une protection par le droit d'auteur ne constitue pas une garantie de l'inventivité ou de l'utilité de la création, mais seulement de son originalité.

Le droit d'auteur accorde des droits de deux natures. Tout d'abord le droit moral, inaliénable et incessible, qui reconnait à l'auteur la paternité et l'intégrité de l'œuvre [11]. Puis des droits patrimoniaux, qui confère à l'auteur le droit exclusif d'autoriser l'utilisation de ses œuvres ainsi que de définir les conditions de leur exploitation [12]. Ces droits se rapprochent fortement des droits de propriété sur les biens corporels, à la différence qu'ils sont limités dans le temps :

10. Jusqu'en 1978, le *copyright* américain ne protégeait une œuvre de l'esprit qu'à compter de sa publication, accompagnée d'une notification de *copyright* par le symbole ©. Cette obligation, qui n'est plus en vigueur, illustre la différence de conception entre le droit d'auteur, constitué en partie d'un droit moral inaliénable et d'autre part de droits patrimoniaux librement cessibles, et le *copyright*, centré sur la publication de l'œuvre et une vision patrimoniale de cette dernière.

11. L'ensemble des droits moraux est constitué du droit de divulgation, de paternité, d'intégrité et de retrait.

12. Les droits patrimoniaux sont principalement le droit de reproduction, le droit de représentation et le droit de suite.

passé ce délai, l'œuvre entre dans le domaine public. En France, une œuvre est actuellement protégée 70 ans après la mort de l'auteur [13]. Dans un soucis d'harmonisation internationale des durée de protection, l'Union Européenne, la Convention de Berne, ainsi que l'accord TRIPS (*Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights*) ont fixé des durée minimum respectivement équivalentes ou légèrement inférieures (de 50 ans après la mort de l'auteur pour ces deux dernières conventions).

Copyright et droit d'auteur sont des concepts clairement distincts dans leur vision de l'œuvre et de l'activité créatrice, bien que ces deux modes de protection soient largement harmonisés par la Convention de Berne. En particulier, le *copyright* s'applique uniquement lorsque l'œuvre est fixée sur un support tangible, comme la transcription écrite d'un discours ou l'écriture de la partition musicale d'une improvisation, là où le droit d'auteur existe dès la création indépendamment du support. De plus, le titulaire du droit d'auteur est nécessairement l'auteur, qui conserve le droit moral et peut céder les droits patrimoniaux, là où un producteur ou un éditeur est très couramment détenteur du *copyright*. De même, pour une création sur commande ou dans le cadre d'un contrat de travail, le salarié est dans les pays de droit d'auteur propriétaire de tous ses droits, sauf stipulation du contrat de travail qui transfère les droits patrimoniaux à l'employeur, tandis que le *copyright* revient automatiquement à l'employeur ou au commanditaire.

Néanmoins, ces différences conceptuelles fortes ont peu d'implication proprement économiques, et les deux modes de protection sont étudiés de manière interchangeable dans la littérature économique.

Les brevets Les premiers brevets ont été accordés aux xve siècle à Venise et Florence. Sous leur forme moderne, aux États-Unis, le *Patent Act* de 1790 est voté pour mettre en application

13. Code de la Propriété Intellectuelle, Art. L. 123-1. La durée de protection de 70 ans commence à compter de la publication pour les œuvres anonymes ou publiées sous pseudonyme (Art. L. 123-3).

l'article 2, section 8, de la nouvelle Constitution qui prévoit que le Congrès *« promote the progress of science and useful arts, by securing for limited times to authors and inventors the exclusive right to their respective writings and discoveries. »*. En France, c'est la loi du 7 janvier 1791 qui institue le brevet. Il est prévu avec l'inventeur une logique de contre-partie : en échange de la protection accordée, un inventeur doit rendre public le contenu de l'invention, pour que toute personne compétente dans le domaine puisse comprendre la solution technique qui est déposée et puisse la reproduire une fois la durée de monopole écoulée.

La marque C'est un signe permettant à une entreprise de distinguer ses produits ou services des concurrents. La marque peut-être associée à un produit utilisant un procédé breveté et innovant, mais cela n'est pas nécessaire. Elle permet à l'entreprise de positionner ses produits et de communiquer sur leur différenciation.

Les dessins et modèles Ils permettent de protéger l'apparence d'un produit, sa forme plastique. Ils sont définis par l'article L. 511-2 du code de la propriété intellectuelle, *« seul peut être protégé le dessin ou modèle qui est nouveau et présente un caractère propre »*, et il est entendu qu'*« un dessin ou modèle a un caractère propre lorsque l'impression visuelle d'ensemble qu'il suscite chez l'observateur averti diffère de celle produite par tout dessin ou modèle divulgué avant [...] »* (art. L. 511-4 du CPI)

3.2 Les contours mouvants des instruments de protection

En matière de droits d'auteur La durée minimale de protection est désormais harmonisée dans les pays occidentaux par la Convention de Berne et l'accord TRIPS, qui fixent la durée minimale de la protection à 50 ans après la mort de l'auteur, ce qui est loin de conduire à une

harmonisation des durées effectives de protection. La réglementation américaine a considérablement évoluée dans le sens de l'augmentation de la durée de protection : le Copyright Act de 1790 fixe à 14 années, renouvelable une fois, la durée pendant laquelle un auteur dispose du monopole d'exploitation de son œuvre, soit un total de 28 ans ; cette durée est modifiée à la hausse en 1831 (42 ans), en 1909 (46 ans), en 1976 (50 ans après la mort de l'auteur ou 75 ans pour une création pour le compte de l'employeur), puis en 1998 (70 ans après la mort de l'auteur, ou 95 ans après publication pour lecompte del'employeur). Cette dernière modification, le *Copyright Term Extension Act of 1998*, est parfois surnommée le *Sonny Bono Copyright Term Extension Act*, voire le *Mickey Mouse Act*. En effet, elle illustre la difficulté pour les États à concilier la défense de leur industrie nationale, qui les conduit à augmenter la durée de protection pour empêcher des œuvres économiquement majeures de tomber dans le domaine public, avec les recommandations de politique économique qui spécifient que le monopole accordée par le droit de la propriété intellectuelle doit être temporaire et limité.

Par ailleurs, en 1790 les États-Unis ne reconnaissent pas les droits d'auteur protégeant les œuvres étrangères. Le Copyright Act de 1891 intègre les œuvres étrangères dans le périmètre de la protection, mais seulement lorsque l'ouvrage a été édité sur le territoire américain. Ce n'est qu'à partir de 1976 que la loi américaine prend en compte les droits des auteurs étrangers.

Les domaines de brevetabilité Ils ont subi des évolutions importantes liés aux nouvelles technologies. Historiquement, un brevet protège une innovation industrielle : il s'agit, selon les termes de l'Institut National de Propriété Intellectuelle, d' « *une réponse technique à une question technique* », c'est-à-dire un procédé qui fixe de manière tangible une avancée technique appliquée. Cependant, l'importance des actifs intangibles dans l'activité des firmes dans le contexte de l'économie de la connaissance a naturellement conduit à s'interroger sur l'étendue des domaines

de brevetabilité, notamment pour envisager d'y intégrer les logiciels ou les modèles d'affaires. Le *Patent Act* américain de 1952 n'exclut explicitement aucun domaine d'une protection par brevet, et laisse une large marge d'appréciation en la matière aux acteurs de l'industrie, les entreprises et les tribunaux. C'est donc aux tribunaux qu'il revient de trancher pour définir précisément les domaines de brevetabilité par une évolution progressive de la jurisprudence.

La Cour suprême américaine le fera à trois reprises, pour successivement interdire par principe, puis assouplir dans certains cas, les brevets logiciels. La Cour considère en 1972 qu'un logiciel étant simplement une successions de calculs ou d'étapes mentales reposant sur des formules mathématiques, qui ne sont pas brevetable, une protection par brevet n'est pas possible [14]. Un logiciel n'est donc pas brevetable en lui-même, et sa protection naturelle en tant qu'œuvre se limite au *copyright*. En revanche, lorsqu'un logiciel qui se réduit à implémenter une formule mathématique est lié une machine, l'innovation peut être brevetée [15] : la présence d'une formule mathématique sous forme logicielle n'empêche pas la brevetabilité d'une innovation qui répond par ailleurs aux critères exigés. Enfin, lorsqu'un procédé correspond l'état de l'art, sauf pour la partie logicielle qui propose une implémentation nouvelle et originale d'un algorithme, un brevet doit être accordé [16]. Ainsi, un logiciel au caractère novateur peut constituer une *inventive step* qui rend brevetable une innovation qui ne le serait pas sans le logiciel.

Aujourd'hui, une application pratique d'une invention logicielle peut être brevetée [17] aux États-Unis. En Europe, les brevets logiciels sont exclus par la European Patent Convention (EPC), qui définit le brevet européen et harmonise les procédures d'obtention de brevets. Mais la

14. Arrêt *Gottschalk v. Benson*, 409 U.S. 63 (1972).
15. Arrêt *Diamond v. Diehr*, 450 U.S. 175 (1981)
16. Arrêt *Parker v. Flook*, 437 U.S. 584 (1978). Un brevet pour un pot catalytique avait été refusé car ce dernier ne différait de l'existant que par l'algorithme de lissage des températures internes utilisé pour déclencher le voyant d'alerte de surchauffe. L'examinateur considérait qu'accorder un brevet revenait à protéger le logiciel de contrôle, qui n'est pas une innovation tangible.
17. USPTO Final Computer Related Examination Guidelines (1996).

formulation utilisée est ambigüe comme l'EPC interdit de protéger les programmes informatiques *en tant que tels*, ce qui donne lieu a un contentieux juridique abondant. De fait, le sujet de l'extension des domaines de brevetabilité est renvoyé aux législations et aux offices des brevets nationaux. Ces derniers, pour la plupart, ne permettent pas de breveter des logiciels. Une directive européenne visant à permettre les brevets logiciels a été approuvée par le Conseil le 7 mars 2005, pour être rejetée [18] le 6 juillet 2005 par le Parlement européen.

L'incertitude juridique est aussi très importante concernant la brevetabilité des modèles d'affaires aux États-Unis. Une Cour d'appel a autorisé en 1998 la protection de tout type d'innovation capable de produire un résultat utile et tangible, comme un prix [19]. Ce critère d'utilité du résultat du processus, beaucoup moins exigeant que les précédents, a conduit à une augmentation des dépôts de brevets de logiciels, notamment dans le secteur de la finance, de la fiscalité et du commerce électronique.

La décision a toutefois été invalidée récemment [20], ce qui semble, pour l'instant, mettre une pause à l'extension des domaines de brevetabilité observée ces dernières années.

3.3 Incertitude sur la validité d'un brevet : un droit de propriété *probabiliste*

Un brevet d'invention est émis par un office de brevet (USPTO aux États-Unis, EPO en Europe et JPO au Japon) lorsque la demande qui lui est présentée satisfait aux critères de brevetabilité. La formulation de ces critères diffèrent selon les pays, mais on retrouve trois éléments communs : i) la nouveauté de l'invention, qui s'appécie par rapport à l'état de l'art au moment du dépôt (*first-to-file*) ou bien au moment de l'invention (*first-to-invent*), ii) l'utilité de

18. Le projet de directive a été rejetée par 648 voix contre et 14 pour.
19. Arrêt *State Street Bank v. Signature Financial Group*, 149 F.3d 1368 (Fed. Cir. 1998)
20. La Cour d'appel est revenue sur sa décision dans *In re Bilski* (Fed. Cir. 2008), puis la Cour suprême a confirmé que le critère d'utilité du résultat n'est pas suffisant avec *Bilski v. Kappos*, 561 U.S. (2010)

l'invention, c'est-à-dire l'existence d'une application industrielle potentielle, iii) son inventivité, ou non-évidence, qui exige que l'invention ne soit pas une simple recombinaison d'éléments déjà connus. Malgré une jurisprudence abondante visant à les définir précisément, ces trois critères restent sujet à interprétation. Par ailleurs, le nombre de demandes de brevets est en très forte augmentation depuis vingt ans, et certains auteurs évaluent à quinze heures seulement la durée moyenne dont dispose chaque examinateur pour se prononcer sur une demande (Lemley et Shapiro, 2005). De plus, les incitations managériales au sein des offices de brevet rendent plus facile d'accepter une demande plutôt que de la refuser, par exemple car le nombre de brevets accordés rentre en compte dans l'indicateur de performance des examinateurs, et que refuser un brevet exige plus de justification administrative que de l'accorder (Seabright, et al.). Ceci conduit les offices de brevet à accorder des brevets d'invention à tort. Il s'agit alors d'un brevet *« faible »*, ou de mauvaise qualité. Lorsque le détenteur cherche à faire respecter son droit de propriété intellectuelle, la partie adverse peut contester la régularité de l'émission du brevet qui lui est opposé, sur la base des critères de brevetabilité. Le tribunal doit alors se prononcer, ce qui peut le conduire à redéfinir l'étendue de la protection accordée par le brevet voire à invalider complètement ce dernier. Aux États-Unis, l'invalidation est prononcée pour 50% des brevets contestés. Le brevet peut, dans ces conditions, être vu comme un *« droit probabiliste »*(Lemley et Shapiro, 2005).

3.4 Des DPI forts pour une bonne diffusion ?

Une forte protection des DPI ne s'oppose pas nécessairement à l'objectif de diffusion des connaissances. Un effet, un brevet d'invention accorde un monopole sur l'exploitation commerciale de l'innovation protégée, mais comme on l'a vu il s'accompagne d'une description écrite de cette dernière qui permet, en théorie, à toute personne du secteur de la reproduire. Or, lorsque les brevets apportent une faible protection, l'innovateur est conduit à préférer les méthodes in-

formelles pour protéger son innovation, comme le secret industriel ou l'avantage stratégique du premier arrivé, qui constituent des alternatives au brevet d'autant plus intéressantes que les brevets sont faibles (Ordover, 1991). De plus, les méthodes de protection informelles ne permettent pas la diffusion des connaissances car ces méthodes ne laissent pas la possibilité d'accord de licence.

Cependant, dans le cas où l'innovation est protégée par brevet, l'innovateur peut être réticent à accorder une licence car le détenteur du brevet et le licencié signent nécessairement un contrat incomplet (Choi, 2002 ; Brousseau, et al., 2006). En effet, les caractéristiques de l'innovation et la connaissance implicite pour la mettre en œuvre sont observables par les deux firmes contractantes, mais pas par une tierce partie. Un contrat basé sur ces caractéristique n'est donc pas opposable devant un tribunal. L'innovateur risque ainsi de perdre le contrôle de sa connaissance, car une fois que le licencié se trouve en possession des résultats de la R&D de l'innovateur principal, il peut l'utiliser dans sa propre activité de recherche. Il peut, de ce fait, l'améliorer, et obtenir une situation concurrentielle favorable au détriment de l'innovateur de départ. Face à cette situation, l'innovateur peut imposer au contrat de licence des clauses de licence croisées ou licence retour (*grant-back*) sur les autres brevets du licencié qui reposent sur la technologie de départ (Choi, 2002).

4 Contenu de la thèse

Cette thèse en économie industrielle cherche à expliciter les stratégies des entreprises en matière de protection de leur propriété intellectuelle, afin d'analyser les conséquences des comportements de protection en terme de bien-être social et d'impact sur la concurrence.

Les deux premiers articles, empiriques, étudient la protection de la propriété intellectuelle par

les entreprise innovantes en France sur la base de l'enquête Community Innovation Survey 4 de 2004. Ils cherchent à trancher entre deux effets opposés intervenant dans la décision de protéger ou non une innovation par un brevet. D'une part, l'objectif du système de brevet est de conduire les entreprises à déposer des brevets pour leurs innovations de façon à divulguer le plus largement possible les résultats de la recherche, et offre pour cela au déposant le monopole de l'exploitation comemrciale de son innovation. Par ailleurs, l'incertitude juridique croissante autour des droits de propriété intellectuelle remet en cause l'arbitrage entre divulgation et protection qui s'offre à un innovateur : une fois le brevet déposé, l'innovation est divulguée quelles que soient les difficultés juridiques que rencontrera l'entreprise innovante à faire respecter son droit de propriété intellectuelle. La littérature économique a récemment argumenté, par exemple par Anton et Yao (2004), que cette évolution conduit les entreprises les plus innovantes à préférer le secret pour la protection de leurs innovations majeures.

L'article « *Do Innovative Firms Rely on Big Secrets ? An Analysis of IP Protection Strategies with the CIS 4 Survey* » s'intéresse aux petites entreprises, de moins de 30 salariés et disposant en moyenne d'un seul brevet. L'analyse utilise un modèle de probit bivarié et montre que, dans le secteur des bien intermédiaires, les petites innovations ont une forte probabilité d'être brevetées, tandis que le secret est plus susceptible d'être utilisé pour protéger une grande innovation qu'une petite. De plus, sur l'ensemble des secteurs, la part des produits innovants dans le chiffre d'affaires total diminue la probabilité d'usage du brevet. Ces résultats utilisent ainsi deux mesures de l'importance de l'innovation, une importance de l'innovation déclarée par l'entreprise et la proportion du chiffre d'affaires réalisé sur des produits innovants, qui tendent toutes les deux à confirmer l'importance de l'usage du secret.

L'article « *Avance technologique, brevet, secret : quelle stratégie de divulgation pour les firmes innovantes ?* » compare l'usage des différentes méthodes de protection de l'innovation. Une en-

treprise innovante qui souhaite protéger sa propriété intellectuelle dispose pour cela de plusieurs instruments, notamment le brevet, le secret, l'avance technologique et la complexité à la conception. Cet article étudie empiriquement la protection de l'innovation par les firmes françaises en utilisant les données de l'enquête CIS 4 entre 2002 et 2004. Il ressort que l'intensité de l'effort de R&D d'une firme augmente la probabilité de recours à des méthodes informelles de protection sans divulgation de l'innovation (secret, avance, complexité) et n'a aucun impact sur l'usage des instruments juridiques (brevet) qui, eux, contribuent à la diffusion des connaissances. L'avance est la seule méthode qui reste pertinente pour les innovations importantes des firmes intensives en R&D. L'étude des interactions entre instruments de protection montre une substitution entre brevet et avance ainsi qu'entre brevet et secret, c'est-à-dire entre des instruments imposant la divulgation des connaissances et ceux qui se basent sur le secret. Lorsqu'on relie ce choix à l'importance de l'innovation, il apparaît que la stratégie de protection avec divulgation ne s'impose pas parmi les firmes les plus innovantes.

Dans le troisième article, « *Imitation and Intellectual Property Protection : The Strategic Implications of Damage Rules* » (en co-écriture avec Yassine Lefouili, Toulouse School of Economics), on étudie, de façon modélisée, comment le cadre juridique qui s'impose à l'entreprise influence son comportement de protection de sa propriété intellectuelle. Bien qu'étant une activité illégale, l'imitation obéit avant tout à une logique économique, et les compensations potentielles en cas de condamnation déterminent largement la décision de mettre en œuvre ou non une stratégie d'imitation. Plus spécifiquement, les tribunaux des pays de l'OCDE peuvent utiliser, selon le pays, plusieurs modes de calcul pour établir le montant des compensations financières attribuées à un détenteur de brevet victime de contrefaçon. On retrouve un résultat de la littérature existante, affirmant que la règle du « manque à gagner » est de nature à dissuader l'imitation de façon plus efficace que celle de « l'enrichissement indû ». Du fait que l'imitation est totale-

ment dissuadée pour une innovation majeure gardée secrète, il ressort que le secret est un choix optimal pour protéger une grande innovation et que, de plus, l'innovateur est indifférent entre secret et brevet pour des valeurs bien précises du paramètre de la force du brevet et du coût de l'imitation. Dans le cas des innovations moins importantes, où les résultats sont moins tranchés, nous fournissons une caractérisation complète de la décision d'imitation et du choix de protection dans tout l'espace de ces deux paramètres.

Le quatrième article, « *Adoption Strategies with an Imperfectly Competitive Technology Market* » (en co-écriture avec Marc Bourreau, Telecom ParisTech), se situe dans le cadre des modèles d'adoption de technologie proposé par Fudenberg et Tirole (1983). Dans ce modèle, et les nombreuses extensions qui ont suivi, le coût d'adoption de la technologie par une firme en aval du marché est supposé être décroissant au cours du temps, du fait, par exemple, des gains d'efficacité sur le marché de la technologie, ou de la baisse du coût des composants. Ce cadre revient à supposer que le marché de la technologie est parfaitement concurrentiel, dans le sens où la firme amont répercute la baisse de ses coûts aux firmes en aval. Cela conduit au résultat de dissipation de la rente dans une course à la préemption. Une firme amont disposant de pouvoir de marché, au contraire, cherche à capter les profits des firmes en aval, par exemple à l'aide de la partie fixe d'un tarif binôme. Dès lors, la dissipation de la rente n'est plus dans l'intérêt de l'innovateur, qui, au contraire, cherche à retarder l'adoption de la technologie. Nous établissons que, lorsque le marché amont est constitué d'un monopole, à l'équilibre il n'y a pas de phénomène de préemption entre les firmes en aval. Lorsqu'une seule firme aval peut acquérir la nouvelle technologie, l'adoption se produit à la date spontanée (*stand-alone*). Lorsque deux firmes aval sont en concurrence pour l'adoption, une firme acquiert l'innovation après la date de préemption mais avant la date *stand-alone*, tandis que l'autre firme adopte également plus tardivement que lorsque le marché de la technologie est concurrentiel. Le délai est induit par le l'innovateur en monopole, qui utilise

pour cela une tarification temporelle appropriée. Enfin, on introduit la possibilité d'imitation pour étudier l'influence d'une concurrence potentielle dans le marché de la technologie sur la date d'introduction de l'innovation.

Références

[1] Aghion, Philippe et Howitt, Peter « A Model of Growth Through Creative Destruction » Econometrica 60(2) : 323-351 (1992).

[2] Anton, James J. and Yao, Dennis A. « Expropriation and Inventions : Appropriable Rents in the Absence of Property Rights » The American Economic Review 84(1) : 190-209 (1994).

[3] Armour, John and Cumming, Douglas J. « Bankruptcy Law and Entrepreneurship », American Law and Economics Review, Forthcoming ; University of Cambridge Centre for Business Research Working Paper No. 300 ; ECGI - Law Working Paper No. 105/2008 (2007)

[4] Arrow, Kenneth « Economic Welfare and allocation of resources for inventions », In : Nelson, R.R. (Ed.), The Rate and Direction of Inventive Activity. Princeton University Press, Princeton, NJ (1962).

[5] Benhamou, Françoise et Farchy, Joëlle « Droit d'auteur et copyright », Ed. La Découverte, Repères, Paris (2009).

[6] Benhamou, Françoise « L'économie de la culture », Ed. La Découverte Repères, Paris (2008).

[7] Blanchard, Olivier, Tirole, Jean, et al. « Protection de l'emploi et procédures de licenciement », Ed. La Documentation française, Les Rapports du Conseil d'analyse économique n° 44, Paris (2003).

[8] Boldrin, Michele et Levine, David K. « Against Intellectual Monopoly », Ed. Cambridge University Press, Cambridge (2005).

[9] Brousseau, Eric, Coeurderoy, Regis et Chaserant, Camille « The Governance of Contracts : Empirical Evidence on Technology Licensing Agreements » (2006).

[10] Cahuc, Pierre et Zylberberg « Le chômage, fatalité ou nécessité ? », Ed. Flammarion, Essais, Paris (2004).

[11] Cahuc, Pierre et Kramarz, Francis « De la Précarité à la Mobilité : Vers une Sécurité Sociale Professionnelle », rapport au ministre de l'Économie (2004).

[12] Choi, Jay Pil, « A Dynamic Analysis of Licensing : The 'Boomerang' Effect and Grant-Back Clauses » International Economic Review 43 (2002).

[13] Cockburn, Ian, Henderson, R., « Absorptive capacity, coauthoring behavior, and the organization of research in drug discovery » The Journal of Industrial Economics XLVI (2), 157–182 (1998).

[14] Cohen, Wesley et Levinthal David « Innovation and Learning : The Two faces of R&D » Economic Journal 99 (1989).

[15] Crampes, Claude « Les inconvénients d'un dépôt de brevet pour une entreprise innovatrice » L'Actualité économique, 62(4) :521-534 (1986).

[16] Curien, Nicolas et Moreau, François « L'industrie du disque » Ed. La Découverte, Repères, Paris (2006).

[17] Encaoua, David et Guesnerie, Roger « Politiques de la concurrence » Rapport au Conseil d'Analyse Économique du Premier Ministre, Paris (2006).

[18] Encaoua, David, Guellec, Dominique et Martinez, Catalina « Patent systems for encouraging innovation : Lessons from economic analysis » Research Policy 35(9) : 1423-1440 (2006).

[19] Foray, Dominique « L'économie de la connaissance » Ed. La Découverte Repères, Paris (2009).

[20] Gallini, Nancy et Scotchmer, Suzanne « Intellectual Property : When Is It the Best Incentive System ? », Economics Working Papers E01-303, University of California at Berkeley (2001).

[21] Guellec, Dominique « Les politiques de soutien à l'innovation technologique à l'aune de la théorie économique », Économie et Prévision 150 :95-105 (2001).

[22] Hall, Bronwyn H. et MacGarvie, Megan « The private value of software patents » Research Policy 39 : 994-1009 (2010).

[23] Henry, Emeric et Ponce, Carlos « Waiting to imitate : on the dynamic pricing of knowledge » CEPR Discussion Papers 7511, C.E.P.R. Discussion Papers (2009).

[24] Jackson, Thomas H. « The fresh-start policy in bankruptcy law » Harvard Law Review 98 : 1393-1448 (1985).

[25] Kortum, Samuel, et Josh Lerner « Assessing the contribution of venture capital to innovation », RAND Journal of Economics 31 : 647-92 (2000).

[26] Kremer, Michael « A Mechanism for Encouraging Innovation », The Quarterly Journal of Economics 113(4) : 1137-1167 (1998).

[27] Lee, Seung-Hyun, et al. « How do bankruptcy laws affect entrepreneurship development around the world ? », Journal of Business Venturing (2010).

[28] Le Diberder, Alain « Révolution numérique et industries culturelles » Ed. La Découverte, Repères, Paris (2010).

[29] Lévêque, Francois et Ménière, Yann « Économie de la propriété intellectuelle » Ed. La Découverte, Repères, Paris (2003).

[30] Mohnen, Pierre, et al., « Financial Constraints and Other Obstacles : Are They a Threat to Innovation Activity ? », CESifo Working Paper Series No. 2204 (2008).

[31] Müller, Kathrin et Peters, Bettina, "Churning of R&D personnel and innovation," ZEW Discussion Papers 10-032, ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung / Center for European Economic Research (2010)

[32] Nelson, Robert « The role of knowledge in R&D efficiency », Quarterly Journal of Economics 97(3) : 453-470 (1982).

[33] Norbäck, Pehr-Johan et Persson, Lars et Tåg, Joacim « Buying to Sell : A Theory of Buyouts », IFN Working Paper No. 817 (2010).

[34] Ordover, Janusz « A Patent System for Both Diffusion and Exclusion », The Journal of Economic Perspectives 5(1) (1991).

[35] Powell, Walter W., Koput, Kenneth W., Smith-Doerr, Laurel « Interorganizational collaboration and the locus of innovation : networks of learning in biotechnology », Administrative Science Quarterly 41 (1) : 116-145 (1996).

[36] Rajan, Raghuram, Zingales, Luigi « Financial dependence and growth », American Economic Review 88 : 559-587 (1998).

[37] Schumpeter, Joseph « Capital, Socialisme et démocratie », Ed. Plon, Paris (1942).

[38] Scotchmer, Suzanne « Innovation and Incentives », The MIT Press, Cambridge, MA (2004).

[39] Scotchmer, Suzanne « Standing on the Shoulders of Giants : Cumulative Research and the Patent Law », The Journal of Economic Perspectives, 5(1) : 29-41 (1991).

[40] Scotchmer, Suzanne and Green, Jerry « Novelty and disclosure in patent law » The RAND Journal of Economics, 21(1) : 131-146 (1990).

[41] Shapiro, Carl et Varian, Hal R. « Information Rules : A Strategic Guide to the Network Economy », Ed. Harvard Business School Press, Cambridge, MA (1998).

[42] Solow, Robert « A Contribution to the Theory of Economic Growth », Quarterly Journal of Economics 70 : 65-94 (1956).

[43] Tirole, Jean et Blanchard, Olivier « Protection de l'emploi et procédures de licenciement », Rapport au Conseil d'Analyse Économique du Premier Ministre, Paris (2003)

[44] Toivanen, Otto and Hyytinen, Ari « Do financial constraints hold back innovation and growth ? Evidence on the role of public policy », Research Policy 34 : 1385-1403 (2005).

[45] Varian, Hal R., « Copying and Copyright », The Journal of Economic Perspectives, Vol. 19(2) : 121-138 (2005).

Do Innovative Firms Rely on Big Secrets? An Analysis of IP Protection Strategies with the CIS 4 Survey

Serge Pajak*

December 2010

Abstract

We investigate whether secrecy is used to protect small or large innovations using the French part of the 2004 Community Innovation Survey 4, which contains a large section dedicated to the use of intellectual property (IP) protection instruments by the surveyed firms. While the patent system's aim is that firms apply to patent their innovations, especially the most important ones, Anton and Yao (2004) argue that large innovations will rather be protected by secrecy because of the legal uncertainty surrounding IP rights. In line with the predictions of their model, our bivariate probit analysis show that, in the intermediate goods industry, small innovations are patented while secrecy is used to protect large ones. For very innovative small firms, the share of innovative sales in total sales has a negative effect on patent application. These findings support the view that many innovative firms regard patent-filing as no more secure than secrecy, which therefore limits the diffusion of knowledge.

JEL Codes: D23; K13; O32; O34.

Keyword: Intellectual property; innovation; secrecy; patenting behavior.

*Telecom ParisTech, Department of Economics and Social Sciences, 46 rue Barrault, F-75013 Paris, France. E-mail: serge.pajak@telecom-paristech.fr. Phone: +33 1 45 81 83 42. I thank my supervisors, Marc Bourreau and Patrick Waelbroeck, for their helpful comments. I also thank the audiences at SESSI Workshop on Innovation 2008 (Paris), Druid-Dime Winter 2009 Conference (Aalborg), ASIGO 2009 Conference (Nuremberg), 26th European Association of Law and Economics Conference 2009 (Roma), 36th EARIE Conference 2009 (Ljubljana) and 25th Jornadas de Economia Industrial 2010 (Madrid).

1 Introduction

The management of intellectual property (IP) rights has emerged as a major issue for innovative firms. The decision on how to protect an innovation can have large consequences on the innovator's profit. For instance, Coca-Cola Co. decided to protect the formula for its famous soda as a trade secret instead of applying for a patent for it and, thanks to this decision, has been able to maintain a monopoly position over the commercial use of the formula since its incorporation in 1886.[1]

Is the example of the Coca-Cola formula anecdotal? Or is there a significant interest in favor of secrecy rather than patenting among very innovative firms? Surveys on IP protection instruments in the US or in Europe (Levin et al., 1987; Cohen et al., 2000; Arundel, 2001) find that corporate executives do not consider patenting the most effective appropriation instrument, and do not always apply for a patent when they could (Mansfield, 1986). Instead, secrecy is regularly mentioned as the most effective protection mechanism. Early on, Horstmann et al. (1985) consider that an innovation can be copied due to the competitors' abilities to work around the existing patent, and show that firms may opt out of patenting for this reason. Mansfield (1986) relates the decision to patent to the industry, as industries with tangible innovations, or where knowledge is codified, are prone to patenting. A contrario, secrecy is a strong IP protection choice in industries where innovation are intangible or less codified.

The patenting decision typically relies upon a trade-off, for the inventor, between expropriation and signalling (Gill, 2008; Anton and Yao, 2003, 2004; Jansen, 2008, 2010). Applying for patent allows the innovator to signal to competitors how efficient is the new technology,

[1] According to Etro (2004), the formula *"nowadays is still hidden in a safe deposit vault at the Trust Company of Georgia (according to the legend, not less than two picked people and no more than three ever know the ingredients at the same time and they never travel together!)"* See also Etro (2002b) and Pendergrast (1993).

but increases the risks of imitation and expropriation. Jansen (2010) finds that the optimal patenting strategy for an innovator depends on the mode of competition in the industry, since the incentive to appear as a efficient competitor in the product market is stronger when firms compete in quantities rather than in prices. Bertrand competitors, on the other hand, would find in their interest to disclose only the least efficient innovations, in order to relax the competition in the product market (strategic complements). The effect is more stringent as the number of firms increases.

Zaby (2010) divides the consequences of a patent into a protective and a disclosure effect. The first effet is positive for the innovator while the second is negative. In a dynamic setting with vertical differenciation, disclosure reduces the leader's headstart over its competitor. Both impact the competition immediately rather than after patent expiry. The decision to patent is therefore driven by the (lack of) technological lead, and a small leader's headstart is required for the protective effect to outweight the disclosure effect. As a consequence, companies with major innovation refrain from patenting. The model also shows that the propensity to patent is decreasing with the extent of spillover, as information spillover reduces the advance of the leader. Similarily, Pfister (2004) considers the issue of volontary information disclosure of intermediate knowledge by a leading firm in a two-stage model of innovation race. It stresses that, as appropriation of the innovation is imperfect, ending the race first is less important since the follower can benefit from the innovation. The leader thus trades-off between secrecy, which improves its appropriation of the result of the innovation race at the expense of a longer race, and voluntary disclosure, which serves the purpose of finishing the race more quickly, thereby reduces overall spending. Information disclosure is compared to the solution of joint venture. The more competition dissipates the profits of the industry, the more a joint-venture is efficient. However, voluntary disclosure maintains competition and allows the leader to enjoy some asymetry from

its competitor, which the leader prefers all the more as the cost gap with the competitor is large.

Another strand of the literature explain the decision to rather use secrecy by the legal uncertainties surrounding intellectual property rights. The legal process is a major source of costs and uncertainty, mainly because the scope and the validity of the patent may be questioned at that time (Lemley and Shapiro, 2005; Crampes and Langinier, 2002). The under-funded Patent Office reviews the patent application for an average of eighteen hours before to decide whether or not to grant the patent (Lemley and Sampat, 2005), in matters that are by nature very technical and involve cutting-edge technology. It turns out that nearly half of the challenged patents are eventually found invalid by the courts. And it has been well documented that even if few patents are actually litigated, they are the most valuable ones, including patents starting a chain of cumulative innovation (Lanjouw and Schankerman, 2001; Lemley and Shapiro, 2005). That a patent can be declared invalid is indeed a major risk for firms, as illustrated by the invalidation of Eli Lilly's patent on Prozac by a U.S. court which led to a 31 percent decrease of Lilly's stock in one day. The recent literature now views patents as a *probabilistic right*, whose validity (and value) is known with certainty only after it has been tested in court.

We contribute to the literature by introducing the size of the innovation as the variable of interest to explain different patenting propensity among firms. There are theoretical arguments that suggest that very innovative firms should use secrecy rather than patents to protect their IP rights. In their paper *Little Patents and Big Secrets: Managing Intellectual Property*, Anton and Yao (2004) argued, for instance, that under probabilistic (uncertain) IP rights, for the protection of a large innovation a firm should renounce to patent protection in favor of both trade secret and selected information disclosure for signalling purposes. In this paper, we investigate empirically the impact of a firm's innovativeness on its choice of an IP protection strategy, and we test whether more innovative firms are more likely to use secrecy than patents. To that end, we

use the Community Innovation Survey 4 database which is a Eurostat survey conducted on innovative firms in France. A section of this survey contains information about the use of IP protection instruments by the responding firms. Since it specifically asks for both patent filing and the use of secrecy, this database is particularly suitable for our goal. A limitation of the data, however, is that it consists of firm-level observations, while the notion of the propensity to patent (or the patenting decision) is usually considered at the innovation level. For that reason,[2] we limit our sample to small firms (30 employees and less), which are most likely to be mono-product and have a single innovation, or only a few innovations.[3]

The decisions to apply for a patent and use secrecy are potentially correlated. We therefore estimate a bivariate probit model explaining the use of both protection instruments. Two different measures of the magnitude of an innovation are considered, namely the (self-reported) size of the innovation, and the share of innovative sales in total sales. Our estimation results show that, across all industries and among all innovative firms, the share of innovative sales increases substantially the probability that the firm will use patents, while among the top most innovative firms the innovative sales are weakly significant and *negative* to explain patenting. The overall result for all innovative firms is easily explained by the usual appropriation motive for patenting: the more a firm relies on innovative sales for its business, the more it will seek patent protection. Among the most innovative firms, however, the impact of innovative sales is no longer significant because these very innovative firms are more likely to rely on secrecy to protect their IP than the less innovative firms. In the specific industry of intermediate goods we observe a reversal in patenting behavior, that is, small innovations are mainly patented and

[2]The reason why firms below 30 employees are likely to have a single innovation is further explained in Section 3.

[3]The issue of financial constraints should not impact the decision to patent or not, as the attorney fees for applications are within reach of a 30-employees firm: innovative small firms in the sample reported an average annual turnover of 7.8M euros, and firms with 20 or more employees constitute half of the sample. In comparison, the total cost of a European patent application was estimated at 20 570 euros (estimation from van Pottelsberghe and François (2009)).

large innovations are kept secret.

Related literature The literature mentioned above explains the use of secrecy, rather than patenting, to protect innovation. At the same time, however, patent applications have surged. As is argued in Jaffe (1999), a part of this trend can be explained by the increase underlying innovativeness, but it is not sufficient, and many other factors are at work. Primarily, strategic motives to patent have led firms to vastly increase their application rate. Such motives includes: preventing competitors to develop a related technology, building defensive or offensive blockade, generating licensing revenues, building bargaining chips for negociations,[4] benefiting from the signal and reputation effects associated with having patents pending (Long, 2002) and misleading the rivals about the potentials of the innovation as regards to future improvements (Langinier, 2005). The literature has furthermore identified firm's market valuation responds positively to patenting (Hall, Jaffe and Trajtenberg, 2005), which is consistent with the fact that investors use patents count as a proxy for the firm's innovativeness.

The firm-level determinants of the propensity to patent identified by the literature include the industry where the firm operates, as patents are more useful in sectors relying on codified knowledge. Firm size influences patenting in two ways. First, the financial constraints are likely to play a role in the decision to patent, and will affect small companies much more than large companies. Secondly, the size of the firm also influences the strategic motives: reputation building is a major concern for small companies, while large firms are motivated more by licensing incomes and improving their bargaining power in IPR negotiation with the competition (Blind et al., 2006).

The rest of the paper is organized as follows. First, we recall the theoretical framework on

[4]See, for instance, Blind et al. (2006) for an overview of empirical studies related to these motives to patent.

patenting behavior and the main predictions for which we seek empirical support. Second, we describe the CIS data regarding IP protection instruments that we use in this paper. Third, we present the results related to the patent-to-secrecy ratio, and fourth we present the results of the bivariate probit estimations. Finally, we conclude.

2 Existing Predictions and Implications

Standard View When the patent is seen as ironclad, the patenting decision can be summarized as follows. It is determined by the comparison between the firm's profit if the innovation is patented and its expected profit if it is not. The profit of the firm if it patents its innovation is certain, it is equal to $\Pi^P - c$, where Π^P is the profit driven by the patented innovation and c represents the filing costs.

The profit of the firm if the innovation is not patented is $(1-\alpha)\Pi^S + \alpha\Pi^c$, where Π^S is the profit if the innovation is kept secret, Π^c is the profit of the non-patented innovation and α the probability that secrecy is not maintained (in which case the firm earns the competitive profit).

The firm therefore patents its innovation if and only if:

$$\Pi^P - \Pi^S + \alpha(\Pi^S - \Pi^c) > c.$$

That is, the firm patents if and only if the patent premium (the left-hand side of the equation) is greater than the cost of patenting. The incentive to patent comprises two parts: i) the profit gap between practicing an innovation protected by a patent and practicing an innovation protected by secrecy. This profit gap can be zero if we assume a monopoly profit in both cases;

ii) the benefit of secrecy over the competitive situation[5] weighted by the probability of secrecy leak α. As secrecy is more difficult to maintain for a major innovation, α is increasing with the size of the innovation. Therefore, the incentive to patent increases with the size of the innovation, which is the main implicit assumption in the standard view of patenting.

The total filing cost for an EPO patent has been estimated at 20 570 euros.[6] Note that this cost is not, strictly speaking, independent from Π^P because the attorney costs to interact with the patent office are increasing with the technical complexity of the application.[7] However, the decision to patent remains based on the expected premium from application compared to its cost, so increasing the magnitude of the innovation increases the likelihood of patenting.

Probabilistic View The standard view has been challenged by some recent literature, which considers patents are probabilistic rights (Lemley and Shapiro, 2005). In particular, Anton and Yao (2004) propose a model of duopoly competition where firms choose the amount of disclosure, as well as whether to patent an innovation or protect it by trade secret, followed by market competition under the shadow of (uncertain) infringement damages in case of imitation. They establish the existence of an equilibrium with full patenting for a small innovation, with partial patenting for a medium-size innovation, and without patenting but partial information disclosure for a large innovation. Their model allows for separately deciding whether or not to patent as well as choosing the amount of information to voluntarily disclose. The amount of information disclosed for a patented innovation is either the number of patents or the total number of claims contained in patents applications. For unpatented innovation, disclosure takes place, for instance, through tours of the factory offered to the press. Voluntary disclosure is

[5]The difference between Π^c and Π^P corresponds to the patent premium defined by Arora, Ceccagnoli and Cohen (2007)

[6]Estimation from van Pottelsberghe and François (2009), for an application and grant in 13 EU countries.

[7]Which is why one can not rely solely on the Patent Office 'listing price' to estimate the average cost of a patent application, as the actual tariff faced by the firm is the one set by the attorney in a case-by-case basis.

profitable because in their signaling game there is a benefit to appear stronger at the beginning of the competition game. They predict that, in case of a cost-reducing innovation protected by probabilistic intellectual property rights, the amount of information disclosed by a firm may be decreasing with the magnitude of this innovation.

3 Data

To begin with, we describe the data available in the Community Innovation Survey. We then introduce our two measures of the magnitude of an innovation that will be used in the analysis, as well as the other variables included in the regressions.

3.1 Description

The 2004 Community Innovation Survey 4 is conducted by Eurostat and is based on the Oslo manual on innovation. A written questionnaire was mailed out to a sample of firms representative of the French economy. Thanks to the fact that response is mandatory, the response rate is very high, at 86%. The survey covers 6734 firms operating in France. 2270 firms report to be innovative,[8] out of which 447 innovative firms have fewer than 30 employees. This group of small innovative firms constitutes our main sample.

As it is, the database does not allow to match the decision on IP protection, which is observed at firm level, with a characteristic of the innovation, since an innovative firm can have several innovations. The unobserved innovations can be heterogeneous (large or small, patentable or not) and one cannot disentangle which innovation has triggered the use of which IP protection

[8] Innovative firms in this survey have a median number of employees of 88 at the end of year 2004, compared to a median of 50 employees over all firms.

instrument. This limitation is true as long as firms have several innovations. Table 9 in Appendix shows the average number of patents filed by each firm, as well as the 90th percentile of the number of patents. The data are obtained from another dataset of French firms, the Enquete Annuelle Entreprises, and cover the year 2005 (compared to 2002-2004 in the CIS survey). The number of patents is, predictably, decreasing with the size of the firm. For the two size classes above our sample, namely firms with 30-50 and 50-100 employees, 90% of the firms filed less than 4 patents. This number drops to 3 for firms of 30 employees or less, which constitute our sample. Meanwhile, the average number of patents filed is also decreasing, and it is less than 1 for firms on our sample. Therefore, by limiting the sample to small firms in the 0-30 employees size class, we alleviate the issue of multi-product firms with potentially several different innovations.

The CIS 4 survey asks the firms which intellectual property protection methods they have used among seven methods. The answers are reported as binary variables for each method. We do not know, however, how many times a firm has used a given protection method, only whether it has used it or not during the period. Data on protection methods are binary variables, and therefore the average is the frequency of this method in the sample. At the individual level, we interpret it as the probability that a firm of the sample uses the given protection method. This frequency is thus a propensity to patent, at the firm level.

3.2 Measuring the Magnitude of an Innovation

As our goal is to find whether firms patent large innovations or small innovations, we introduce two measures of the innovation size based on i) the self-reported magnitude of the innovation, and ii) the firm's share of innovative sales.

3.2.1 By Innovation Size

The CIS 4 survey classifies product innovations into two categories: innovations that are "new for the firm", and innovations that are "new for the market". An innovation which is new for the firm, but not for the market, is an incremental innovation. It corresponds for instance to a product developed by the firm alone, without infringing existing patents, to serve a function which is already well defined. This product can be differentiated enough from existing products in the same market to be patented on its own, while rival firms offer products with similar features. In contrast, a product is new for the market if it is not based on products which are already offered in the market and we consider this type of innovation to be of a larger magnitude.

We therefore define our measure of the size of an innovation as follows: an innovation is "very small" if it is not new; it is "small" if its is new for the firm but not for the market; and "large" if is is new for the market. This measure of the size of the innovation is not perfect, of course. In particular, our two dummy variables are set at the firm level, not at the innovation level. The protection behavior is also reported at the firm level. So, for multi-product firms with multiple protection methods, it is not possible to match exactly the size of one innovation with the protection for a given innovation. However, as we already argued, in our sample the firms are small and likely to have developed a single innovation.

3.2.2 By Innovative Sales

To enrich our analysis, we introduce a second measure of the magnitude of an innovation, the share of innovative sales in total sales. Based on the novelty criterion described above, the CIS 4 survey also asks the respondent to report its revenue coming from the sales of innovative products and services. The median share of innovative sales in total sales among small innovative

firms is 5 %, the quarter of the most innovative firms (last quantile) report 20% of revenues as innovative sales. Indeed, a large share of innovative sales means that the firm relies very much on its innovation to generate sales and has therefore strong incentives to protect its innovation.

3.3 Control Variables

Several control variables are included in the analysis, as the total number of employees, total revenues, the size of the markets in which the firm operates, a dummy variable indicating whether the firm belongs to a group, as well as industry dummies. We also include a variable which describes the "type" of innovation: the CIS 4 survey asks the innovative respondents to rate from 0 to 3 the effect of their innovation along nine dimensions. These dimensions are classified into three categories, namely technical effects, effects on the organization and marketing effects. By summing the ordered variables within each category, we build three variables, which takes values from 0 to 12, representing the effect of the innovation along each category on the firm's products and processes. The definition of our variables, as well as the descriptive statistics, are reported in Table 6 in the Appendix.

4 Descriptive Results

This Section first presents the frequency with which each IP protection is used. It then describes how the patent-to-secrecy ratio evolves across industries, as well as with the size of the innovation.

4.1 Ranking Protection Methods

We start by describing which IP rights instruments the firms are using to protect their innovations. Table 1 shows the frequency with which each instrument of IP protection is used, distinguishing product and process innovations, and exhibits a few stylised facts. Process-innovative firms report lower level of IP protection than firms innovative in product, and the ranking reflects the change in the nature of the innovation: lead time is the first protection method for process innovation instead of trade marks. Furthermore, patent is more frequent than secrecy for product innovation, whereas the opposite is true for process innovation.

Table 1: Rankings of IP protection methods by type of innovation for small firms

in %	Product	Process
Trade Mark	41.6	28.9
Lead Time	37.9	29.6
Patent	29.9	19.5
Complexity	29.5	22.3
Secrecy	25.4	21.0
Drawings and Graphics	25.3	19.0
Copyright	10.5	9.0
No. of observations (total: 447)	296	311

Note: The number of firms innovative in product and in process does not add up to the total number of observations, as firms can undertake both types of R&D.

Despite the wide range of level use of the protection methods, Table 8 in Appendix shows that all protection methods are correlated to each other. In particular, the table shows that secrecy, lead time and complexity are strongly correlated.

One should keep in mind that not applying for a patent it not equivalent to secrecy,[9] so the two protection methods are not mutually exclusive.

[9] Most trade secret laws require firms to take positive actions to protect an intellectual property, such as limiting the physical access to the intellectual property and having employees sign non-disclosure agreements, for it to be deemed a trade secret.

4.2 The patent-to-secrecy ratio by industry and size of the innovation

We are interested in evidence of the use of secrecy and patent application by innovative firms. This can be seen in the frequencies of the two IP instruments, as well as in the patent-to-secrecy ratio, defined as $r = \frac{patent}{secrecy+patent}$, where *patent* and *secrecy* are the frequencies of use of the protection instruments in the sample. Note that this ratio takes values between 0 and 1, and becomes lower than 0.5 when secrecy is more frequent than patenting.

Table 2 reports the frequency of secrecy and patenting, and the patent-to-secrecy ratio, in different industries or groups of industries. Table 2 shows a frequent use of secrecy, yet less frequent than patent in technological and capital-intensive industries like automobile, where patenting is an effective appropriation instrument. However, the third column confirms that in some innovative industries, like chemicals, secrecy is more frequent than patent filing.

Table 2: Frequency of use of patent and secrecy, and the self-reported size of the innovation, by industry

	Patent	Secrecy	Patent-to-secrecy ratio	Small innovation	Large innovation
Textile	.17	.14	.55	.36	.24
Woodwork	.23	.09	.70	.17	.39
Paper Industry	.30	.34	**.47**	.24	.44
Chemicals	.37	.40	**.49**	.27	.47
Plastic Industry	.39	.30	.55	.39	.36
Metalwork	.37	.31	.54	.38	.41
Automobile	.30	.17	.63	.39	.41
Furniture	.17	.14	.55	.42	.19
Post and Telecommunication	.13	.09	.60	.57	.14

Let us now consider how the ratio evolves with the size of the innovation. The size of the innovation here is measured with each of the two criteria described above: self-reported size of innovation and share of innovative sales, for product innovation (unless indicated otherwise).

The ratio is not always above 0.5, which indicates that secrecy may be more frequent than

Table 3: The patent-to-secret ratio by size of the innovation

	Innovation size	Innovative sales	Innovative sales
		20% threshold	20% thres., process innovation
Firms			
very innovative	.53	.53	.43
less innovative	.54	.54	.56

Reading: small firms engaged in process innovation considered very innovative using the Innovative Sales criterion defined above have a patent-to-secrecy ratio of .43, and this ratio is .56 for firms considered less innovative.

patent filing. More importantly, the ratio in some cases decreases with the magnitude of the innovation. This suggests that, as the size of innovation increases, firms are more willing to use secrecy to protect their innovations. Therefore, this descriptive analysis supports more the probabilistic view than the standard view.

5 The Relative Use of Patent and Secrecy: Econometric Model and Estimation Results

In the previous section, we have shown that the patent-to-secrecy ratio is decreasing with the magnitude of innovation. However, in doing so, we did not control for other potentially influential variables. To see if our findings are robust to the introduction of control variables, we proceed with an econometric analysis. The decisions to patent and use secrecy are each observed by a binary variable present in the dataset, which reflects if its respective latent variable is positive. Each latent variable is explained by a set of explanatory variables, whose coefficients are estimated separately. However, the decisions of patenting and using secrecy are likely to be correlated through the unobserved heterogeneity among firms. The unobserved heterogeneity can be, for instance, the firm management's skills and its familiarity with the issues of IP rights management, or a characteristic of the innovation which makes an IP instrument more suited than another. Any such characteristic is likely to influence both patenting and secrecy. The

bivariate probit regression takes account of this by assuming correlation in the error terms, and reports the sign and the significance of the correlation.

Let us define the observed binary variables of patent and secrecy, y_{pi} and y_{si}, as, respectively, the indicators of whether the latent variable is positive, where "p" stands for patent and "s" for secrecy. For $j = p, s$, we have:

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{if} \qquad\qquad y_j^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

with y_j^* corresponding to each measure of the size of the innovation used to test the impact on patenting and secrecy decision. In the first model we use the self-reported size of the innovation:

$$y_p^* = \beta_0 + \beta_1 LargeInnovation + \beta_2 SmallInnovation + \beta Controls + \epsilon_p \tag{1}$$

$$y_s^* = \alpha_0 + \alpha_1 LargeInnovation + \alpha_2 SmallInnovation + \alpha Controls + \epsilon_s \tag{2}$$

where $Controls$ is the vector of control variables, β is the vector of parameters, and $\binom{\epsilon_p}{\epsilon_s} \sim N\left(\binom{0}{0}, \binom{1\ \rho}{\rho\ 1}\right)$.

According to the standard view, we expect $\beta_1 > \beta_2$ for patents since the incentive to patent is increasing with the size of innovation. However, the probabilistic view of patents suggests that $\beta_2 > \beta_1$, a patenting behavior reversed from the standard one. For secrecy, under the standard view we expect either $\alpha_2 > \alpha_1$ (if secrecy is an alternative to patenting) or $\alpha_1 \geq \alpha_2$ (if secrecy is a complement to patenting for the same innovation), while the probabilistic view suggests that $\alpha_2 > \alpha_1$.

The second specification using the quantitative measure of innovation is

$$y_p^* = \beta_0 + \beta_1 ShareInnovativeSales + \beta Controls + \epsilon_p \quad (3)$$

$$y_s^* = \alpha_0 + \alpha_1 ShareInnovativeSales + \alpha Controls + \epsilon_s \quad (4)$$

According to the probabilistic view, we should have $\beta_1 < 0$, as the more important the innovation is for the firm's business, the more the firm wants to limit the disclosure of information.

Innovative small firms First, for the whole sample of innovative small firms, we explain patenting and secrecy by the size of the innovation (regression 1) and by the share of innovative sales (regression 2). The results are presented in Table 4 in the appendix. The presence of both large and small innovation increases the probability to use patenting, with large innovations having a stronger effect than small ones. The share of innovative sales is not significant for either IP instrument. Establishments which are part of a group tend to patent more than others. This is due to the fact that innovators are largely represented among multi-establishment groups, and indeed the effect disappears when we consider only the very innovative firms.

Control variables indicating the scale of the market are also included, and the market scale increases the probability of patenting and secrecy linearly. As expected, compared to the reference of "local level", small firms operating at the the national level have a significantly stronger use of both kind of IP protection. Operating at the European level makes patenting more likely than it is for a firm with a national market, and the probability increases further when a firm is selling worldwide. Given that the UE policies regarding harmonization of the patent application procedures and the European Patent Convention (EPC) are aimed at increasing patent applications by firms which commercialize their innovation in Europe, we would expect the UE

variable to be somewhat stronger. However, there are two ways in which the impact of UE patent policies is actually captured by the national market variable. First, the harmonization, through the European Patent Convention, largely dealt with the patentability requirements for patents emitted by the national patent offices. Second, firms selling only in their home country do apply for European patents. Even though the European Patent Office encourages patentees who intend to sell their innovation in less than three countries to apply for a national patent, there is a large gain in the patent's private value by filing it via the European route, rather than national route, for a given innovation. Indeed, purely national patents represent less than 10% of the total number of patents with which national patents offices are dealing (Deng, 2007).

Innovations remain heterogeneous in their patentability, in spite of the expansion of patentable matters in recent years. Indeed, innovation which are technical and capital-intensive in nature are still more prone to patenting. Therefore, a firm specialized in a domain where innovations are naturally patentable will report more patenting than an innovator in a domain where the patentability criteria are not obvious. In order to avoid that the determinants of patenting reflect the characteristics of the firms in patenting-intensive industries, we include a specific variable controlling for the nature of the innovation, i.e. Technical, Organization, and Marketing. The role of this control variable is similar, but at the level of the firm, to that of the industry dummy, which already controls for heterogeneity in patentability among different industries. Technical innovation increases patenting in all samples, as expected, while a marketing innovation is strongly related to the use of secrecy (the coefficients are stronger than those of a technical innovation, and significant at a level of 5%).

Very innovative small firms We are interested in the IP protection strategies of the most innovative firms, since their attitude towards IP protection could differ from the whole group of

innovative firms and they are the firms where the welfare impact of (non-)information disclosure due to patenting (or secrecy) is the most important. We thus limit our sample to the very innovative firms, defined as firms reporting a large innovation. The estimation results for these sub-sample are reported in column 3 of Table 4. We find that the share of innovative sales is not significant to explain secrecy, however, it now affects patenting weakly (at the 10% confidence level) and *negatively*. The propensity to patent is therefore not stronger for the firms reporting a large innovation and a high share of innovative sales. Instead, the opposite is true: a higher share of innovative sales decreases the probability that a very innovative firm will patent.

Sector-specific results: intermediate goods Patenting behavior differs with the firm's involvement in the innovation process (very innovative firm vs. the whole innovative firms) as well as with the industry (Mansfield 1986; Arundel, 2001, Blind et al., 2006). In the main model, we account for industry heterogeneity by including a industry dummy variable. This allows for patenting and secrecy decisions to differ with the industry, but does not permit the coefficients of the innovation size variables to potentially change with the industry. We therefore estimate the bivariate probit model of the use of patent and the use of secrecy, on each sub-sample of firms in a given industry. The results, not reported here, were either consistent with that in the whole sample of innovative small firms, or not significant at all. This is true except for the intermediate goods sector (regression (6) and (7)), for which the estimation results are shown in Table 5. In contradiction to the standard view, a large innovation has no statistical impact on the decision to patent, while the small innovation variable is strongly positive. Secrecy is explained by innovation both large and small. This result contradicts the results from regression 1 in Table 5. We find that a large innovation increases the probability to use secrecy but not that of patent application.

Table 4: Coefficient results for the bivariate probit model explaining the use of patent and secrecy for small firms

	(1) All innovative firms		(2) All innovative firms		(3) Very innovative firms	
	Patent	Secret	Patent	Secret	Patent	Secret
Large innovation	0.675***	0.398***				
	(0.132)	(0.133)				
Small innovation	0.276**	0.303**				
	(0.136)	(0.135)				
Very small innovation	*ref.*					
% Innovative sales			0.710***	0.607**	-0.725*	0.453
			(0.267)	(0.268)	(0.436)	(0.410)
R&D Expenses	-0.000	0.001	-0.000	0.001	0.002	0.001
	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.002)	(0.001)
Multi-establishment	0.459***	0.163*	0.462***	0.178*	0.086	-0.998
	(0.102)	(0.094)	(0.100)	(0.093)	(0.214)	(0.224)
Market scale						
Local	*ref.*					
National	0.360**	0.578***	0.357**	0.578***	0.258	6.417***
	(0.154)	(0.139)	(0.151)	(0.139)	(0.385)	(0.530)
European	0.559***	0.753***	0.555***	0.761***	0.576	5.928***
	(0.166)	(0.152)	(0.164)	(0.152)	(0.426)	(0.574)
International	0.747***	0.788***	0.799***	0.828***	0.854***	6.428***
	(0.144)	(0.137)	(0.141)	(0.136)	(0.342)	(0.534)
Nature of innovation						
Technical	0.046***	0.016	0.065***	0.030***	0.049**	0.004
	(0.010)	(0.011)	(0.009)	(0.009)	(0.021)	(0.023)
Organization	-0.013	0.006	-0.014	0.005	0.035	0.004
	(0.020)	(0.020)	(0.020)	(0.019)	(0.033)	(0.034)
Marketing	0.144*	0.245***	0.198***	0.283***	-0.097	0.347**
	(0.074)	(0.069)	(0.071)	(0.068)	(0.143)	(0.146)
Industry Dummies	*included*		*included*		*included*	
Constant	-2.237***	-2.339***	-2.063***	-2.220***	-2.069***	-2.361***
	(0.302)	(0.365)	(0.291)	(0.356)	(0.539)	(0.597)
ρ	0.111		0.056		0.056	
Observations	447		447		191	

Employees, R&D expenses and sales are in 10,000. Significance levels: * p¡0.10, ** p¡0.05, *** p¡0.01.

It remains puzzling though that on the same sub-sample, where large innovations do not influence patenting (the coefficient is not significant), the small innovations have a significant and large effect (coefficient of 1.802). Such behavior is not consistent with the standard view of patents. According to this standard view, a patent guarantees protection in exchange of information disclosure, as opposed to secrecy, which is a risky protection method since protection is only offered so long as secrecy is maintained. The impact of the size of the innovation on the use of patents is then unambiguously positive. In this context, a reluctance to patent a larger

Table 5: Coefficient results for the bivariate probit model explaining the use of patent and secrecy for small firms in the intermediate goods industry

	(4)		(5)	
	Patent	Secret	Patent	Secret
Large innovation	.382	1.151***		
	(.493)	(.419)		
Small innovation	1.802***	.747**		
	(.522)	(.363)		
% Innovative sales			.495	.429
			(.415)	(.418)
Observations	72		72	

Sales are in EUR 10,000. Control variables are omitted. Significance levels: * p¡0.10, ** p¡0.05, *** p¡0.01.

innovation as compared to a smaller innovation cannot be explained. Only models taking into account the uncertainty surrounding the enforcement and/or the validity of a patent can explain this reluctance. Indeed, the fact that the ratio of patent to secrecy decreases with the size of the innovation is the core prediction of Anton and Yao's model with patent strength. The results presented here, though, are empirical results and as such they are merely results *compatible with* the cited theoretical predictions and do not preclude alternative explanations.

Non-Exclusive Patent-Secrecy Choice In our sample, 1 out of 10 firms report to use both patent and secrecy (Table 7), which, though it represents a small fraction, is suggesting that the two instruments may be non-exclusive. An innovator may both use secrecy and apply for a patent for the same innovation for several reasons: i) in order to temporarily protect the innovation while delaying the filing of an patent application, so as to maximize the duration of the patent protection. The delay, during which the innovation is protected by secrecy, is also used to evaluate the commercial potential of the innovation, which might not be known even to the innovator at the time of invention (Pénin, 2008). ii) For an innovation in complex industries, the innovation consists in several parts that are tangible or intangible. Only the tangible parts are eligible for patenting, while the intangible aspects of the innovation are likely

to be protected as trade secret, which suggests that the firm reports using both patent and secrecy in how it treats a single (complex) innovation. The descriptive statistics categorize the use of the instruments, patent only, secrecy only, both and neither. However, the four categories are not independent, as they are combination of the two instruments, it is therefore not possible to properly conduct a multinomial logit regression.

6 Conclusion

In this paper, we have studied the firms' IP protection strategies in relation with the size of the innovation. It is common in the economic literature to use patenting as a measure of the innovative activity, as patents are seen as the outcome the innovation production function. Instead, the probabilistic view of patents, set forth, for instance, by Anton and Yao (2004), argues that large innovations will be protected by secrecy. Using bivariate probit regressions to explain patenting and the use of secrecy in French small innovative firms in the Community Innovation Survey 2004, we showed that i) in the intermediate goods industry a small innovation increases the probability of patenting more than a large innovation does, while a large innovation increases the probability of use of secrecy more than a small innovation does, and ii) among the most innovative firms, the share of innovative sales in total sales affects negatively the probability of patent application.

Our empirical findings that firms may regard patent-filing as no more secure than secrecy, is worrisome from a welfare perspective. Patent-filing ensures diffusion of knowledge, which secrecy by definition does not provide. And it is precisely for major innovations than the diffusion of knowledge is the most beneficial to society. The notion that firms tend to prefer secrecy to protect their innovations because of the legal uncertainty surrounding intellectual property rights has

been suspected for long and has led to several patent system reform propositions. They mainly consist in creating a two-tier patent system with one kind of patent being the existing one, while creating a 'super-patent' which would be more costly for the applicant and generate an in-depth ex-ante scrutiny of the validity of the patent sought, which would provide the patent with a stronger presumption of validity before the courts (Encaoua et al., 2006; Lemley et al., 2005).

References

[1] Anton, James J. and Yao, Dennis A. (2004). Little patents and big secrets: Managing intellectual property. The RAND Journal of Economics 35(1):1-22.

[2] Arora, Ashish, Ceccagnoli, Marco, and Cohen, Wesley M. (2008). R&D and the patent premium. International Journal of Industrial Organization 26(5): 1153-1179.

[3] Arundel, Anthony (2001). The relative effectiveness of patents and secrecy for appropriation. Research Policy 30:611-624.

[4] Arundel, Anthony and Kabla, Isabelle (1998). What percentage of innovations are patented? empirical estimates for european firms. Research Policy 27:127-141.

[5] Bar-Gill, Oren and Parchomovsky, Gideon (2003). The value of giving away secrets. Virginia Law Review 89(8): 1857-1895.

[6] Bessen, James (2005). Patents and the diffusion of technical information. Economics Letters 86:121-128.

[7] Blind, Knut, Edler, Jakob, Frietsch, Rainer, and Schmoch, Ulrich (2006). Motives to patent: Empirical evidence from germany. Research Policy 35(5): 655–672.

[8] Crampes, Claude and Langinier, Corinne (2002). Litigation and settlement in patent infringement cases. The RAND Journal of Economics 33(2): 258–274.

[9] Crampes, Claude (1986). Les inconvénients d'un dépôt de brevet pour une entreprise innovatrice. L'Actualité économique 62(4): 521–534.

[10] Deng, Yi (2007). Private value of European patents. European Economic Review 51: 1785-1812.

[11] Dietmar, Harhoff and Markus, Reitzig (2004). Determinants of opposition against epo patent grants-the case of biotechnology and pharmaceuticals. International Journal of Industrial Organization 22(4): 443–480.

[12] Encaoua, David, Guellec, Dominique, and Martinez, Catalina (2006). Patent systems for encouraging innovation: Lessons from economic analysis. Research Policy 35:1423–1440.

[13] Etro, Frederico (2004). Innovation by Leaders. The Economic Journal 114(495): 281-303.

[14] Friedman, David D., Landes, William M., and Posner, Richard A. (1991). Some economics of trade secret law. The Journal of Economic Perspectives 5(1): 61-72.

[15] Gill, David (2008). Strategic disclosure of intermediate research results. Journal of Economics & Management Strategy 17(3): 733-758.

[16] Hall, Bronwyn H., Jaffe, Adam, and Trajtenberg, Manuel (2005). Market value and patent citations. The RAND Journal of Economics 36(1): 16-38.

[17] Hall, Bronwyn H. and Ziedonis, Rosemarie Ham (2001). The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the U.S. semiconductor industry 1979-1995. The RAND Journal of Economics, 32(1): 101-128.

[18] Hertzfeld, Henry R., Link, Albert N. and Vonortas, Nicholas S. (2006). Intellectual property protection mechanisms in research partnerships. Research Policy 35(6): 825 - 838.

[19] Horstmann, Ignatius, MacDonald, Glenn M., and Slivinski, Alan (1985). Patents as information transfer mechanisms: To patent or (maybe) not to patent. The Journal of Political Economy 93(5): 837-858.

[20] Jaffe, A.B. (1999). The U.S. patent system in transition: policy innovation and the innovation process. NBER working paper series 7280. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

[21] Jansen, Jos (2008). Information Acquisition and Strategic Disclosure in Oligopoly. Journal of Economics & Management Strategy 17(1): 113-148.

[22] Jansen, Jos (2010). On Competition and the Strategic Management of Intellectual Property in Oligopoly. Journal of Economics & Management Strategy: forthcoming.

[23] Langinier, Corinne (2005). Using patents to mislead rivals. The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique 38(2): 520-545.

[24] Lanjouw, Jean O. and Schankerman, Mark (2001). Characteristics of patent litigation: A window on competition. The RAND Journal of Economics 32(1): 129-151.

[25] Lemley, Mark A., Lichtman, Douglas Gary, and Sampat, Bhaven N (2006). What to do about bad patents. Regulation 28: 10-13.

[26] Lemley, Mark A. and Shapiro, Carl (2005). Probabilistic patents. The Journal of Economic Perspectives 19(2): 75-98.

[27] Long, Clarisa (2002). Patent signals. University of Chicago Law Review 69.

[28] Mansfield, Edwin (1986). Patents and innovation: An empirical study. Management Science 32(2): 173-181.

[29] Mansfield, Edwin, Schwartz, Mark, and Wagner, Samuel (1981). Imitation costs and patents: An empirical study. The Economic Journal 91(364): 907-918.

[30] Pendergrast, Mark (1993). For God, Country, and Coca-Cola: The Unauthorized History of the Great American Soft Drink and the Company That Makes It. Charles Scribner's Sons, New York.

[31] Pénin, Julien (2008). Enveloppe Soleau et droit de possession antérieure : Définition et analyse économique. Revue d'économie industrielle 121: 85-102.

[32] van Pottelsberghe de la Potterie, Bruno and François, Didier (2009). The Cost Factor in Patent Systems. Journal of Industry, Competition and Trade 9(4): 329-355.

[33] Scotchmer, Suzanne. Innovation and Incentives. The MIT Press, Cambridge, MA, 2004.

[34] Scotchmer, Suzanne and Green, Jerry (1990). Novelty and disclosure in patent law. The RAND Journal of Economics 21(1): 131-146.

[35] Zaby, Alexandra (2010). Losing the lead: the patenting decision in the light of the disclosure requirement. Economics of Innovation and New Technology 19(2): 147-164.

Appendix

Definition of an innovation in the CIS 4 questionnaire The following specific instruction is present framed at the end of the questionnaire *"In any case, the novelty or improvement shall be considered in reference to your company; it is not necessarily a novelty or an improvement*

for the market or relative to firms in your industry (ot other industry). Product innovation of your company which also constitute innovations for the market are considered in another question.". Therefore, an innovation new for the firm can be understood as catching up with the stat-of-the-art, while an innovation new for the market goes beyond.

Table 6: Descriptive statistics of the CIS 4 dataset

	Small innovative firms		Small firms		
Variable	Mean	Min-max	Mean	Min-max	Description
Employees	19.54	0-30		0-30	Nb of employee (10,000).
R&D Expenses	20.4	0-1000	4.96	0-1000	Total amount of R&D expenses (EUR 10,000).
Large innovation	.43	0-1	.09	0-1	Firm has reported innovation "new for the market".
Small innovation	.42	0-1	.08	0-1	Firm has reported innovation "new for the firm".
Part of group	.43	0-1	.37	0-1	Firm is part of a multi-establishments group.
National	.74	0-1	.53	0-1	Firm sells nationally.
European	.51	0-1	.31	0-1	Firm sells in European countries.
International	.40	0-1	.22	0-1	Firm sells outside the EU.
Technical	9.37	0-18	2.24	0-18	*See below.*
Organization	1.90	0-12	.46	0-12	*See below.*
Marketing	.57	0-2	.25	0-2	*See below.*
Total sales	8098.33	71-729964	5026.46	0-729964	Revenues for 2004 (EUR 10,000)
Patent	.22	0-1	.07	0-1	Firm has been granted a patent in the survey time-frame.
Secrecy	.21	0-1	.08	0-1	Firm has used secrecy in the survey time-frame.
Nb. obs	447		2115		

Indexes of reported effects (* denotes binary responses): *Technical*: the innovation allows to increase product quality, increase capacity, reduce unit cost, reduce unit input consumption, improves environmental/health impact, improves standard compliance. *Organization*: the innovation allows to reduce response time to serve customers' needs or suppliers' delays, increase employees' satisfaction or reduce churn, makes production more flexible, the firm has developed a policy to retain employees or executives*, the firm has developed a IT system which led to written knowledge sharing*, to a culture of knowledge sharing*. *Marketing*: the innovation brought significant design or packaging changes (outside usual or seasonal changes)*, significantly new distribution channel (Internet sales or distribution franchise)*.

Table 7: Descriptive statistics of patent-secrecy combinations

	Small innovative firms	
in %	Product	Process
Patent only	19.5	11.8
Secrecy only	15.4	13.8
Patent and secrecy	10.4	7.7
Neither P nor S	*54.5*	*66.6*
No. obs	297	312

Table 8: Pairwise correlations between IP protection methods

	Patent	Secrecy	Drawings	Trademark	Copyright	Complexity	Lead Time
Patent	1.0000						
Secrecy	0.1705	1.0000					
Drawings	0.3526	0.1862	1.0000				
Trademark	0.3612	0.2288	0.4006	1.0000			
Copyright	0.1234	0.1550	0.1889	0.2091	1.0000		
Complexity	0.2384	0.5208	0.1529	0.0995	0.1600	1.0000	
Lead Time	0.2404	0.5035	0.1388	0.1587	0.1086	0.6448	1.0000

No. obs: 447

Table 9: Number of patents per firm in the EAE database

	Number of patents	
Firm size	90th-centile	Mean
1000-500	20	8.72
500-250	14	5.75
250-100	5	2.53
100-50	4	1.55
50-30	4	1.27
30 or less	3	0.95
No. obs: 2843		

Avance technologique, brevet et secret : quelles stratégies de divulgation des connaissances pour les firmes innovantes ?

Serge Pajak *

15 février 2010

Résumé

Une entreprise innovante qui souhaite protéger sa propriété intellectuelle dispose pour cela de plusieurs instruments, notamment le brevet, le secret, l'avance technologique et la complexité à la conception. Cet article étudie empiriquement la protection de l'innovation par les firmes françaises de l'enquête CIS 4 entre 2002 et 2004. Il ressort que l'intensité de l'effort de R&D d'une firme augmente la probabilité de recours à des méthodes informelles de protection sans diffusion des connaissances (secret, avance, complexité) et n'a aucun impact sur l'usage des instruments juridiques (brevet). L'avance est la seule méthode qui reste pertinente pour les innovations importantes des firmes intensives en R&D. L'étude des interactions entre instruments de protection montre une substitution entre brevet et avance ainsi qu'entre brevet et secret, c'est-à-dire entre des instruments imposant la publication des connaissances et ceux qui se basent sur le secret. Lorsqu'on relie ce choix à l'importance de l'innovation, il apparaît que les méthodes de protections qui nécessitent de la divulgation des connaissances ne s'imposent pas parmi les firmes les plus innovantes.

Codes JEL : D23, K13, O32, O34

Mots-clés : Propriété intellectelle, innovation, instruments d'appropriation

*Telecom ParisTech, Département de Sciences Economiques et Sociales, 46 rue Barrault, F-75013 Paris. Courriel : serge.pajak@telecom-paristech.fr. Tél. : 01 45 81 83 42. Je remercie Maya Bacache, Pierre-Jean Benghozi, Marc Bourreau, Yann Ménière et Patrick Waelbroeck, ainsi que les participants aux rencontres Telecom/Mines ParisTech, pour leurs commentaires sur les versions antérieures de cet article.

1 Introduction

Les droits de propriété intellectuelle visent simultanément deux objectifs : assurer un bénéfice social dû à la publication de la connaissance innovante qui permet aux innovations de se diffuser, après la durée de protection. Cet aspect est particulièrement important dans un contexte d'innovations cumulatives (Scotchmer, 2004) où la protection excessive et la non-publication d'une innovation a un fort impact sur la survenue des innovations futures. Ensuite, les DPI augmentent l'appropriation privée des résultats de la recherche par la firme innovante. Les anticipations des entrepreneurs sur la force et la crédibilité des DPI qui leur seront accordés une fois l'innovation obtenue rentrent en compte dans le profit espéré, et *in fine* dans la décision de s'engager dans un processus d'innovation.

L'objectif de cet article est d'évaluer empiriquement si les stratégies de protection de la propriété intellectuelle mises en oeuvre par les firmes innovantes impliquent ou non une publication des connaissances. On s'intéresse notamment aux firmes les plus intensives en R&D et aux innovations les plus importantes, qui sont les situations où le choix de diffusion, et de l'étendue de la diffusion, aura le plus de conséquences sur le bien-être social.

Une entreprise innovante qui souhaite protéger sa propriété intellectuelle dispose pour cela de plusieurs instruments, possédant chacun des caractéristiques propres tant pour la firme que du point de vue du bien-être social : étendue de la protection, sécurité juridique, obligation de diffusion des connaissances en contrepartie de la protection, coût monétaire, coût de transaction.

La divulgation des connaissances est obtenue lorsque la totalité de l'innovation est protégée par brevet. Le brevet, de même que les dessins et modèles ou les marques pour les innovations autres qu'industrielles, oblige à publier des connaissances qui en contrepartie ne peuvent pas être utilisées par les concurrents. Dans la gouvernance des droits de propriété intellectuelle, ces

instruments juridiques d'appropriation correspondent aux outils émanant des institutions publiques et générales (Brousseau et Bessy, 2004). Les institutions publiques (l'Agence Nationale de la Propriété Intellectuelle, l'Office Européeen des Brevets, le U.S. Patents and Trademark Office) s'assurent que la demande porte sur une innovation qui répond aux critères de brevetabilité, et notamment l'exigence de nouveauté (l'*inventive step* américaine) et de non-évidence. La validation par un organisme extérieur de la "réalité" de l'innovation sur la base de connaissances codifiées permet à ces instruments de constituer un signal du potentiel innovant de la firme devant les investisseurs (Long, 2002) ou pour d'autres usages stratégiques comme acquérir des revenus de licence, renforcer la force de négociation en accumulant un portefeuille de brevets indépendamment de la mise en oeuvre effective des innovations protégées (Brousseau et Bessy, 2001 ; Blind, et al., 2006).

Le brevet propose, en théorie, une protection pour une durée certaine, portant sur des éléments qui ne sont pas déjà protégés, et dont l'étendue ne sera pas modifiée au cours de la commercialisation. Les méthodes informelles sont susceptibles de proposer une protection plus importante que les solutions juridiques, par exemple parce que le secret peut être gardé plus longtemps que la durée de validité d'un brevet ou parce que fournir à un partenaire un produit conçu pour gêner l'ingénierie inverse est plus efficace que de négocier et faire respecter auprès de ce partenaire une clause de confidentialité. Malgré cela les méthodes informelles sont entachées d'un fort risque de perdre toute efficacité : si le secret est éventé ou si complexité ne pas suffit pas à empêcher l'ingénierie inverse, l'innovateur se retrouve alors sans recours.

Mais l'argument de la sécurité juridique des DPI par rapport aux méthodes informelles est remis en cause : le recours systématique au dépôt de brevet pour les innovations de toutes natures, y compris les plus anecdotiques, a été possible en raison de l'abaissement de fait du seuil de brevetabilité. L'Office des brevets définissant des brevet à l'étendue parfois floue, et ne

pouvant pas garantir l'absence de recouvrement entre les DPI qu'il émet, les tribunaux ont été amenés, dans plusieurs affaires importantes, à décider par eux-même tant de l'étendue que de la validité des brevets contestés. En 2000, Eli Lilly voit son brevet protégeant le Prozac invalidé deux ans avant son expiration prévue, suite à une action de fabricants de médicaments génériques. En 2006 le fabricant du BlackBerry, RIM, accepte de payer 612,5 millions de dollars pour un règlement à l'amiable avec la firme NTP, dont la plupart des brevets à l'origine de son action contre RIM seront ensuite invalidés. La définition de la protection offerte par les DPI est de plus en plus susceptible d'intervenir *ex-post*, ce qui contredit l'idée d'instruments juridiques offrant une protection limitée par avance mais garantie. De telles décisions concernant des produits hautement innovant interrogent sur la stratégie à adopter pour protéger des innovations majeures.

Le choix entre instrument juridique et méthode informelle est complexifié par l'opacité concernant les coûts. Les instruments juridiques font l'objet d'un paiement à l'office de brevets au moment du dépôt. Néanmoins les dépôts étant effectués par des firmes spécialisées et non par l'innovateur, le prix catalogue des démarches auprès de l'office de brevets renseigne peu sur le coût de la protection juridique. Les méthodes informelles et le copyright, parce qu'elles ne demandent, par définition, pas de démarche auprès d'un organisme chargé de valider la demande de protection, n'ont pas de coût monétaire direct. L'innovateur supporte en revanche un coût d'organisation significatif. La loi américaine Uniform Trade Secrets Act de 1985 précise que pour réclamer le statut de secret industriel pour une innovation, l'innovateur doit avoir pris des mesures effectives pour en empêcher la diffusion, par exemple la signature de contrat de confidentialité [1] ou la mise en oeuvre de mesures de restriction d'accès aux bâtiments où se déroule le processus de R&D. Le secret n'est pas simplement le non-brevet. La complexité à la conception nécessite quant à elle de modifier le processus de fabrication du produit ou du procédé et com-

1. L'enquête CIS britannique interroge à la fois sur l'usage du secret et des contrats de confidentialité.

porte donc un coût, de la même manière que les *biens endommagés* qui permettent de pratiquer une discrimination tarifaire ont un coût marginal plus élevé que le bien complet.

Les études qui cernent précisément les relations entre deux ou plusieurs instruments d'appropriation sont rares. Amara, Landry et Traoré (2008) utilisent un modèle de probit multivarié pour expliquer l'usage des instruments de protection de la propriété intellectuelle dans le secteur des services innovants au Canada en 2003, et montrent une substituabilité entre l'usage de la complexité et le dépôt de brevet. La complémentarité entre instrument peut s'observer lorsque une même innovation mobilise plusieurs instruments de protection à différents stades de développement. Ainsi l'enveloppe Soleau n'a d'intérêt que si elle est déposée plus tôt qu'un brevet puisqu'elle ne s'accompagne pas de protection de l'innovation. Elle permet à l'innovateur de retarder le dépôt de brevet afin de bénéficier d'une protection plus longue ou bien, plus en amont, d'évaluer lesquelles de ses innovations seront commercialisées et doivent être protégées (Pénin, 2008).

Nous utilisons les résultats de l'enquête Community Innovation Survey 4 de 2004. Cette enquête est la seule réalisée sur un échantillon représentatif à informer simultanément sur l'usage du brevet et de méthodes de protection informelles comme le secret ou la complexité à la conception (les données de brevet, notamment, sont très détaillées sur le nombre de brevets déposés et leurs caractéristiques mais ne renseignent pas sur les pratiques de protection mise en place par l'entreprise en parallèle). Le CIS est donc particulièrement adapté à l'étude des interactions et des complémentarités entre méthodes de protection pour un même innovateur. De plus à partir de sa version 4 l'enquête interroge sur les pratiques des entreprises sondées et non plus sur leurs préférences.

Il ressort que l'intensité de l'effort de R&D d'une firme accroît significativement la probabilité

de recours à des méthodes informelles de protection sans diffusion des connaissances (secret, avance, complexité) et n'a aucun impact sur l'usage des instruments juridiques. Les innovations importantes sont associées à l'usage de l'avance technologique, le brevet et la marque. L'avance est la seule méthode qui reste pertinente pour les innovations importantes des firmes intensives en R&D. L'étude des interactions entre instruments de protection montre une substitution entre brevet et avance ainsi qu'entre brevet et secret, c'est-à-dire entre des instruments imposant la diffusion des connaissances et ceux qui se basent sur le secret. Lorsqu'on relie ce choix à l'importance de l'innovation, il apparaît que la stratégie de diffusion ne s'impose pas parmi les firmes les plus innovantes.

Le reste de cet article est organisé comme suit. Les données provenant de l'enquête Community Innovation Survey 4 et la démarche économétrique sont décrites dans la section 2, tandis que la section 3 contient les résultats concernant les déterminants de l'usage des principaux DPI à vocation industrielle ainsi que les interactions entre ces DPI.

2 Données

Le Community Innovation Survey est une enquête harmonisée au niveau européen conduite tous les 4 ans qui vise à comprendre les pratiques d'innovation des firmes. Le contenu de l'enquête commun pour tous les pays est défini par Eurostat, puis le recueil d'information est mis en oeuvre par les Etat membre. Le volet français du CIS 4 couvre la période de 2002–2004 et porte sur 6734 entreprises opérant sur le territoire français, dont 1643 se déclarent innovantes en produit et 1624 innovantes en procédé. Les firmes innovantes ont un effectif médian de 88 salariés à la fin 2004. On compte 450 firmes innovantes de moins de 30 salariés, 1140 firmes dont l'effectif est compris entre 30 et 250 salariés et 706 firmes de plus de 250 salariés. Parmi les firmes innovantes

Table 1 – Statistiques descriptives de la base CIS 4

	Firmes innovantes		Firmes innovantes intenses en R&D	
Variable	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Nb. employés	417	2 477.502	548	4 593.087
Chiffre d'affaires	129 285	1 234 220	216 223	2 425 150
Brevet	28.8 %	.457	40.8 %	.492
Secret	27.2 %	.445	38.0 %	.485
Avance	35.1 %	.477	50.1 %	.500
Complexité	24.4%	.429	36.1 %	.480
Nb. obs	2270		471	

en produit, sur la période 2002-2004, 542 ont developpé au moins une innovation nouvelle pour l'entreprise seulement, 511 au moins une innovation nouvelle pour le marché et 589 au moins une innovation nouvelle à la fois pour le marché et pour la firme.

L'enquête Community Innovation Survey comprend une section consacrée à la propriété intellectuelle dans laquelle les firmes sondées indiquent quelles méthodes de protection de la propriété intellectuelle ont été utilisées parmi les sept proposées. La question posée est "*Avez-vous, entre 2002 et 2004, utilisé le moyen suivant de protection de la propriété intellectuelle*", et la réponse pour chacune des méthodes de protection est notée par une variable binaire.

Une limitation des enquêtes CIS est qu'elles ne renseignent pas sur le nombre de fois où la firme a eu recours à une méthode, ni le nombre d'innovations concernées par une méthode. L'information est obtenue au niveau de la firme, alors que la protection des résultats de la recherche est une décision qui est prise pour chaque innovation.

L'analyse économétrique porte sur les réponses à la section consacrée à la propriété intel-

lectuelle pour les instruments d'appropriation susceptibles d'être mobilisés pour protéger une innovation industrielle (brevet, secret, avance technologique et complexité à la conception[2]). L'usage de chaque instrument d'appropriation est rapporté par une variable binaire dont nous modélisons le comportement par un modèle probit avec auto-sélection.

Les variables explicatives déterminent une variable sous-jacente de propension à mettre en oeuvre l'instrument considéré, dont l'usage est observé lorsque la variable est positive :

$$y_1 = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad y_1^* > 0 \\ 0 & \quad sinon \end{cases}$$

avec $y_1^* = \beta x_1 + u$.

u suit une loi Normale$(0,1)$, et le vecteur x_1 est constitué de variables qui sont toutes renseignées pour les firmes actives en R&D. En effet, l'équation précédente n'est valable que pour les firmes qui ont préalablement décidé d'engager un processus d'innovation. Cette décision est modélisée par l'équation de sélection :

$$Innov = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad Innov^* > 0 \\ 0 & \quad sinon \end{cases}$$

avec $Innov^* = \delta x + \epsilon$.

x est constitué des caractéristiques des firmes et ϵ suit une loi Normale$(0,1)$. Notons que x et $Innov$ sont toujours observés, tandis que y_1 n'est observé que lorsque $Innov = 1$. L'existence

2. Les autres méthodes de protection, les dessins et modèles, les marques et le copyright, ne concernent pas les innovations industrielles susceptibles de publication. Les autres instruments pertinents pour les problématiques de (non-)diffusion d'innovation sont l'enveloppe Soleau, le contrat de confidentialité et la clause de non-concurrence, mais ceux-ci sont absents de l'enquête CIS 4 français.

d'une corrélation entre les variables inobservées dans la décision d'innover (ϵ) et dans l'usage de l'intrument de protection (u) conduit à des estimateurs biaisés. On prend en compte la corrélation en supposant que les termes d'erreur suivent une loi jointe définit par : $\binom{\epsilon}{u} \sim N\left[\binom{0}{0}, \begin{pmatrix} \sigma^2 & \gamma\sigma^2 \\ \gamma\sigma^2 & 1 \end{pmatrix}\right]$.

Ainsi σ^2 est la variance de ϵ, γ est le cofficient de corrélation entre les deux termes d'erreur ϵ et u, et la variance de u est normalisée à 1.

On estime l'équation de sélection sur l'ensemble de l'échantillon, puis on calcule l'inverse du ratio de Mills avec les coefficients estimés, soit $\hat{\lambda_2} = \frac{\phi(\hat{\delta}x)}{\Phi(\hat{\delta}x)}$, où ϕ représente la fonction de densité de la loi normale centrée réduite, et Φ la fonction de répartition. L'inverse du ratio de Mills est ensuite intégré dans les variables sur lesquelles on régresse y_2.

3 Résultats et discussion

Le modèle précédent est utilisé pour, dans un premier temps, expliquer l'usage de chacun des instruments de protection à vocation industrielle par des caractéristiques de la firme (taille, dépenses de R&D) ou de son environnement (échelle géographique, développement conjoint de l'innovation). Dans la seconde partie, nous étudierons les interactions entre les DPI afin d'identifier des effets de complémentarité ou bien des alternatives, incompatibles entre elles, entre les différents modes de protection.

3.1 Déterminants de l'usage des instruments d'appropriation

Dépenses de R&D Le montant des dépenses de recherche et développement, c'est-à-dire l'intensité capitalistique de l'innovation, influence significativement trois méthodes de protection : le brevet, le secret et le copyright. La distinction entre effort de recherche mené en interne ou

Table 2 – Determinants des instruments d'appropriation de la propriété intellectuelle

	Brevet	Secret	Avance	Complexité
Employés	-0.004	0.022	0.052	-0.012
	(0.024)	(0.022)	(0.039)	(0.025)
R&D Interne	0.022**	0.010	0.000	0.002
	(0.008)	(0.005)	(0.004)	(0.002)
R&D Externe	0.112*	0.030	0.006	-0.001
	(0.051)	(0.016)	(0.008)	(0.001)
Autre acquisition de connaissance	0.003	-0.036*	-0.012	-0.004
	(0.004)	(0.018)	(0.011)	(0.006)
Firme intensive en R&D	0.108	0.264**	0.417***	0.336***
	(0.077)	(0.083)	(0.081)	(0.083)
Marché local	*réf.*			
Marché national	-0.201	0.114	0.302*	0.418*
	(0.119)	(0.154)	(0.153)	(0.166)
Marché européen	-0.154	0.003	0.028	-0.150
	(0.099)	(0.116)	(0.115)	(0.121)
Marché international	0.168	0.297**	0.174	0.365**
	(0.098)	(0.111)	(0.106)	(0.114)
Innovation développée par la firme...				
seule	*réf.*			
conjointement avec d'autres firmes	-0.263**	-0.145	-0.144	0.031
	(0.092)	(0.099)	(0.095)	(0.098)
principalement par d'autres firmes	-0.979*	0.199	-0.429	-0.387
	(0.381)	(0.245)	(0.278)	(0.313)
Procédé	0.116	0.096	0.203**	0.137
	(0.065)	(0.072)	(0.071)	(0.075)
Innov. Technique	0.019**	0.014	0.021**	0.013
	(0.007)	(0.008)	(0.008)	(0.008)
Innov. Organisation	-0.011	0.013	0.006	0.020*
	(0.008)	(0.009)	(0.009)	(0.009)
Innov. Marketing	-0.054	0.080	0.029	0.095*
	(0.040)	(0.044)	(0.043)	(0.045)
Secteurs	*inclus*			
Constante	-0.086	-0.776	-0.984*	-1.376**
	(0.322)	(0.420)	(0.444)	(0.451)
N	6102.000	6100.000	6100.000	6100.000

Var. dep. : usage de l'instrument considéré (0/1)). Firmes intensives en R&D : plus de 4% du chiffre d'affaires dépensés en recherche. La première étape d'auto-sélection de la décision d'innover est omise.

externe n'est pas réellement pertinente pour l'usage du brevet dans la mesure où les deux types de recherche augmentent la probabilité d'obtenir une innovation brevetée. L'effort de recherche interne contribue à l'usage du secret et du copyright, qui sont deux instruments d'appropriation (avec la complexité) qui permettent de ne pas divulguer l'innovation.

La variable binaire Firme intensive en R&D signale une entreprise dont le ratio des Dépenses des R&D sur le chiffre d'affaires atteint au moins 4 %. Il s'agit de 522 observations, soit 24 % des firmes innovantes. Cette caractéristique augmente fortement la probabilité d'utiliser les méthodes informelles de protection que sont l'avance, la complexité et le secret très significativement (au seuil de 1%). Aucun instrument juridique n'impacté par la variable binaire d'intensité de la recherche.

Taille de la firme et du marché Les différentes échelles géographiques où la firme déclare être présente (marché national ou international, plutôt que le marché local) sont très significatives et positives dans l'équation de sélection ce qui correspond au fait que les entreprises innovantes, en France, sont de grandes entreprises.

Dans la deuxième étape, la probabilité de l'usage du brevet n'est pas modifiée par les variables de taille du marché, tandis que deux méthodes informelles de protection sont fortement liées à l'environnement international de la firme : le secret et la complexité. La présence de la firme à l'international modifie donc le portefeuille des DPI en faveur des instruments informels. Il ne s'agit pas d'un effet lié au fait qu'une entreprise internationale ne produit pas les mêmes innovations qu'une PME puisque cette différence est contrôlée par les variables de nature de l'innovation. Par ailleurs, les firmes présentes à l'international disposent de moyens et de compétences importants par rapport aux petites entreprises qui devraient jouer dans le sens du dépôt de brevet.

Mais la force de la protection par brevet dépend de la capacité à le faire respecter devant

les tribunaux en cas de besoin[3], ce qui n'est pas assuré au niveau national du fait de la faible qualité des brevets émis par l'Office des brevet, qui les rend susceptible d'invalidation en cas de contestation comme on l'a vu dans la première partie, et la mise en oeuvre des DPI est encore plus problématique au niveau international.

Développement conjoint Les variables binaires indiquant que l'innovation a été développée conjointement avec une autre firme ou principalement par une autre firme ressortent significativement et négativement pour l'usage du brevet et du dépôt de dessins et de marques. Il est à noter que cette question est distincte de celle sur la coopération, dont on obtient les déterminants dans la section suivante. Ce résultat illustre l'opposition entre une démarche formelle de coopération en R&D – qui demande que l'appropriation des résultats soit possible – à un développement conjoint moins encadré où les résultats ne sont pas protégés. Sans surprise, en dehors d'une démarche formelle de coopération en R&D, moins l'entreprise est partie prenante au processus d'innovation moins elle est susceptible de pouvoir la protéger.

Nature de l'innovation Les innovations de procédé sont un facteur significatif de l'avance technologique et, en l'absence de la variable de coopération, obtenir une innovation de procédé augmente également la probabilité d'avoir recours au brevet et à la complexité (significatif au seuil de 10%).

Les firmes enquêtées doivent noter, sur une échelle de 1 à 3, l'impact de l'innovation selon plusieurs dimensions (gain de part de marché, réduction des coûts, etc.). Ces dimensions sont regroupées dans trois axes – Technique et Marché, Organisation, Marketing. En sommant les effets selon ces axes, on obtient un "score" pour chaque nature d'innovation. Le contrôle par

3. Les données disponibles ne permettent pas de distinguer entre le dépôt d'un brevet national, européen ou triadique qui aurait permis de connaître les comportements de dépôt de brevet au niveau international des entreprises françaises.

la nature de l'innovation (technique, organisation ou marketing) permet de tenir compte du fait que toutes les innovations ne sont pas susceptibles d'être protégées par l'ensemble des sept instruments d'appropriation.

3.2 Interactions entre DPI

Après avoir étudié les caractéristiques des firmes déterminant l'usage des DPI, nous cherchons dans cette section à identifier les relations entre les DPI : y a-t-il des complémentarités entre certains DPI qui seraient systématiquement mobilisés en combinaison, ou au contraire l'usage de certains instruments s'excluent-ils mutuellement car reflétant des stratégies d'appropriation incompatibles. Pour cela, en plus des variables indiquant l'usage de chacun des instruments précédents, nous introduisons les variables d'interaction entre les DPI pertinents pour protéger des innovations industrielles.

Les instruments Complexité à la conception et les Dessins et modèle sont non-signicatifs ainsi que toutes leurs interactions avec les autres DPI, nous présentons donc les résultats concernant les instruments Brevet, Secret et Avance. La variable dépendante est le fait que la firme déclare avoir obtenu une innovation *"nouvelle pour le marché"*. Il s'agit d'une innovation importante, par opposition à une innovation simplement "nouvelle pour la firme" qui consiste en un rattrapage technologique de l'état de l'art, soit par imitation soit par duplication d'une recherche déjà effectuée par les concurrents.

La regression 1 du Tableau 3 indique que les innovations importantes sont protégées par avance technologique, brevet, marques. Tous trois sont significatifs au seuil de 1 %. Le dépôt de marque est un indicateur de l'effort de marketing autour du produit, qui est complémentaire à l'innovation elle-même.

Table 3 – Determinants du résultat de la recherche

	Firmes innovantes		Firmes innovantes intensives en R&D	
Brevet et Secret		-0.118		-0.797**
		(0.140)		(0.292)
Avance et Secret		-0.171		0.062
		(0.136)		(0.293)
Brevet et Avance		-0.315*		0.167
		(0.134)		(0.285)
Brevet	0.364***	0.543***	0.174	0.389
	(0.067)	(0.091)	(0.147)	(0.220)
Secret	0.075	0.213	0.053	0.376
	(0.073)	(0.111)	(0.150)	(0.253)
Avance	0.465***	0.625***	0.451**	0.340
	(0.070)	(0.093)	(0.148)	(0.195)
Dessins	0.137	0.137	0.175	0.226
	(0.072)	(0.072)	(0.160)	(0.163)
Complexité	0.097	0.104	0.287	0.282
	(0.078)	(0.079)	(0.160)	(0.163)
Employés	0.001	0.001	0.297	0.334
	(0.017)	(0.017)	(0.168)	(0.177)
Dépenses R&D	-0.000	-0.000	-0.002	-0.002
	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.001)
Innov. Technique	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004
	(0.006)	(0.006)	(0.014)	(0.014)
Innov. Organisation	-0.009	-0.010	-0.015	-0.014
	(0.007)	(0.007)	(0.015)	(0.016)
Innov. Marketing	0.163***	0.169***	0.057	0.048
	(0.038)	(0.038)	(0.080)	(0.081)
Marques	0.213***	0.212***	0.125	0.124
	(0.063)	(0.064)	(0.137)	(0.139)
Secteurs	*inclus*			
Constante	-0.198	-0.276*	-0.374	-0.409
	(0.136)	(0.139)	(0.213)	(0.228)
N	6727.000	6727.000	518.000	518.000

Var. dep. : innovation nouvelle pour le marché (0/1). Firmes intensives en R&D : plus de 4% du chiffre d'affaires dépensés en recherche. La première étape d'auto-sélection de la décision d'innover est omise.

La regression 2 inclut de plus les interactions entre brevet, secret et avance technologique. Chaque variable individuellement reste significative et positive, mais la combinaison brevet-avance est négative et faiblement significative. Déposer un brevet ou obtenir une innovation suffisante pour que son avance sur les concurrents la protège augmentent tous les deux très fortement la probabilité d'avoir une innovation nouvelle pour le marché, en revanche ces deux méthodes de protection sont substituables. L'alternative entre la protection par instrument avec divulgation et instrument sans divulgation est encore plus marquée dans quatrième colonne qui porte sur un échantillon réduit aux firmes innovantes les plus intensives en recherche : les instruments brevet et secret sont très fortement substituables. Dans la troisième colonne, où l'on considère les instruments individuellement sans les termes d'interaction, seule l'avance technologique est la seule méthode de protection qui reste significative. On s'attend à trouver que le dépôt de brevet est encore plus significatif lorsqu'on réduit l'échantillon aux firmes qui fournissent un important effort de recherche, si parmi elles le recours au brevet est systématique pour protéger une innovation importante. Or l'écart-type de la variable brevet est très grand sur cet échantillon, et seule l'avance technologique reste pertinente.

Le paragraphe précédent n'a pas montré de complémentarité mais plutôt une relation de substitution entre instruments, c'est-a-dire des stratégies de protection exclusives parmi lesquelles les firmes doivent choisir. Le Tableau 4 présente les déterminants du résultat de la recherche en regroupant les DPI exigeant la diffusion de la connaissance (brevet, dessins et modèles) et ceux basés sur le secret (secret, complexité, avance technologique).

Sur l'ensemble des firmes innovantes, la différence entre les indices de divulgation et de non divulgation n'est pas significative ($\chi^2(1) = 0,57$, p-value $= 0,43$). Lorsqu'on considère les plus intensives en recherche, l'indice de non diffusion est le seul significatif (au seuil de 1%). Ce résultat complète donc celui établi au paragraphe précédent : les DPI avec divulgation et

Table 4 – Résultat de la recherche et divulgation de l'innovation

	Firmes innovantes	Firmes innovantes intensives en R&D
DPI avec divulgation	0.266***	0.170
	(0.044)	(0.095)
DPI sans divulgation	0.224***	0.273***
	(0.028)	(0.055)
N	6728.000	518.000

Var. dep. : innovation nouvelle pour le marché (0/1). Firmes intensives en R&D : plus de 4% du chiffre d'affaires dépensés en recherche. La première étape d'auto-sélection de la décision d'innover, ainsi que les variables de contrôles, sont omises.

sans divulgation sont alternatifs, et les firmes les plus impliquées dans le processus d'innovation choisissent l'absence de divulgation.

Ainsi, il ressort d'une part que l'intensité de l'effort de R&D d'une firme accroît significativement la probabilité de recours à des méthodes informelles de protection sans diffusion des connaissances (secret, avance, complexité) et n'a aucun impact sur l'usage des instruments juridiques. D'autre part, l'étude des interactions entre instruments de protection montre une substitution entre brevet et avance ainsi qu'entre brevet et secret, c'est-à-dire entre des instruments imposant la publication des connaissances et ceux qui se basent sur le secret. Lorsqu'on relie ce choix à l'importance de l'innovation, il apparaît que la stratégie de divulgation ne s'impose pas parmi les firmes les plus innovantes.

4 Conclusion

Cet article vise à analyser les déterminants du choix des instruments d'appropriation de l'innovation utilisés par une firme innovante pour protéger sa propriété intellectuelle. L'analyse a été menée sur les principaux instruments pour lesquels l'enquête Community Innovation Survey 4 propose des données, qui peuvent être classés comme instruments juridiques ou méthodes informelles de protection.

L'inadapatation des instruments juridiques aux besoins des firmes les plus innovantes peut s'expliquer de plusieurs manières. L'importance de la connaissance tacite pour développer et maîtriser une innovation de pointe [4], alors que le brevet est efficace pour protéger une connaissance codifiée. De plus, les méthodes informelles peuvent être mises en oeuvre intégralement au sein de la firme, ce qui présente l'avantage de la souplesse dans un contexte de rapidité croissante des innovations successives. À titre de comparaison, la durée totale du cycle d'interaction avec l'INPI est de 27 mois (durée indicative), avec divulgation du rapport de recherche prémiminaire au bout de 18 mois. Le cycle doit être recommencé pour chaque dépôt de brevet, c'est-à-dire pour chaque étape d'une innovation cumulative. Faute d'offrir cette souplesse, le système de brevet actuel conduit les entreprises innovantes à maintenir secret une part importante de leurs connaissances.

L'enquête CIS 4 utilisée a recueilli des données au niveau de la firme, ce qui nous a permis de montrer l'existence de stratégies d'entreprises vis-à-vis de la gestion de leur propriété intellectuelle mais reste un niveau relativement agrégé. Une piste de recherche future consiste à tirer partie du fait qu'une innovation est divisible en plusieurs composants et à montrer dans quelle mesure ces composants font l'objet, à l'intérieur de la firme, de comportement de protection différenciés.

4. Le savoir-faire implicite des employés est protégé plus efficacement par d'autres moyens, comme le recours aux clauses de non-concurrence dont une étude récente (Bessy, 2009) a montré la plus grande prévalence au sein des départements de recherche que dans les métiers de type production ou droit.

References

ANTON, James J. et YAO, Dennis A. (2004), « Little patents and big secrets : Managing intellectual property », The RAND Journal of Economics, 35(1) :1-22.

ARORA, Ashish, CECCAGNOLI, Marco, and COHEN, Wesley M. (2008), « R&D and the patent premium », International Journal of Industrial Organization, 26(5) :1153-1179.

ARUNDEL, Anthony (2001), « The relative effectiveness of patents and secrecy for appropriation », Research Policy, 30 :611-624.

ARUNDEL, Anthony et KABLA, Isabelle (1998), « What percentage of innovations are patented ? empirical estimates for european firms », Research Policy, 27 :127-141.

BAR-GILL, Oren et PARCHOMOVSKY, Gideon (2003), « The value of giving away secrets », Virginia Law Review, 89(8) :1857-1895.

BELLEFLAMME, Paul et VAN YPERSELE Tanguy (2006), « Comment favoriser l'innovation dans le secteur pharmaceutique : brevets et/ou récompenses ? », Reflets et Perspectives, XLV, pp. 23-35.

BESSY, Christian (2009), « L'usage des clauses de non-concurrence dans les contrats de travail », Revue d'Economie Industrielle 125, p. 9–40.

BLIND, Knut, EDLER, Jakob, FRIETSCH, Rainer et SCHMOCH, Ulrich (2006), « Motives to patent : Empirical evidence from Germany », Research Policy, 35(5) :655 - 672.

BROUSSEAU, Eric et BESSY, Christian (2005) « Public and Private Institutions in the Governance of Intellectual Property Rights », B. Andersen (ed.), Intellectual Property Rights : Innovation, Governance and the Institutional Environment, Edward Elgar Publishers.

BROUSSEAU, Eric et BESSY, Christian (2001) « Contrats de Licence et Innovation », P. Mustar, H. Pénan (ed.), Encyclopédie de l'Innovation, Paris, Economica.

GUELLEC, Dominique (2001), « Les politiques de soutien à l'innovation technologique à l'aune de la théorie économique », Économie et Prévision 150, p. 95–105.

CASSIMAN, B., VEUGELERS, R., 2002. « R&D cooperation and spillovers : some empirical evidence from Belgium » American Economic Review 92 (4), 1169–1184

COHEN, W.M., NELSON, R.R., WALSH, J.P. (2000), « Protecting their intellectual assets : appropriability conditions and why U.S. manufacturing firms patent (or not) », NBER Working paper No. 7552.

CREPON, B., DUGUET, E., MAIRESSE, J. (1998), « Research, innovation and productivity : an econometric analysis at the firm level », The Economics of Innovation and New Technology, 7(2) :115–158.

ENCAOUA, David, GUELLEC, Dominique, and MARTINEZ, Catalina (2006), « Patent systems for encouraging innovation : Lessons from economic analysis », Research Policy, 35 :1423-1440.

FARRELL, Joseph, et SHAPIRO, Carl (2008), « How Strong Are Weak Patents ? », American Economic Review, 98(4) : 1347-69.

FRIEDMAN, David D., LANDES, William M., and POSNER, Richard A. (1991), « Some economics of trade secret law », The Journal of Economic Perspectives, 5(1) :61-72.

GILL, David (2008), « Strategic disclosure of intermediate research results », Journal of Economics & Management Strategy, 17(3) :733-758.

GRAHAM, S., HALL, B., HARHOFF, D., MOWERY, D., 2002. Post-issue patent 'Quality control' : A comparative study of US patent re-examinations and European patent oppositions. NBER Working Papers 8807

HERTZFELD, Henry R., Albert N. LINK et Nicholas S. VONORTAS (2006), « Intellectual property protection mechanisms in research partnerships », Research Policy, 35(6) :825 - 838.

LEVIN, R.C., KLEVORICK, A.K., NELSON, R.R., WINTER, S.G. (1987),« Appropriating the returns from industrial research and development », Brookings Papers on Economic Activity 3, 783–831.

LONG, Clarisa (2002), « Patent signals. » University of Chicago Law Review, 69.

MANSFIELD, Edwin (1986), « Patents and innovation : An empirical study. Management Science », 32(2) :173-181.

PÉNIN, Julien (2005), « Patents versus ex post rewards : A new look », Research Policy 34, p. 641–656.

PÉNIN Julien (2008), « Enveloppe Soleau et droit de possession antérieure : Définition et analyse économique », Revue d'économie industrielle 121, pp 85–102.

PFISTER Etienne (2004), « La divulgation volontaire des innovations », Revue économique vol. 55, n° 2, p. 165-186

SCOTCHMER, Suzanne (2004), « Innovation and Incentives », The MIT Press, Cambridge, MA.

Imitation and Intellectual Property Protection: The Strategic Implications of Damage Rules*

Yassine Lefouili† and Serge Pajak‡

February 2011

Abstract

Courts in the United States, Japan and European countries have several ways to compute the damages when setting the monetary infringement damages to be paid by an imitator to a patent holder. They are refered to as the reasonable royalty, unfair enrichment (UE) and lost profit (LP) rules. This paper investigates how the rules affect the decision to infringe, as well as early on the decision to patent or not the innovation.

Keywords: Innovation, Intellectual Property, Damage Rules

JEL Codes: K11; O34; O31

*An earlier version of this paper has been circulated under the title: "Choosing IP Protection under the Lost Profit Rule". We thank audiences at the GREQAM Summer School on Innovation (2007), the 15th Spring Meeting of Young Economists in Luxemburg (2010), the 8th International Industrial Organization Conference in Vancouver (2010) and the 37th EARIE Meeting in Istanbul (2010) for their comments on this paper.

†Toulouse School of Economics, Manufacture des Tabacs, 21 allee de Brienne, 31000 Toulouse, France. Email: yassine.lefouili@tse-fr.eu

‡Telecom ParisTech, Departement of Economics and Social Sciences, 46 rue Barrault, F-75013 Paris, France. Email: serge.pajak@telecom-paristech.fr

1 Introduction

Infringing a patent is first and foremost an economic decision although it is a reprehensible one. As such, whether a competitor will infringe a patented technology will be decided by the comparaison of the expected profits with imitation versus the expected profits when not imitating. Patents infringement damages thus have a major role in deterring imitation, since they direclty impact the expected profits from engaging in imitation. Courts in the United States, Japan and European countries have several ways to compute the damages when setting the monetary infringement damages to be paid by the imitator. The first is to set a "reasonable royalty" which is applied to the sales of the infringing product, as if the infringer had obtained a license. It also includes two other doctrines, the unfair enrichment (UE) rule in which the infringer is made to disgorge its ill-gotten profits, and the lost profit (LP) rule where the damages are equal to the difference between the innovator's profits had he not been imitated and her actual profits. We propose to further open the black box of infringement damages and investigate how they affect the decision to infringe, as well as early on the decision to patent or not the innovation.

We examine how the behavior of patentholders and potential imitators is affected by the legal rule used by courts to assess the damages to be paid in case of patent infringement. For this purpose we set up a duopoly model with probabilistic patents and costly imitation, where an innovator chooses whether to patent her innovation and a potential imitator decides how far to imitate its competitor. Patenting protects the innovator against imitation in that if imitated she will, with some probability, receive infringement damages as computed by the legal rule applied. Yet it reduces the cost of imitation as patenting entails information disclosure on the innovator's part. Imitation cost is reduced by a factor $0 \leq f < 1$ when the innovation is patented rather than kept secret. When the innovator tries to enforce her patent in court the imitator

is systematically challenging the validity of the patent, and the probability that the patent is found valid by the court is the *patent strength*. Imitation allows the non-innovative firm to lower its marginal cost to the level of its choice, up to that of the innovator, at a quadratic cost. The imitating firm then incurs the risk of paying damages if the patent is found valid.

This allow us to offer a complete characterization under the lost profit rule of the imitation level chosen by the imitator as well as the choice of protection regime (patent or secrecy) by the innovator. The comparaison of the decisions to imitate and to patent under the two damages rules can then be done for innovations of all sizes.

For drastic process innovation (or product innovation) , absent the option of secrecy LP dominates UE as in Choi (2009). In our paper, secrecy is always optimal in the sense that the innovator is indifferent between patent and secrecy. Regarding minor (non-drastic) innovations, the innovator prefers UE to LP for a sufficiently high patent strength, when she is imitated in full (low f).The intuition for this result is as follows. Strong IPR induce passive imitation under LP and thus duopoly profits for the innovator. "Passive" imitation (pointed out by Anton and Yao, 2007) refers to a situation where the imitator can reduce its cost to the innovator's cost level without taking into account this cost reduction in the competition stage, which entails that the patentholder suffers no damage. The very existence of this kind of imitation makes patenting of non-drastic innovations generally more attractive under the lost profit rule. Under UE however, the innovator earns profits close to her monopoly profits for two concurring reasons. First the joint profits of the two firms increases with the patent strength, which corresponds to the collusive effect of patent strength under the UE doctrine. Second, the innovator earns the lion's share of these profits via the damages.

For weak IPR, the innovator is better off under LP with low f, as her market profits before

expected damages are equal to the total profits under UE. With high imitation cost, there is no imitation under UE and the innovator thus prefers UE: the expected damages are not sufficient to offset the lost profits due to imitation, as IPR are too weak.

The rest of the article is organized as follows: Section 2 introduces the model, Section 3 presents the propositions related to the competition stage, Section 4 solves the imitation stage of the model and presents the results as regard the extent of the imitation chosen, Section 5 determines the protection choice of the imitator, while Section 6 discusses our results and compares the two damage rules in term of imitation and protection behaviors.

2 The Model

We consider a market with two competing firms where firm 1 is an innovative firm and firm 2 a potential imitator, in a framework similar to that of Encaoua and Lefouili (2005). Each firm at first produces at marginal cost c. The innovation consists of a cost-reducing process innovation, allowing the firm to lower its marginal cost from c to d_1. We study the three-stage game defined as follows:

In the *protection stage*, the innovator chooses the intellectual property protection regime under which its innovation will be protected. It can be either the patent regime, denoted P, or the secrecy (trade secret) regime which we denote S.

During the *imitation stage*, firm 2 observes the innovator's marginal cost d_1 and chooses the extent of the imitation. Imitation consists in reducing her marginal cost from c to d_2, with $d_1 \leq d_2 \leq c$, by building around the existing technology. Firm 2 can thus catch-up firm 1's technology but cannot do better. We assume that imitation is costly: reaching a cost level d_2

entails a fixed cost of imitation $I(d_2)$, which reflects how easy is the imitation and depends on the protection regime. We define the imitation cost of a patented innovation, $I^P(d_2)$, and the imitation cost of an imitation under secrecy, $I^S(d_2)$, as satisfying the condition :

$$I^P(d_2) = fI^S(d_2)$$

where the parameter f measures the relative cost of imitation under the patent regime and the secrecy regime. We assume that $0 < f < 1$, which reflects the impact on imitation of the disclosure requirement set on a patented innovation: the disclosure should, under patent law, provides the information necessary for a third-party to reproduce the innovation "without undue burden". However, the actual disclosure is far from being as candid as the law directs and implicit know-how often constitute a large part of the knowledge necessary to implement an innovation. Mandatory disclosure combined with the use of obfuscation techniques and implicit knowledge together explain that $f \in]0, 1[$.

In the *competition stage*, market outcomes, including damages paid, are determined. We assume that, when the innovation is patented and firm 2 has chosen $d_2 < c$, so that there is indeed imitation, firm 1 files a suit to obtain infringement damages in court. We also assume that firm 2 legal response is alway to challenge the validity of the patent. The court affirms the validity of the patent and compells firm 2 to pay damages with probability $\theta \in [0, 1]$ which corresponds to the patent strength.

We model the duopoly market competition as quantity-setting Cournot competition with linear market demand:

$$p(x_1 + x_2) = a - (x_1 + x_2)$$

where x_1 is the output of firm 1 and x_2 the output of firm 2.

Lets now solve the game by backward induction.

3 Competition stage

Cournot competition between the two firms occurs under the shadow of infringement, with a probability θ of damages being paid. The expression of market profits depends on whether the innovation is patented or not, since only a patented innovation potentially entails infringement damages. We first determine the outcome of the competition stage in this case.

Denote $\pi_1(d_1, d_2, x_1, x_2)$ and $\pi_2(d_1, d_2, x_1, x_2)$ respectively the market profits of firm 1 and firm 2 when firm 1 (resp. firm 2) produces x_1 (resp. x_2) at a marginal cost d_1 (resp. d_2).

When imitation occurs, i.e. $d_2 < c$, the firms' expected profits under the lost profit rule are:

$$\Pi_1(d_1, d_2, \theta, x_1, x_2) = \pi_1(d_1, d_2, x_1, x_2) + \theta \max\left(\pi^C(d_1, c) - \pi_1(d_1, d_2, x_1, x_2), 0\right)$$

$$\Pi_2(d_1, d_2, \theta, x_1, x_2) = \pi_2(d_1, d_2, x_1, x_2) - \theta \max\left(\pi^C(d_1, c) - \pi_1(d_1, d_2, x_1, x_2), 0\right)$$

where $\pi^C(d_1, c)$ is the (couterfactual) market profit firm 1 would have gotten if it had not been imitated by firm 2.

The following results depends on the size of the innovation.

3.1 Patented, drastic innovations

Lemma 1 *Assume the innovation is drastic, i.e* $d_1 \leq 2c-a$ *and denote* $\bar{d}_2(d_1,\theta) = \frac{(1-\theta)a+(1+\theta)d_1}{2}$.

The equilibrium (expected) profits under the patent regime are given by:

$$\Pi_1^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} (1-\theta)\left(\frac{a-2d_1+d_2}{3-\theta}\right)^2 + \theta\left(\frac{a-d_1}{2}\right)^2 & \text{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2(d_1,\theta)\right] \\ \left(\frac{a-d_1}{2}\right)^2 & \text{if} \quad d_2 \in \left]\bar{d}_2(d_1,\theta), c\right] \end{cases}$$

$$\Pi_2^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} \frac{(4-\theta)}{(3-\theta)^2}\left[\bar{d}_2(d_1,\theta) - d_2\right]^2 & \text{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2(d_1,\theta)\right] \\ 0 & \text{if} \quad d_2 \in \left]\bar{d}_2(d_1,\theta), c\right] \end{cases}$$

Proof. Under the assumption $d_1 < 2c-a$, the marginal cost c is above the innovator's monopoly price $\frac{a-d_1}{2}$ which yields $\pi^C(d_1,c) = \pi^M(d_1) = \left(\frac{a-d_1}{2}\right)^2$. Therefore

$$\pi^C(d_1,c) - \pi_1(d_1,d_2,x_1,x_2) = \pi^M(d_1) - \pi_1(d_1,d_2,x_1,x_2) \geq 0$$

which entails that:

$$\Pi_1(d_1,d_2,\theta,x_1,x_2) = (1-\theta)\,\pi_1(d_1,d_2,x_1,x_2) + \theta\pi^M(d_1)$$

$$\Pi_2(d_1,d_2,\theta,x_1,x_2) = \pi_2(d_1,d_2,x_1,x_2) + \theta\pi_1(d_1,d_2,x_1,x_2) - \theta\pi^M(d_1)$$

The firms' best response functions are given by:

$$R_1(x_2) = \frac{a-x_2-d_1}{2}$$

and

$$R_2(x_1,\theta) = \begin{cases} \frac{a-(1+\theta)x_1-d_2}{2} & \text{if} \quad x_1 \leq \frac{a-d_2}{1+\theta} \text{ et } \Pi_2(d_1,d_2,\theta,x_1,\frac{a-(1+\theta)x_1-d_2}{2}) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Denote $(\tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta),\tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta))$ the solution to the system:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{a-x_2-d_1}{2} \\ x_2 = \frac{a-(1+\theta)x_1-d_2}{2} \end{cases}$$

It is straightforward that:

$$\tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta) = \frac{a-2d_1+d_2}{3-\theta}$$

$$\tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta) = \frac{(1-\theta)\,a-2d_2+(1+\theta)\,d_1}{3-\theta}$$

Therefore, the equilibrium outputs are:

$$x_1^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} \tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta) & \text{if} \quad \tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta) \leq \frac{a-d_2}{1+\theta} \text{ et } \Pi_2(d_1,d_2,\theta,\tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta),\tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta)) \geq 0 \\ \frac{a-d_1}{2} & \text{othewise} \end{cases}$$

$$x_2^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} \tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta) & \text{if} \quad \tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta) \leq \frac{a-d_2}{1+\theta} \text{ et } \Pi_2(d_1,d_2,\theta,\tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta),\tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta)) \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

The inequality $\tilde{x}_1(d_1,d_2,\theta) \leq \frac{a-d_2}{1+\theta}$ which is a necessary condition for the existence of an interior solution $\tilde{x}_2(d_1,d_2,\theta)$ is equivalent to:

$$d_2 \leq \bar{d}_2\,(d_1,\theta) = \frac{(1-\theta)\,a+(1+\theta)\,d_1}{2} \tag{1}$$

Let us show that this is actually a sufficient condition, which amounts to showing that for any

$d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]$ it holds that:

$$\Pi_2(d_1, d_2, \theta, \tilde{x}_1(d_1, d_2, \theta), \tilde{x}_2(d_1, d_2, \theta)) \geq 0$$

First note that the imitator's expected profit is zero when $d_2 = \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)$:

$$\Pi_2(d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), \theta, \tilde{x}_1(d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), \theta), \tilde{x}_2(d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), \theta)) = 0$$

Thus, it is sufficient to prove that the function $d_2 \longrightarrow \Pi_2(d_1, d_2, \theta, \tilde{x}_1(d_1, d_2, \theta), \tilde{x}_2(d_1, d_2, \theta))$ is decreasing over $\left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]$ to state that it is (weakly) positive over this interval. Some algebraic manipulations yield :

$$\Pi_2(d_1, d_2, \theta, \tilde{x}_1(d_1, d_2, \theta), \tilde{x}_2(d_1, d_2, \theta)) = \frac{(4-\theta)}{(3-\theta)^2}\left[d_2 - \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]^2$$

which is decreasing in d_2 over $\left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]$. Now we can state that the equilibium outputs are:

$$x_1^*(d_1, d_2, \theta) = \begin{cases} \frac{a-2d_1+d_2}{3-\theta} & \text{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right] \\ \frac{a-d_1}{2} & \text{if} \quad d_2 \in \left]\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), c\right] \end{cases}$$

$$x_2^*(d_1, d_2, \theta) = \begin{cases} \frac{(1-\theta)a-2d_2+(1+\theta)d_1}{3-\theta} & \text{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right] \\ 0 & \text{if} \quad d_2 \in \left]\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), c\right] \end{cases}$$

which yields the following equilibrium price:

$$p^*(d_1, d_2, \theta) = \begin{cases} \frac{a+(1-\theta)d_1+d_2}{3-\theta} & \text{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right] \\ \frac{a+d_1}{2} & \text{if} \quad d_2 \in \left]\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), c\right] \end{cases}$$

and leads to the result. ■

3.2 Patented, non-drastic innovations

Lemma 2 *Denote* $\hat{d}_2(d_1,\theta) = c - \frac{\theta}{3}(a - 2d_1 + c)$. *For non-drastic innovations, the equilibrium (expected) profits under the patent regime are given by:*

$$\Pi_1^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} (1-\theta)\left(\frac{a-2d_1+d_2}{3-\theta}\right)^2 + \theta\left(\frac{a-2d_1+c}{3}\right)^2 & \text{if} \quad d_2 < \hat{d}_2(d_1,\theta) \\ \left(\frac{a-2d_1+c}{3}\right)^2 & \text{if} \quad d_2 \geq \hat{d}_2(d_1,\theta) \end{cases}$$

$$\Pi_2^*(d_1,d_2,\theta) = \begin{cases} \frac{[a+(1-\theta)d_1-(2-\theta)d_2][(1-\theta)a-2d_2+(1+\theta)d_1]}{(3-\theta)^2} + \\ \theta\left(\frac{a-2d_1+d_2}{3-\theta}\right)^2 - \theta\left(\frac{a-2d_1+c}{3}\right)^2 & \text{if} \quad d_2 < \hat{d}_2(d_1,\theta) \\ \frac{(a-2c+d_1)(a+c+d_1-3d_2)}{9} & \text{if} \quad d_2 \geq \hat{d}_2(d_1,\theta) \end{cases}$$

Proof. Immediately derived from Anton & Yao (2007). ■

An imitation level which does not make firm 2 sufficiently efficient, i.e. $d_2 \geq \hat{d}_2(d_1,\theta)$, induces a specific form of infringement, named passive imitation in Anton & Yao (2007), which consists for firm 2 in i) imitating, but ii) maintaining a production level equal to that under no infringement so that the innovator suffers no loss of profits. The gain from imitation thus solely takes the form of reduced production costs. This possibility also depends on the patent strength and it is clear that as θ decreases toward zero, imitation is more likely to be aggressive as the damages which passive imitation seeks to avoid decrease toward zero. When the imitator is relatively efficient compared to the innovator, the prospect of lost profits are not sufficient to deter her from aggressive imitation and the usual form of imitation occurs.

3.3 Unpatented innovation

The competition stage outcome under secrecy are obtained by setting $\theta = 0$ in the equilibrium outcome under patent.

Lemma 3 *The equilibrium profits under the secrecy regime are given by:*

$$\Pi_1^*(d_1, d_2, 0) = \begin{cases} \left(\frac{a-2d_1+d_2}{3}\right)^2 & \textit{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \frac{a+d_1}{2}\right] \\ \left(\frac{a-d_1}{2}\right)^2 & \textit{if} \quad d_2 \in \left]\frac{a+d_1}{2}, c\right] \end{cases}$$

$$\Pi_2^*(d_1, d_2, 0) = \begin{cases} \left(\frac{a-2d_2+d_1}{3}\right)^2 & \textit{if} \quad d_2 \in \left[d_1, \frac{a+d_1}{2}\right] \\ 0 & \textit{if} \quad d_2 \in \left]\frac{a+d_1}{2}, c\right] \end{cases}$$

4 Imitation stage

In this stage, firm 2 sets $d_2 \in [d_1, c]$. This continuous variable can take three economically meaningful ranges of values. $d_2 = c$ corresponds to no imitation. Any other choice entails potential damages payment under the provisions defined earlier. $d_2 = d_1$ is a full imitation, while $d_2 \in]d_1, c[$ means partial imitation. The cost of imitation is a quadratic function of the extent of imitation $(c - d_2)$ to reflect an increasing difficulty, for instance, to do reverse-engineering on firm 1's process. Under our assumption, the potential imitator can always catch-up to d_1, no matter how large the innovation is, provided that he puts enough money in the imitation process. He can not, however, leap-frog, that is, end up with marginal cost lower than firm 1's.

Denote:

$$d_2^*(d_1, f, \theta) = \underset{d_2 \in [d_1, c]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = \Pi_2^*(d_1, d_2, \theta) - \frac{1}{2} f\,(c - d_2)^2$$

firm 2's optimal imitation level.

The following propositions describe the optimal choice of imitation.

4.1 Drastic innovations

Proposition 4 *Consider a drastic innovation. The equilibrium imitation level under the patent regime is given by:*

$$d_2^*(d_1, f, \theta) = \begin{cases} d_1 & \textit{if} \quad f < \tilde{f}(\theta, d_1) \\ c & \textit{otherwise} \end{cases}$$

where $\tilde{f}(\theta, d_1) = \frac{4-\theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2} \frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$.

Major (drastic) innovations drives two polar equilibrium solutions for imitation, either total or non-existent. For sufficiently small patent strength and low imitation cost, total imitation prevails. The intuition for the presence of imitation is immediate, as, absent imitation, the firm facing a drastic innovation is driven out of the market. Moreover, partial imitation would require that the marginal imitation cost for a decrease in d_2 is greater than the marginal benefit from the lower producing cost. It occurs only for small values of the innovation size and is ruled out when considering a sufficently large innovation.

As for the no-imitation equilibrium, when strong patents or high imitation costs are able to successfully prevent imitation, then the innovator maintains itself alone in the market. The no-imitation area is very large for a major innovation, which comes from the fact that the imitation cost amount is commensurate to the extent of imitation. Although imitation is a condition for staying in the market, it will have (in equilibrium) to be total imitation. As a result, major innovations are indeed costly to imitate, both because of larger extent of imitation and the total

imitation required, so that the imitation cost amount exeeds the potential market profits when staying in the market.

Proof. Denote $H(d_1, d_2, f, \theta)$ the expression of $G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ over $\left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]$ (outside this interval the expression of G_2 is given by the imitation cost $-\frac{1}{2}f\left(c-d_2\right)^2$). The function $d_2 \to H(d_1, d_2, f, \theta)$ reaches its unconstrained extremum at:

$$\tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) = \frac{2(4-\theta)\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right) - fc\left(3-\theta\right)^2}{2(4-\theta) - f(3-\theta)^2} = \frac{a(\theta^2 - 5\theta + 4) - d_1(\theta^2 - 3\theta - 4) - fc\left(3-\theta\right)^2}{2(4-\theta) - f(3-\theta)^2}$$

and

$$\frac{\partial^2 H}{\partial d_2^2} = \bar{f}\left(\theta\right) - f$$

where $\bar{f}\left(\theta\right) = \frac{2(4-\theta)}{(3-\theta)^2}$. At this stage we must distinguish between two cases:

Case 1 : $f > \bar{f}\left(\theta\right)$

In this case, the function $d_2 \to H(d_1, d_2, f, \theta)$ is (strictly) concave and reaches its unconstrained maximum at $d_2\left(d_1, f, \theta\right)$. Moreover, it is straightforward to show that

$$\tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) - c = \frac{\left(4-\theta\right)\left(\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right) - c\right)}{2(4-\theta) - f(3-\theta)^2}$$

Under the condition $d_1 < 2c - a$, the numerator is negative because $c > \frac{a+d_1}{2} \geq \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)$ and under the condition $f > \bar{f}\left(\theta\right)$, the denominator is negative. Hence, we get $\tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) > c$. Given the concavity of the quadratic function $d_2 \to H(d_1, d_2, f, \theta)$, the latter inequality allows to state that this function is increasing over $\left[d_1, c\right]$, which implies that the function $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is strictly increasing over $\left[d_1, \bar{d}_2\left(d_1, \theta\right)\right]$. Combining this with the strict increasingness of $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ over $\left[\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right), c\right]$ (since $G_2(d_1, d_2, f, \theta) = -\frac{1}{2}f\left(c-d_2\right)^2$ over this interval) en-

tails that $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is strictly increasing over $[d_1, c]$ and, consequently, reaches its maximum at $d_2^*(d_1, f, \theta) = c$ (no imitation).

Case 2 : $f < \bar{f}(\theta)$

In this case, the function $d_2 \to H(d_1, d_2, f, \theta)$ is convex. It follows that $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is a convex quadratic function over $\left[d_1, \bar{d}_2(d_1, \theta)\right]$. Therefore, it necessarily reaches its maximum over $\left[d_1, \bar{d}_2(d_1, \theta)\right]$ either at d_1 or at $\bar{d}_2(d_1, \theta)$. Combining this with the fact that $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is strictly increasing over $\left[\bar{d}_2(d_1, \theta), c\right]$, we get that this function reaches its maximum over the interval $[d_1, c]$ either at d_1 or at c, i.e. $d_2^*(d_1, f, \theta) \in \{d_1, c\}$. Thus, to determine the value of $d_2^*(d_1, f, \theta)$, we just need to compare

$$G_2(d_1, d_1, f, \theta) = \frac{4 - \theta(3-\theta)^2}{4(3-\theta)^2}(a - d_1)^2 - \frac{1}{2} f (c - d_1)^2$$

to $G_2(d_1, c, f, \theta) = 0$.

This comparison leads to the following result:

$$G_2(d_1, d_1, f, \theta) > 0 \Longleftrightarrow f < \tilde{f}(\theta, d_1) = \underbrace{\frac{4 - \theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2}}_{R(\theta)} \frac{(a - d_1)^2}{(c - d_1)^2}$$

which yields the stated result.

Moreover, since $R'(\theta) = \frac{8-(3-\theta)^3}{2(3-\theta)^3} < 0$ for any $\theta \in [0, 1[$, the threshold $\tilde{f}(\theta, d_1)$ is strictly decreasing in θ. Furthermore, it is straightforward to show that $\tilde{f}(\theta, d_1)$ is strictly increasing in d_1.

Let us now show that $\tilde{f}(\theta, d_1) \leq \bar{f}(\theta)$. We established that $\tilde{f}(\theta, d_1)$ is decreasing in θ which results in $\tilde{f}(\theta, d_1) \leq \tilde{f}(0, d_1) = \frac{2}{9}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$. Furthermore, $\frac{a-d_1}{c-d_1} < 2$ because $d_1 < 2c - a$, which

entails that $\tilde{f}(0,d_1) < \frac{8}{9} = \bar{f}(0)$. Given that $\bar{f}(0) \leq \bar{f}(\theta)$ (because $\bar{f}(\theta)$ is increasing) we get that $\tilde{f}(\theta,d_1) \leq \bar{f}(\theta)$. ■

The follower's optimal imitation level under the secrecy regime can be obtained by taking $\theta = 0$ and $f = 1$. Comparing $\tilde{f}(0,d_1)$ to 1, we get that $\tilde{f}(0,d_1) \leq \frac{2}{9}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2} \leq \frac{8}{9} < 1$ which implies that there is no imitation under the secrecy regime ($d_2^*(d_1,1,0) = c$) for drastic innovations.

4.2 Non-drastic innovations

4.2.1 Strong patent protection

Proposition 5 *Denote* $\tilde{\theta}(d_1) = \frac{3(c-d_1)}{a-2d_1+c}$, $\hat{d}_1 = \frac{5c-a}{4}$ *and* $\hat{f}(d_1) = \frac{a-2c+d_1}{3(c-d_1)}$ *and assume that* $\theta \geq \tilde{\theta}(d_1)$, *i.e. patent protection is strong enough. Then:*

- *If* $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$, *i.e. the innovation is minor*[1], *then imitation is full:* $d_2^*(d_1,f,\theta) = d_1$.

- *If* $d_1 \in \left[2c-a, \hat{d}_1\right]$, *i.e the innovation is medium-sized, then imitation is either full or partial:*

$$d_2^*(d_1,f) = \begin{cases} d_1 & si \quad f \leq \hat{f}(d_1) \\ c - \frac{1}{3f}(a-2c+d_1) & si \quad f > \hat{f}(d_1) \end{cases}$$

Proof. Note first that whenever $\theta \geq \tilde{\theta}(d_1) = \frac{3(c-d_1)}{a-2d_1+c}$ the condition $d_2 < \hat{d}_2(d_1,\theta)$ is fulfilled because we assumed that the imitator's cost cannot be below the innovator's cost, i.e. $d_2 \geq d_1$.

[1] Let us compare the thereshold $\hat{d}_1 = \frac{5c-a}{4}$ we use to define "minor innovations" under the LP rule to its equivalent in Encaoua and Lefouili (2005) for the UE rule, that is, $\frac{9c-4a}{5}$. From $c < a$ it follows that:

$$\frac{5c-a}{4} - \frac{9c-4a}{5} = \frac{11(a-c)}{20} > 0$$

Thus the notion of minor innovation as defined here is more erestrictive than that in Encaoua and Lefouili (2005).

Therefore, the follower's net profit is given by:

$$\begin{aligned} G_2(d_1, d_2, f, \theta) &= \Pi_2^*(d_1, d_2, \theta) - \frac{1}{2} f\,(c - d_2)^2 \\ &= \frac{(a - 2c + d_1)\,(a + c + d_1 - 3d_2)}{9} - \frac{1}{2} f\,(c - d_2)^2 \end{aligned}$$

The concave function $d_2 \to \frac{(a-2c+d_1)(a+c+d_1-3d_2)}{9} - \frac{1}{2} f\,(c - d_2)^2$ reaches its unconstrained maximum at:

$$\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) = c - \frac{1}{3f}\,(a - 2c + d_1)$$

whenever $f > 0$ (the particular case $f = 0$ is a limit case in which the function is decreasing over R). Given the shape of the function $d_2 \to \frac{(a-2c+d_1)(a+c+d_1-3d_2)}{9} - \frac{1}{2} f\,(c - d_2)^2$, determining $d_2^*(d_1, f)$ boils down to comparing $\tilde{d}_2(d_1, f)$ and d_1. Specifically,

- If $\tilde{d}_2(d_1, f) \leq d_1$ then the function $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is decreasing over $[d_1, c]$ and thus reaches its maximum over $[d_1, c]$ at d_1.

- If $\tilde{d}_2(d_1, f) > d_1$ then $d_2 \to G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ reaches its maximum over $[d_1, c]$ at $\tilde{d}_2(d_1, f)$.

Since

$$\tilde{d}_2(d_1, f) \leq d_1 \Longleftrightarrow f \leq \hat{f}(d_1) = \frac{a - 2c + d_1}{3(c - d_1)}$$

we get that:

$$d_2^*(d_1, f) = \underset{d_2 \in [d_1, c]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = \begin{cases} d_1 & \text{si} \quad f \leq \hat{f}(d_1) \\ c - \frac{1}{3f}\,(a - 2c + d_1) & \text{si} \quad f > \hat{f}(d_1) \end{cases}$$

Note that for some values of d_1 the threshold $\hat{f}(d_1)$ is greater than 1 which implies that the condition $f > \hat{f}(d_1)$ cannot be satisfied. The value $\hat{d}_1$ above which $\hat{f}(d_1) \geq 1$ is a such that

$\hat{f}(\hat{d}_1) = 1$, which yields:

$$\hat{d}_1 = \frac{5c - a}{4} \in]2c - a, c]$$

We conclude that:

- if $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$ then $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) = d_1$.

- if $d_1 \in \left[2c - a, \hat{d}_1\right[$ then:

$$d_2^*(d_1, f) = \begin{cases} d_1 & \text{si} \quad f \leq \hat{f}(d_1) \\ c - \frac{1}{3f}(a - 2c + d_1) & \text{si} \quad f > \hat{f}(d_1) \end{cases}$$

■

4.2.2 Weak patent protection

Minor innovations

Proposition 6 *Assume that assume that $\theta < \tilde{\theta}(d_1)$,i.e patent protection is weak enough, and consider a minor innovation, i.e. $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$ .Then the follower fully imitates the innovator, i.e. $d_2^*(d_1, f, \theta) = d_1$*

Proof. In this case, the function $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is strictly decreasing over $\left[\hat{d}_2(d_1, \theta), c\right]$, which implies that the optimal passive imitation level $\underset{d_2 \in \left[\hat{d}_2(d_1,\theta), c\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is $\hat{d}_2(d_1, \theta)$, which entails that:

$$\underset{d_2 \in [d_1, c]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = \underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta)$$

We need to distinguish between two cases:

Case 1: $f < \bar{f}(\theta)$

In this case, the function $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is strictly convex over $\left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]$ (Cf the analysis of drastic innovations), which implies that: $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) \in \left\{d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right\}$. To determine the bound where the maximum is reached, notice that $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) = c + \frac{2(4-\theta)\left(\bar{d}_2(d_1,\theta)-c\right)}{2(4-\theta)-f(3-\theta)^2}$ which is the solution of the FOC $\frac{\partial G_2}{\partial d_2} = 0$, satisfies $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) > c$. Indeed, under the assumption $f < \bar{f}(\theta)$, we have:

$$\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) > c \Longleftrightarrow \bar{d}_2(d_1, \theta) > c \Longleftrightarrow \theta < \bar{\theta}(d_1) = \frac{a + d_1 - 2c}{a - d_1}$$

and we readily check that : (i) $\bar{\theta}(\hat{d}_1) = \frac{3}{5} > \tilde{\theta}\left(\hat{d}_1\right) = \frac{1}{2}$ and (ii) $\bar{\theta}(.)$ is increasing whereas $\tilde{\theta}(.)$ est decreasing, which implies that $\tilde{\theta}(d_1) < \bar{\theta}(d_1)$ for all $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$. Thus , whenever the conditions $\theta < \tilde{\theta}(d_1)$ and $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$ hold, we have: $\theta < \bar{\theta}(d_1)$, which yields $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) > c$. Therefore, the (convex) function $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is decreasing over $\left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]$. Hence, $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = d_1$ and consequently: $d_2^*(d_1, f, \theta) = d_1$.

Case 2: $f > \bar{f}(\theta)$

In this case, the function $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is concave over $\left[\hat{d}_2(d_1, \theta), c\right]$. To establish that $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = d_1$, it is sufficient to show that $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) \leq d_1$. Indeed, if the latter is satisfied then the concavity of $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ implies that it is decreasing over $\left[\hat{d}_2(d_1, \theta), c\right]$. It is straightforward to show :

$$\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) \leq d_1 \Longleftrightarrow f \leq \check{f}(d_1, \theta) = \bar{f}(\theta)\left(1 + \frac{\bar{d}_2(d_1, \theta) - c}{c - d_1}\right)$$

Note first that $\bar{d}_2(d_1, \theta) > c$ (this has been previously shown) implies that $\check{f}(d_1, \theta) \geq \bar{f}(\theta)$. Furthermore, $\check{f}(d_1, \theta) = \frac{(4-\theta)(1-\theta)}{(3-\theta)^2} \cdot \frac{a-d_1}{c-d_1}$ is decreasing in θ. Hence, for any $\theta \leq \bar{\theta} = 2 - \sqrt{3}$, we

have:

$$\check{f}(d_1,\theta) \geq \check{f}(d_1, 2-\sqrt{3}) \geq \bar{f}\left(2-\sqrt{3}\right) = 1$$

Therefore, the inequality $f \leq \check{f}(d_1,\theta)$ is always satisfied in this case (since $f \leq 1$). This establishes that $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1,d_2,f,\theta) = d_1$ and consequently: $d_2^*(d_1,f,\theta) = d_1$. ■

Corollary 7 *Minor innovations, i.e.* $d_1 \in \left[\hat{d}_1, c\right]$, *are fully imitated when kept secret.*

Proof. Secrecy protection is analytically equivalent to patent protection such that $\theta = 0$ and $f = 1$. Therefore the result follows from the previous proposition. ■

Medium-sized innovations Let us first determine the optimal level of passive imitation, i.e. $\underset{d_2 \in \left[\hat{d}_2(d_1,\theta), c\right]}{\arg\max} G_2(d_1,d_2,f,\theta)$. Recall that $d_2 \longrightarrow G_2(d_1,d_2,f,\theta)$ is concave over $\left[\hat{d}_2(d_1,\theta), c\right]$ and $\frac{\partial G_2}{\partial d_2} = 0 \Longleftrightarrow d_2 = \tilde{d}_2(d_1,f) < c$. Therefore, the optimal passive imitation level is $d_2 = \hat{d}_2(d_1,\theta)$ if $\tilde{d}_2(d_1,f) < \hat{d}_2(d_1,\theta)$, and $d_2 = \tilde{d}_2(d_1,f,\theta)$ if $\tilde{d}_2(d_1,f) \geq \hat{d}_2(d_1,\theta)$. The comparison between $\tilde{d}_2(d_1,f)$ and $\hat{d}_2(d_1,\theta)$ gives :

$$\tilde{d}_2(d_1,f) < \hat{d}_2(d_1,\theta) \Longleftrightarrow f < f_0(\theta,d_1) = \frac{\theta_0(d_1)}{\theta}$$

where $\theta_0(d_1) = \frac{a-2c+d_1}{a-2d_1+c}$. Thus,

$$\underset{d_2 \in \left[\hat{d}_2(d_1,\theta), c\right]}{\arg\max} G_2(d_1,d_2,f,\theta) = \begin{cases} \hat{d}_2(d_1,\theta) & \text{if} \quad f < f_0(\theta,d_1) \\ \tilde{d}_2(d_1,f) & \text{if} \quad f \geq f_0(\theta,d_1) \end{cases}$$

Let us compare $\theta_0(d_1)$ and $\tilde{\theta}(d_1)$. Note that $\theta_0(d_1)$ is decreasing in d_1 and $\theta_0(\hat{d}_1) = \frac{1}{2}$. Also recall that $\tilde{\theta}(d_1)$ is increasing in d_1 and $\tilde{\theta}\left(\hat{d}_1\right) = \frac{1}{2}$. Therefore, $\theta_0(d_1) < \tilde{\theta}(d_1)$ for all $d_1 \in \left[2c-a, \hat{d}_1\right[$. We also need to compare $\theta_0(d_1)$ à $\bar{\theta}(d_1)$. We find that $\theta_0(d_1) < \bar{\theta}(d_1)$ for all $d_1 \in \left[2c-a, \hat{d}_1\right[$.

Let us now determine the optimal level of active imitation, i.e. $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} \; G_2(d_1, d_2, f, \theta)$.

Note first that unlike the case of minor innovations, the threshold $\bar{\theta}(d_1)$ may be below $\tilde{\theta}(d_1)$. Denote $\tilde{d}_1$ the unique solution to the equation $\bar{\theta}(d_1) = \tilde{\theta}(d_1)$ over $\left[2c - a, \hat{d}_1\right[$. To show the existence and uniqueness of such solution, notice that the continuous function $d_1 \to \bar{\theta}(d_1) - \tilde{\theta}(d_1)$ is strictly incresaing, that its value at $2c - a$ is negative and its value at $\hat{d}_1$ is positive. Moreover:

$$\bar{\theta}(d_1) \geq \tilde{\theta}(d_1) \Leftrightarrow d_1 \geq \tilde{d}_1$$

Suppose now that $d_1 \in \left[\tilde{d}_1, \hat{d}_1\right[$. Under this assumption, the analysis for the case of minor innovations applies et gives:

$$\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} \; G_2(d_1, d_2, f, \theta) = d_1$$

From (1) et (2) we conclude that $\underset{d_2 \in [d_1, c]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = d_1$ if $f < f_0(\theta, d_1)$ and $\underset{d_2 \in [d_1, c]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) \in \left\{d_1, \tilde{d}_2(d_1, f)\right\}$ if $f \geq f_0(\theta, d_1)$. Thus, to determine the optimal imitation level , we need to compare:

$$G_2(d_1, d_1, f, \theta) = \frac{4 - \theta(3-\theta)^2}{4(3-\theta)^2}(a - d_1)^2 - \frac{1}{2} f (c - d_1)^2$$

and

$$G_2(d_1, \tilde{d}_2(d_1, f), f, \theta) = \frac{(a - 2c + d_1)^2}{9}\left(1 + \frac{1}{2f}\right)$$

Lemma 8 *Denote $\theta_0(d_1) = \frac{a-2c+d_1}{a-2d_1+c}$ and consider the interval $\left[\theta_0(d_1), \tilde{\theta}(d_1)\right]$. There exists a frontier $f = \mathring{f}(\theta, d_1)$ decreasing in θ such that $G_2(d_1, \tilde{d}_2(d_1, f), f, \theta) - G_2(d_1, d_1, f, \theta) > 0 \Longleftrightarrow f > \mathring{f}(d_1, \theta)$. Moreover, $\mathring{f}(\theta, \tilde{\theta}(d_1)) = \hat{f}(d_1)$.*

Proof. It is straightforward to show that:

$$\frac{\partial\left(G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)\right)}{\partial f}=\frac{1}{2}\left[(c-d_1)^2-\left(\frac{a-2c+d_1}{3f}\right)^2\right]$$

and since $f_0(\theta,d_1)\geq f_0(\tilde{\theta}\left(d_1\right),d_1)=\hat{f}(d_1)$ for $\theta\leq\tilde{\theta}\left(d_1\right)$ we conclude that if $f\geq f_0(\theta,d_1)$ then $f\geq\hat{f}(d_1)$ which yields $\tilde{d}_2(d_1,f)=c-\frac{1}{3f}\left(a-2c+d_1\right)\geq d_1$. This can be rewritten as $c-d_1\geq\frac{a-2c+d_1}{3f}$, which implies that $\frac{\partial\left(G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)\right)}{\partial f}\geq 0$. Hence, the function $f\longrightarrow G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)$ is increasing over $[f_0(\theta,d_1),1]$ (for this interval to be well-defined it must hold that $f_0(\theta,d_1)\leq 1$ which is the case if and only if $\theta\geq\theta_0\left(d_1\right)$). Furthermore, the function $\theta\longrightarrow\frac{4-\theta(3-\theta)^2}{4(3-\theta)^2}$ is decreasing (we have already established this). Then the function $\theta\longrightarrow G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)$ is decreasing.

Note that $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)$ is strictly positive for $(\theta,f)=\left(\tilde{\theta}\left(d_1\right),1\right)$. The reason is that at that point we have $\hat{d}_2(d_1,\theta)=d_1$ and we know that $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\tilde{\theta}\left(d_1\right))>G_2(d_1,\hat{d}_2(d_1,\theta),f,\tilde{\theta}\left(d_1\right))$ since $\tilde{d}_2(d_1,f)=\underset{d_2\in\left[\hat{d}_2(d_1,\theta),c\right]}{\arg\max}\ G_2(d_1,d_2,f,\tilde{\theta}\left(d_1\right))$, which implies that $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\tilde{\theta}\left(d_1\right))>G_2(d_1,d_1,f,\tilde{\theta}\left(d_1\right))$. Furthermore, for all $\theta\in\left]\theta_0\left(d_1\right),\tilde{\theta}\left(d_1\right)\right]$, the function $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)$ is negative at point $(\theta,f_0(\theta,d_1))$. A continuity and strict monotonicity argument yields the existence and unicity of the frontier $f=\mathring{f}(\theta,d_1)$. Specifically, we apply the intermediate value theorem to the function $t\longrightarrow G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f\left(t,\theta,d_1\right),f\left(t,\theta,d_1\right),\theta)-G_2(d_1,d_1,f\left(t,\theta,d_1\right),\theta)$ where $t\longrightarrow f\left(t,\theta,d_1\right)=\mathring{f}(\theta,d_1)+\frac{1-\mathring{f}(\theta,d_1)}{\tilde{\theta}(d_1)-\theta}t$ is a parametrization of the straight line that links the points $(\theta,f_0(\theta,d_1))$ and $\left(\tilde{\theta}\left(d_1\right),1\right)$. The fact that $\mathring{f}(\theta,d_1)$, which is the solution in f to the equation $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)=0$, is decreasing in θ follows from the decreasingness of $(\theta,f)\longrightarrow G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-G_2(d_1,d_1,f,\theta)$ with respect to both its arguments and can be easily established by differentiating the former equation. Finally, to show that $\mathring{f}(\theta,\tilde{\theta}\left(d_1\right))=f_0(\tilde{\theta}\left(d_1\right),d_1)=\hat{f}(d_1)$, note that $G_2(d_1,\tilde{d}_2(d_1,f),f,\theta)-$

$G_2(d_1, d_1, f, \theta) = 0$ at $(\theta, f) = \left(\tilde{\theta}\left(d_1\right), f_0(\tilde{\theta}\left(d_1\right), d_1)\right)$ because $\tilde{d}_2(d_1, f_0(\tilde{\theta}\left(d_1\right), d_1) = \tilde{d}_2(d_1, \hat{f}(d_1), d_1) = d_1$. ■

Thus, we get the following result:

Proposition 9 *Assume that $\theta < \tilde{\theta}\left(d_1\right)$. A medium-sized innovation such that $d_1 \in \left[\tilde{d}_1, \hat{d}_1\right[$ is partially imitated when patented if $\theta_0\left(d_1\right) < \theta \leq \tilde{\theta}\left(d_1\right)$ and $f > \mathring{f}(\theta, d_1)$. Otherwise, the innovation is fully imitated when patented.*

Corollary 10 *A medium-sized innovation such that $d_1 \in \left[\tilde{d}_1, \hat{d}_1\right[$ is fully imitated when kept secret.*

Assume now that $d_1 \in \left[2c - a, \tilde{d}_1\right[$.

Two cases have to be distinguished according to whether $\bar{\theta}\left(d_1\right) \geq 2 - \sqrt{3}$ or $\bar{\theta}\left(d_1\right) < 2 - \sqrt{3}$, that is, whether $d_1 \geq \mathring{d}_1$ or $d_1 < \mathring{d}_1$ where $\mathring{d}_1 = \frac{(1-\sqrt{3})a+(4-\sqrt{3})c}{5-2\sqrt{3}}$

Subcase 1: $d_1 \in \left[\mathring{d}_1, \tilde{d}_1\right[$

In this subcase, the previous analysis remains valid if $f \geq \bar{f}(\theta)$, that is, when the function $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ is concave over $\left[\hat{d}_2(d_1, \theta), c\right]$: In this region, the innovation is fully imitated.

Suppose now that $f < \bar{f}(\theta)$. If $\theta \leq \bar{\theta}\left(d_1\right)$ the previous analysis still applies. However, it is no longer valid if $\theta > \bar{\theta}\left(d_1\right)$ because under this condition the inequality $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) > c$ does not hold anymore. Let us assume in what follows that $\theta > \bar{\theta}\left(d_1\right)$.From the convexity of $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ over $\left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]$, it follows that $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) \in \left\{d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right\}$. To distinguish between the possible two scenarios, we use the following equivalence relationship which follows from the symmetry of a parabol with respect to the vertical axis that goes through

its miminum:

$$G_2(d_1, d_2, f, \theta) < G_2(d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta), f, \theta) \Longleftrightarrow \frac{d_1 + \hat{d}_2(d_1, \theta)}{2} < \tilde{d}_2(d_1, f, \theta)$$

which can be rewritten as:

$$G_2(d_1, d_2, f, \theta) > G_2(d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta), f, \theta) \Longleftrightarrow f < \bar{f}(\theta)\left(1 - 6\frac{c - \bar{d}_2(d_1, \theta)}{\theta a + (3+\theta)c - (3+2\theta)d_1}\right)$$

Denote $Z := \left\{(\theta, f) \ / \ \bar{\theta}(d_1) < \theta \leq \tilde{\theta}(d_1) \text{ et } f > \bar{f}(\theta)\left(1 - 6\frac{c-\bar{d}_2(d_1,\theta)}{\theta a+(3+\theta)c-(3+2\theta)d_1}\right)\right\}$,

$Y := \left\{(\theta, f) \ / \ \theta \leq \tilde{\theta}(d_1) \text{ et } f \geq f_0(\theta, d_1)\right\}$ and $X = \left\{(\theta, f) \ / \ \theta \leq \tilde{\theta}(d_1) \text{ et } f \geq \mathring{f}(\theta, d_1)\right\}$. Considet the subset $Z \cap Y$. We know from what preceedes that $G_2(d_1, d_2, f, \theta) \leq G_2(d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta), f, \theta)$ over Z and that $G_2(d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta), f, \theta) \leq G_2(d_1, \tilde{d}_2(d_1, f), f, \theta)$ over Y wich implies that $G_2(d_1, d_2, f, \theta) \leq G_2(d_1, \tilde{d}_2(d_1, f), f, \theta)$ over $Z \cap Y$; hence $Z \cap Y \subset X$. Thus, $Z \cap Y$ is included in the set X the frontier of which is included in the set Y. Given the (obvious) connexity of Z, it follows that $Z = Z \cap Y \subset X$. We conclude that the frontier $f = \bar{f}(\theta)\left(1 - 6\frac{c-\bar{d}_2(d_1,\theta)}{\theta a+(3+\theta)c-(3+2\theta)d_1}\right)$ is irrelevant: the results of the case $d_1 \in \left[\tilde{d}_1, \hat{d}_1\right[$ under the condition $f < f(\theta)$ remain valid when $d_1 \in \left[\mathring{d}_1, \tilde{d}_1\right[$

Subcase 2: $d_1 \in \left[2c - a, \mathring{d}_1\right[$

The analysis of imitation under the condition $f < \bar{f}(\theta)$ remains unchanged with respect to the subcase $d_1 \in \left[\mathring{d}_1, \tilde{d}_1\right[$. However, the results obtained under $f \geq f(\theta)$ are no longer valid. Suppose hereafter that $f \geq f(\theta)$.

Note that $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta) \geq c$ if $\theta \geq \bar{\theta}(d_1)$ which, combined with the concavity of $d_2 \longrightarrow G_2(d_1, d_2, f, \theta)$ sur $\left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]$, implies that: $\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1,\theta)\right]}{\arg\max} G_2(d_1, d_2, f, \theta) = \hat{d}_2(d_1, \theta)$.

Assume hereafter that $\theta < \bar{\theta}(d_1)$. We need to compare $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta)$ with d_1 and $\hat{d}_2(d_1, \theta)$. The

comparison between $\tilde{d}_2(d_1, f, \theta)$ and d_1 has been performed previously: we esatblished that:

$$\tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) \leq d_1 \Longleftrightarrow f \leq \check{f}(d_1, \theta) = \bar{f}\left(\theta\right)\left(1 + \frac{\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right) - c}{c - d_1}\right)$$

The fact that $\bar{\theta}\left(d_1\right) < 2 - \sqrt{3}$ implies that $f = \check{f}(d_1, \theta)$ (which is decreasing in θ et increasing in d_1) becomes a relevant frontier which meets the frontier $f = \bar{f}(\theta)$ at the point $\theta = \bar{\theta}\left(d_1\right)$. Furthermore, it is straightforward to show that:

$$\tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) \leq \hat{d}_2(d_1, \theta) \Longleftrightarrow f \leq f'(d_1, \theta) = \bar{f}\left(\theta\right)\left(1 + \frac{\bar{d}_2\left(d_1, \theta\right) - c}{c - \hat{d}_2(d_1, \theta)}\right)$$

The latter frontier is decreasing in θ and meets the frontier $f = \bar{f}(\theta)$ at the point $\theta = \bar{\theta}\left(d_1\right)$. In a nutshell, if the condition $f \geq f(\theta)$ holds then:

$$\underset{d_2 \in \left[d_1, \hat{d}_2(d_1, \theta)\right]}{\arg\max} \; G_2(d_1, d_2, f, \theta) = \begin{cases} d_1 & \text{if} \quad f \leq \check{f}(d_1, \theta) \\ \tilde{d}_2\left(d_1, f, \theta\right) & \text{if} \quad \check{f}(d_1, \theta) < f \leq f'(d_1, \theta) \\ \hat{d}_2(d_1, \theta) & \text{if} \quad f > f'(d_1, \theta) \end{cases}$$

4.3 Unpatented innovations

The optimal imitation decision under the secrecy regime is derived from that under the patent regime by considering the case $f = 1$ and $\theta = 0$.

Proposition 11 *Under the secrecy regime, the follower's optimal imitation strategy* $d_1 \rightarrow d_2^S(d_1)$ *is such that:*

- If $d_1 \leq 2c - a$ *then the follower does not imitate* ($d_2^S(d_1) = c$) *and is driven out of the market.*

- *If* $2c - a < d_1 < \frac{9c-4a}{5}$ *then the follower partially imitates* ($d_2^S(d_1) = 9c - 4(a + d_1) < d_1$).

- *If* $\frac{9c-4a}{5} \leq d_1 \leq c$ *then the follower fully imitates* ($d_2^S(d_1) = d_1$).

Proof. See Encaoua and Lefouili (2005) ■

5 Protection stage

We now determine what protection regime, patent or secrecy, the innovator will choose when it has successfully undertaken its R&D and has obtained an innovative technology. This is determined by comparing its expected profit derived from patenting the innovation $\Pi_1^P(d_1, d_2^P(d_1, f, \theta), \theta)$ to its expected profit when keeping the innovation secret $\Pi_1^S(d_1, d_2^S(d_1))$ given its anticipation of the imitation behavior under each protection regime.

5.1 Drastic innovations

Proposition 12 *When the innovation is drastic, the innovator is indifferent between the patent regime and the secrecy regime if* $f \geq \tilde{f}(\theta, d_1)$ *while the secrecy regime is strictly preferred if* $f < \tilde{f}(\theta, d_1)$.

Proof. If $f \geq \tilde{f}(\theta, d_1)$, the innovation is not imitated at all under neither the patent regime nor the secrecy regime. Therefore, the innovator gets the monopoly profit under both regimes. If $f < \tilde{f}(\theta, d_1)$, the innovation is fully imitated under the patent regime which results in an expected profit $\Pi_1^*(d_1, d_1, \theta) = \left(\frac{1-\theta}{(3-\theta)^2} + \frac{\theta}{4}\right)(a - d_1)^2$ for the innovator. Since $\Pi_1^*(d_1, d_1, \theta)$ is less than the monopoly profit the innovator makes under the secrecy regime (because it is not imitated), the latter is strictly preferred. ■

5.2 Non-drastic innovations

5.2.1 Strong patent protection

If patent protection is sufficiently strong, i.e. $\theta \geq \tilde{\theta}(d_1)$, then only passive imitation is optimal when the innovation is patented. Since no damages are paid under the patent regime when imitation is passive it is sufficient to compare the imitation levels under each protection regime to derive the optimal regime from the innovator's perspective. Denoting $d_2^P(d_{1,}f)$ (resp. $d_2^S(d_1)$) the imitator's marginal cost, we have:

$$d_2^P(d_{1,}f) = \begin{cases} d_1 & \text{if} \quad f \leq \hat{f}(d_1) \\ c - \frac{1}{3}(a - 2c + d_1) & \text{if} \quad f > \hat{f}(d_1) \end{cases}$$

where $\hat{f}(d_1) = \frac{a-2c+d_1}{3(c-d_1)}$

and:

$$d_2^S(d_1) = \begin{cases} 9c - 4(a + d_1) & \text{if} \quad d_1 \in \left]2c - a, \frac{9c-4a}{5}\right[\\ d_1 & \text{if} \quad d_1 > \frac{9c-4a}{5} \end{cases}$$

Proposition 13 *Assume that* $\theta \geq \tilde{\theta}(d_1)$.

a- If $d_1 \in \left[\frac{5c-a}{4}, c\right]$ *then the innovator is indifferent between the two protection regimes.*

b- If $d_1 \in \left[\frac{9c-4a}{5}, \frac{5c-a}{4}\right[$ *then the innovator is indifferent between the two protection regimes if* $f \leq \hat{f}(d_1)$ *and strictly prefers patenting if* $f > \hat{f}(d_1)$

c- If $d_1 \in \left]2c - a, \frac{9c-4a}{5}\right[$ *then the innovator strictly prefers patenting if* $f > \max\left(\frac{1}{12}, \hat{f}(d_1)\right)$ *and striclty prefers secrecy if* $f < \max\left(\frac{1}{12}, \hat{f}(d_1)\right)$

Proof. If $d_1 \in \left[\frac{5c-a}{4}, c\right]$ then from Proposition (?) and (?) we know that the innovation will

be fully imitated under both protection regimes, which makes the innovator indifferent between them (result a.)

If $d_1 \in \left[\frac{9c-4a}{5}, \frac{5c-a}{4}\right[$ then the innovation is always fully imitated when kept secret while it is fully imitated under the patent regime if and only if $f \leq \hat{f}(d_1)$ which yields result b.

Consider $d_1 \in \left]2c-a, \frac{9c-4a}{5}\right[$. Then the innovation is fully imitated when patented if $f \leq \hat{f}(d_1)$ while it is partially imitated under secrecy, which makes secrecy more attractive to the innovator. If $f > \hat{f}(d_1)$ then the innovation is partially imitated under both regimes and it is straightforward to show that $d_2^S(d_1) = 9c - 4(a + d_1)$ is (weakly) greater than $d_2^P(d_{1,}f) = c - \frac{1}{3}(a - 2c + d_1)$ if and only if $f \leq \frac{1}{12}$. ■

5.2.2 Weak patent protection

Assume now that $\theta < \tilde{\theta}(d_1)$. In this case passive as well as aggressive imitation may be optimal as previously shown. If the follower imitates passively then the results in Proposition (?) hold. However, if imitation takes the aggressive form then the innovator may prefer to choose the patent regime even if it yields more imitation than the secrecy regime because she can expect some infringement damages when the innovation is patented.

Minor innovations

Proposition 14 *The innovator always finds it optimal to patent an innovation such that* $d_1 \in \left]\frac{9c-4a}{5}, c\right[$.

Proof. The result follows immediately from the fact that an innovation such that $d_1 \in \left]\frac{9c-4a}{5}, c\right[$ is fully imitated under the secrecy regime. ■

Medium-sized innovations To be completed (we still need to investigate the parameter space where the optimal imitation regime is the aggressive one).

6 Comparison between UE and LP

6.1 Drastic innovations

Proposition 15 *When the innovation is drastic and patented, the LP rule protects against imitation better than the UE rule. More specifically,*

- *If* $f < \frac{4-\theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$ *then the innovation is fully imitated under both rules*

- *If* $\frac{4-\theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2} < f < \frac{2(1-\theta)}{(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$ *then the innovation is fully imitated under the UE rule while it is not imitated at all under the LP rule*

- *If* $f > \frac{2(1-\theta)}{(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$ *then the innovation is not imitated at all under both the UE rule and the LP rule.*

Proof. This proposition is derived from the results in proposition (?) in Encaoua and Lefouili (2005). The only thing we need to check is that the frontier $\frac{4-\theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$ under LP is below the frontier $\frac{2(1-\theta)}{(3-\theta)^2}\frac{(a-d_1)^2}{(c-d_1)^2}$ under UE, which holds because $\frac{4-\theta(3-\theta)^2}{2(3-\theta)^2} - \frac{2(1-\theta)}{(3-\theta)^2} = \frac{\theta\left[4-(3-\theta)^2\right]}{(3-\theta)^2} \leq 0$.

■

The latter finding is in line with the results in Choi (2009) where patenting is the only way to protect intellectual property. However, it needs to be mitigated in a setting, as ours, where the innovation can be protected through secrecy. The reason is that for drastic innovations, the innovator always finds it (weakly) optimal to keep her innovation secret. Thus, in our setting, the following result holds:

Proposition 16 *If the innovation is drastic, the innovator's equilibrium profits are not affected by the damage rule.*

6.2 Nondrastic innovations

6.2.1 Minor innovations

Assume that $d_1 \in \left[\frac{5c-a}{4}, c\right]$. Such an innovation is fully imitated under the secrecy regime, which makes it optimal for the innovator to patent it - whatever the damage rule used by courts. Such an innovation is also fully imitated under the LP rule if patented. We consider the subset of parameters such that $f \leq \min\left(\alpha\left(d_1, \theta\right), \beta\left(d_1, \theta\right)\right)$ in which the innovation is fully imitated under the UE rule as well (see Encaoua and Lefouili 2005).

Let us first examine the case $\theta \geq \tilde{\theta}\left(d_1\right)$ (which ensures that passive imitation occurs under the LP rule). Under such conditions, the innovator's equilibrium profits under UE and LP are respectively given by:

$$\Pi_1^{UE}\left(\theta\right) = \left(\frac{a - d_1}{3 - \theta}\right)^2$$

$$\Pi_1^{LP} = \left(\frac{a - 2d_1 + c}{3}\right)^2$$

One can easily check that for $\theta > \tilde{\theta}\left(d_1\right)$:

$$\Pi_1^{UE}\left(\theta\right) > \Pi_1^{LP}$$

Thus, the UE rule allows the innovator to get more expected profits than the LP rule. The main reason for this result is that passive imitation, resulting in no infringement damages under the LP rule, cannot occur when the UE rule is used. Hence, the patent holder can expect some damages

under the UE rule while it cannot under the LP rule. This fundamuntal difference between the UE and the LP rule when patent protection is strong, i.e. $\theta \geq \tilde{\theta}(d_1)$, has two consequences on the innovator's profits. First, the patent holder can expect some damages under the UE rule while it cannot under the LP rule (for the subset of parameters considered here). Second, damages are not a pure transfer from the imitator to the innovator: they also affect the firms' strategic decisions in the competition stage in a collusive way, thus leading to higher *market profits* as well, which reinforces the first effect.

Let us now investigate the case $\theta < \tilde{\theta}(d_1)$, under which the follower finds it optimal to fully imitate even though this will result in the payment of infringement damages if the patent is found valid. The innovator's equilibrium expected profits under the LP rule in this case are:

$$\Pi_1^{LP}(\theta) = (1-\theta)\left(\frac{a-d_1}{3-\theta}\right)^2 + \theta\left(\frac{a-2d_1+c}{3}\right)^2$$

It is straightforward to show that for $\theta < \tilde{\theta}(d_1)$:

$$\Pi_1^{LP}(\theta) > \Pi_1^{UE}(\theta)$$

Thus, if the (full) imitation of a minor innovation under LP takes an aggressive form, which happens if patent protection is not too strong, the innovator's equilibrium is higher under the LP rule than under the UE rule. The reason behind this result is that both rules result in the same market profits for the innovator (when the follower fully imitates) but the damages are higher under the LP rule than under the UE rule as industry duopoly profits (under Cournot competition) are lower than monopoly profits.

The following proposition summarizes our findings:

Proposition 17 *Consider a minor innovation, i.e. such that* $d_1 \in \left[\frac{5c-a}{4}, c\right]$ *and assume that disclosing the innovation significantly lowers imitation costs, i.e.* $f \leq \min\left(\alpha\left(d_1, \theta\right), \beta\left(d_1, \theta\right)\right)$. *The innovator's equilibrium profits are higher (resp. lower) under the UE rule than under the LP rule if* $\theta > \tilde{\theta}\left(d_1\right)$ *(resp.* $\theta < \tilde{\theta}\left(d_1\right)$*).*

7 Conclusion

In this paper, we studied how the process of patent enforcement can impact imitation deterrence and, in turn, the innovator's decision to apply for patent or to prefer secrecy. The main two features of the legal framework which we model are the probabilistic nature of patents, whose validity is decided by a court at the time of enforcement, and the use of the lost profits damages rule.

For drastic innovations, absent the possibility of secrecy we find that the lost profits rule dominates the unfair enrichment rule. Moreover, the innovator is indifferent between patenting and secrecy when the latter protection is allowed.

For non-drastic innovations, the lost profits rule has a positive effect on competition when property rights are strong and imitation costs are low. In this case, under unfair enrichment, the collusive effect of the damages rule is increasing the join profits of the two firms, which the innovator captures, as the damages rule creates a situation smiliar to a partial ownership of the infringer. This effect is known "patent sharks", meaning that the innovator has an interest in inducing infrigement of its own patent. Under lost profit however, the opposite is true: so as to limit the lost profits of the innovator, upon which the infringement damages are based, the infringer internalizes the effet of its behavior on the innovator's profit.

Our paper shed light on the effect on competition and firms behavior of the lost profit damages rule in the context of probabilistic intellectual property rights, and contributes to a better understanding of the impact of the growing number of imperfect patents circulating in the economy. An empirical analysis, for instance relating the legal doctrine used in a country with anti-competitive behaviors and patent litigation, is left for future research.

References

Anton, James J. and Yao, Dennis A. Finding lost profits : An equilibrium analysis of patent infringement damages. The Journal of Law, Economics, & Organization, 23(1) :186–207, April 2007.

Bar-Gill, Oren and Parchomovsky, Gideon. The value of giving away secrets. Virginia Law Review, 89(8) :1857–1895, Dec 2003.

Choi, Jay Pil. Alternative damage rules and probabilistic intellectual property rights: Unjust enrichment, lost profits, and reasonable royalty remedies. Information Economics and Policy, 21:145–157, 2009.

Encaoua, David, and Lefouili, Yassine. Choosing Intellectual Protection: Imitation, Patent Strength and Licensing. Annales d'Economie et de Statistique, 79-80, 241-271, 2005.

Reitzig, Markus, Henkel, Joachim, and Heath, Christopher. On Sharks, Trolls, and Other Patent Animals - 'Being Infringed' as a Normatively Induced Innovation Exploitation Strategy. 2007.

Schankerman, Mark and Scotchmer, Suzanne. Still looking for lost profits : The case of horizontal competition. UC Berkeley working paper, 2006.

Schankerman, Mark and Scotchmer, Suzanne. Damages and Injunctions in Protecting Intellectual Property. The RAND Journal of Economics, Vol. 32, No. 1 (Spring, 2001), pp. 199-220

Adoption Strategies with an Imperfectly Competitive Technology Market

Marc Bourreau* and Serge Pajak†

March, 2011

Abstract

In this paper, we analyze how the market structure of the technology market affects the outcome of an adoption race. We propose a model of adoption of a new production technology in line with the existing literature, but in contrast with the literature, we assume that the upstream innovator has market power. We find that, when the upstream market is monopolistic, in equilibrium, there is no preemption race between downstream firms. When only one downstream firm can adopt the new technology, adoption occurs at the stand-alone date of the downstream firms. When two downstream firms can compete to adopt the new technology, one firm (the "leader") adopts later than the preemption date and earlier than the stand-alone date, while the other firm (the "follower") adopts also later than with a competitive technology market. The delay is induced by the monopolistic upstream innovator, through a specific time-dependent pricing scheme. Finally, we introduce a possibility of imitation to study how the introduction date of the innovation is affected by potential competition in the technology market.

Keywords: Adoption Race; Licensing; Technology Market.

JEL Codes: D21; D43; L13.

*Telecom ParisTech and CREST-LEI, Paris, FRANCE. E-mail: marc.bourreau@telecom-paristech.fr

†Telecom ParisTech, Paris, FRANCE. E-mail: serge.pajak@telecom-paristech.fr. This paper is to be presented at the 9th Annual International Industrial Organization Conference 2011 (Boston).

1 Introduction

The adoption of a new production technology is an important decision for a firm, as it determines its future cost structure and it may also provide a competitive advantage over its competitors. In many industries, however, firms do not develop new production technologies in-house, but rather purchase the new technology from an upstream supplier in a technology market. For example, in the telecommunications industry, telecom operators purchase network equipments from such suppliers as Alcatel-Lucent, Ericsson or Nokia Siemens Networks. These suppliers are also responsible for most of the innovations in network infrastructures.[1]

Though firms like Alcatel-Lucent or Ericsson have had strong positions in this technology market for a long time, they have been recently challenged by new entrants such as Huawei, a Chinese company founded in 1988, which experienced a rapid growth of its business in the early 2000s, rising up to compete with Nokia Siemens Networks as the No. 2 in the global mobile infrastructure equipment market in 2009.

This example suggests the market power of technology suppliers can vary from market to market, or from time to time. How does the competitiveness of the upstream technology market affect the adoption of new technologies by downstream firms? This is the focus of the present paper.

To answer this question, we propose a model of technology adoption, in line with the canonical model proposed by Fudenberg and Tirole (1985) and Katz and Shapiro (1987). We assume that there are two vertically related markets: an upstream technology market, and a downstream production market. In the downstream market, firms use an old technology. At the beginning of the game, a new technology is invented in the upstream market, whose fixed cost decreases over time. We study the downstream firms' adoption strategies, by contrasting two market structures in the upstream technology market: (i) perfect competition, and (ii) monopoly.

[1] For instance, in 2009, Nokia Siemens Networks reported that R&D expenses amounted for 18.1% of its net sales, and Alcatel-Lucent 13.3%.

We start by studying a simple model with a single producer in the downstream market. When the technology market is competitive, the downstream firm adopts the new technology at its stand-alone date. We then consider the opposite case, where the upstream market is controlled by a monopoly provider, which can set a time-dependent fixed price for the new technology. We show that the equilibrium adoption date is the same as with a competitive technology market; the downstream firm also adopts at its stand-alone date, and the upstream monopoly extracts the industry surplus through the fixed price for the new technology.

We then study whether this neutrality result is valid when there is competition in the downstream market. We modify our basic model and assume that two firms compete in the downstream market. At the beginning of the game, they both use the old technology, and we study their adoption strategies in a dynamic game with continuous time and infinite horizon. As a benchmark, we study the case where the upstream market is competitive, which corresponds to the standard case in the adoption literature. Similar to the literature, we show that in equilibrium there is either preemption –the leader adopts at the preemption date– or waiting –the leader adopts at its stand-alone date.

We distinguish two different cases when the upstream market is monopolistic. When there is room for only one adoption, we show that with an upstream monopoly, adoption occurs at a date which is between the preemption date and the stand-alone date. When the two downstream firms can adopt the new technology, we show that one firm (the "leader") adopts the new technology at its stand-alone date, whereas the other (the "follower") adopts the new technology at a date which is later than with a competitive technology market. Therefore, a monopoly technology provider delays the adoption of both the leader and the follower. Besides, the result of the literature that there is "rent dissipation" is no longer valid when the technology market is monopolistic.

This paper is related to two strands of literature: the adoption literature, and the licensing literature.

Our paper is most closely related to the adoption literature.[2] Gilbert and Newbery (1982) show that a monopolist innovator has a strong incentive to use preemptive patenting to foreclose potential new entrants. However, most of the adoption literature considers a setting in which the technology market is perfectly competitive, that is, technology firms license their technology (or sell their inputs) at cost. This cost is typically assumed to be exogenous and decreasing over time, because of learning-by-doing effects or declines in component prices. The literature analyzes the strategies of two competing firms with regards to the adoption of the new technology. The seminal contribution is Reinganum (1981). In a duopolistic market, the adoption of the new cost-reducing technology allows the adopter to increase its profit flow. Due to a business-stealing effect, and since the adoption by one firm exerts a negative impact on the profit flow of its competitor, Reinganum shows that there is a first-mover advantage and sequential adoptions. Fudenberg and Tirole (1985) show that, if the firms are not able to precommit to their adoption timing –for instance, because information lags about the other firms' actions are small or non-existent– the firms will race to preempt each other. Therefore, there is preemption and rent dissipation in equilibrium. In their model, the cost of adopting the new technology is exogenous and decreasing over time, because of learning-by-doing effects or declines in component prices. Increased efficiencies in the technology market are passed to the downstream firms, suggesting that the innovator has no market power. This baseline adoption model has been extended by various authors (for example, see Katz and Shapiro (1987), Riordan (1992), Hendricks (1992), Götz (1999)).

Some contributions in this literature study the factors which may lower why preemption incentives, such as uncertainty about the value of the innovation (Jensen, 1982; Cabral and Dezso, 2008), informational spillovers from the first acquisition (Mariotti, 1992), or time-consuming deployment of the innovation (Ruiz-Aliseda and Zemsky, 2006). Our paper contributes to the adoption literature by lifting the assumption that the technology market is perfectly competitive. We show that this assumption is crucial for the existence of preemptive equilibria.

[2]See Hoppe (2002) for a survey.

This paper is also related to the licensing literature, which considers a monopolist inventor of an innovative process or product, which is protected by a patent (see, among others, Katz and Shapiro (1986), Kamien and Tauman (1986), and Gallini and Wright (1990)). The literature shows that an innovator, which is specialized in R&D, sells its license to only one firm to extract downstream monopoly profits; to that end, the licensor sets a zero royalty rate and extracts all rents through a fixed fee (e.g., see Tirole, 1988). Recent contributions in this literature relax the assumption of a monopolistic patentholder (for instance, see Arora and Fosfuri, 2003).

The rest of the paper is structured as follows. In Section 2, we introduce a basic model with a single potential adopter. In Section 3 we introduce competition in the downstream market. Section 4 analyzes the impact of imitation on of the innovator. Finally, we conclude.

2 A basic model with a monopolistic downstream market

In this section, we introduce our setting and show that, when the downstream market is monopolistic, the structure of the upstream market (whether it is perfectly competitive or monopolistic) does not affect the equilibrium date of adoption of the new technology.

2.1 The setting

There are two firms, an innovator (firm I) which operates in an upstream technology market, and a pure downstream firm (firm 1). At the beginning of the game, firm 1 uses an "old" production technology, with a marginal cost of $\overline{c}$. However, firm I has developed a "new" production technology, which lowers the marginal cost to $\underline{c} < \overline{c}$.

For firm I, the cost of selling the new technology to firm 1 at time t is $C(t)$, and we assume that $C'(t) < 0$, $C''(t) > 0$, and that $\lim_{t\to\infty} C(t) = 0$.[3] Let δ denote the discount rate. The discounted cost of the new technology to time zero is then $A(t) = e^{-\delta t}C(t)$; given our

[3]For instance, the "new" technology could be a new production equipment, whose cost decreases over time due to an exogenous technological progress.

assumptions on $C(t)$, note that we have $A'(t) < 0$. We also define $Z(t) = -A'(t)e^{\delta t} = \delta C(t) - C'(t)$. Note that $Z'(t) < 0$.

We denote by $\pi^m(c)$ the monopoly profit flow of firm 1 for a marginal cost of c, with the standard assumption that $\partial\pi^m(c)/\partial c < 0$. Finally, we assume that adoption never occurs at date 0, which is the case if $\delta C(0) < \pi^m(\underline{c})$.

We consider the following game. In period 1, firm I decides on a price scheme $F(t)$ for the new technology, which depends on time.[4] Then, in period 2, after observing firm I's price scheme, firm 1 decides if and when to adopt the new technology.

If firm 1 does not purchase the new technology from firm I at any date, its discounted profit writes

$$\Pi_1^{NA} = \int_0^\infty e^{-\delta t}\pi^m(\overline{c})\,dt = \frac{\pi^m(\overline{c})}{\delta},$$

where the superscript "NA" stands for "No Adoption". If firm 1 purchases the technology at date T, its discounted profit is

$$\Pi_1(T) = \int_0^T e^{-\delta t}\pi^m(\overline{c})\,dt + \int_T^\infty e^{-\delta t}\pi^m(\underline{c})\,dt - F(T). \tag{1}$$

2.2 The equilibrium

We now determine the equilibrium of this game when the technology market is competitive, and when it is monopolistic.

Competitive technology market As a benchmark, we consider a situation where the technology market is perfectly competitive, that is, for all t, we have $F(t) = A(t)$, which corresponds to the standard assumption in the adoption literature. If firm 1 decides to purchase the new technology, it chooses an adoption date T to maximize its profit $\Pi_1(T)$, with $F(\cdot) = A(\cdot)$.

[4] For simplicity of exposition, we consider that $F(t)$ represents the discounted price to time zero of the new technology.

Therefore, the equilibrium adoption date is given by

$$\widetilde{T}^* = \arg\max_T \ \Pi_1(T) = \int_T^\infty e^{-\delta t}\left(\pi^m(\underline{c}) - \pi^m(\overline{c})\right) dt - A(T).$$

In the adoption literature, this date is referred to as firm 1's *stand-alone date.*

Firm 1 decides to obtain the license if and only if $\Pi_1(\widetilde{T}^*) \geq \Pi_1^{NA}$ and we assume that this is the case.

Monopolistic technology market We now turn to our setting where firm I is a monopolist in the upstream technology market. Given the price scheme $F(t)$ chosen by firm I, firm 1 adopts at a given date T if $\Pi_1(T) \geq \Pi_1^{NA}$, and if $\Pi_1(x)$ is maximized at T.

Given firm 1's adoption decision rule, in period 1, firm I decides on a price scheme $F(t)$. To begin with, note that firm I can implement a price scheme such that adoption takes place at any given date T. To do so, firm I can set a prohibitively high fee for the new technology before date T, then propose an attractive price at this very date, and finally raise the price again afterwards.[5] Therefore, firm I's choice of a price scheme $F(t)$ can be reformulated in terms of a choice of an adoption date T. Firm I's program can then be written as

$$\max_T \Pi_I = F(T) - A(T),$$

s.t.

$$\Pi_1(T) \geq \Pi_1^{NA}, \tag{2}$$

where $\Pi_1(T)$ is given by (1), and

$$\Pi_1(T) \geq \Pi_1(\widetilde{T}) \text{ for all } \widetilde{T} \in [0, \infty).$$

[5] Alternatively, we could assume that firm I introduces the new technology at date T, at a constant price F. Firm 1 would then have an incentive to adopt immediately.

This program means that firm I maximizes its discounted profit from the sale of the new technology $(F(T) - A(T))$ subject to two constraints. The first constraint means that firm I prefers adopting the new technology at date T than never adopting it. The second constraint states that, provided that firm 1 adopts the new technology, its optimal adoption date is equal to T.

To start with, note that the second constraint does not play any role, since firm I can set a very high price for dates earlier or later than its optimal date of adoption. As for condition (2), if it were not binding, then firm I could raise the price of the new technology at date T (i.e., $F(T)$) until this is the case. Therefore, condition (2) is necessarily binding. Using that $\Pi_1(T) = \Pi_1^{NA}$, the program of firm I is equivalent to maximizing the following expression:

$$\int_T^{\infty} e^{-\delta t} \left(\pi^m(\underline{c}) - \pi^m(\overline{c})\right) dt - A(T).$$

This is the same program as in the case of a competitive technology market, that is, we have $T^* = \widetilde{T}^*$. Therefore, we can state the following proposition.

Proposition 1 *With a monopolistic downstream market, the downstream firm adopts the technology at the same date whether the upstream technology market is monopolistic or competitive.*

Since industry profits are maximized when adoption occurs at the stand-alone date, the upstream monopoly implements a price scheme such that adoption occurs at this date.[6] Note that firm I can implement the same equilibrium by introducing its technology at date T^* at a price of $F(T^*)$. We will also use this interpretation in the rest of the text.

[6]Therefore, our result also holds with efficient bargaining if the upstream firm and the downstream firm share the surplus generated by the transaction.

3 Competitive downstream market

In this section, we introduce competition in the downstream market. We assume that there are two downstream firms, firm 1 and firm 2. At the beginning of the game, the two downstream firms use the old technology. Then, given the price scheme $F(t)$ for the new technology and the history of adoption decisions, at each moment of time, each downstream firm $i = 1, 2$ decides whether to adopt the new technology.

We will say that the innovation is drastic if $p^m(\underline{c}) < \overline{c}$, whereas it is non-drastic if $p^m(\underline{c}) \geq \overline{c}$. With a non-drastic innovation, firm i's profit flow depends on whether it has adopted the new technology, and also on whether its downstream competitor has adopted the new technology. We denote firm i's profit flow by $\pi^d(c_i, c_j)$, where c_i and c_j denote firm i's and firm j's marginal costs, respectively, with $i, j = 1, 2$ and $j \neq i$, and $c_i, c_j \in \{\underline{c}, \overline{c}\}$.

In what follows, we start by determining the equilibrium when only one downstream firm can adopt the new technology ("exclusivity"). Then, we analyze the other case, where the two downstream firms can adopt the new technology ("no exclusivity").

3.1 Exclusivity

We assume that only one downstream firm can adopt the new technology. As in our basic model in Section 2, we start by determining the equilibrium in a benchmark situation where the technology market is perfectly competitive. Then, we determine the equilibrium with a monopolistic upstream firm.

3.1.1 Competitive technology market

If the technology market is perfectly competitive, then we have $F(t) = A(t)$, for all t. Given this assumption, we determine the equilibrium of the adoption game.

Assume that no downstream firm has adopted the new technology at date T. If firm $i = 1, 2$ adopts the new technology at date T (i.e., firm i "wins" the adoption race) its discounted profit is

$$\Pi_i(T) = \int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt + \int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^m(\underline{c})\, dt - A(T),$$

if the innovation is drastic, and

$$\Pi_i(T) = \int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt + \int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^d(\underline{c}, \overline{c})\, dt - A(T),$$

otherwise.

These profit expressions read as follows. From date 0 to date T, the two downstream firms use the old technology and earn the duopoly profit flows $\pi^d(\overline{c}, \overline{c})$. Then, at date T, firm i adopts the new technology. Therefore, if the innovation is non-drastic, from date T on, firm i earns the duopoly profit flow $\pi^d(\underline{c}, \overline{c})$, whereas firm j earns the duopoly profit flow $\pi^d(\overline{c}, \underline{c}) < \pi^d(\underline{c}, \overline{c})$. If the innovation is drastic, from date T on, firm i earns the monopoly profit flow $\pi^m(\underline{c})$, whereas firm j earns zero profit.

If firm i does not adopt the new technology, but firm j does, that is, firm i "loses" the adoption race, firm i's discounted profit writes

$$\Pi_i^{NA}(T) = \int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt,$$

if the innovation is drastic, and

$$\Pi_i^{NA}(T) = \int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt + \int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \underline{c})\, dt,$$

otherwise.

We define firm i's *preemption date*, T_i^P, as the earliest date T such that $\Pi_i(T) \geq \Pi_i^{NA}(T)$. Since firm 1 and firm 2 are identical, we have $T_1^P = T_2^P = T^P$. The following Lemma shows

that the preemption date T^P corresponds to the threshold date at which each downstream firm is willing to adopt the new technology.

Lemma 1 *There is a unique date* $T^P \in (0, \infty)$ *such that* $\Pi_i(T) \geq \Pi_i^{NA}(T)$ *if* $T \geq T^P$*, and* $\Pi_i(T) < \Pi_i^{NA}(T)$ *otherwise.*

Proof. See Appendix A. ■

The preemption date T^P is defined by $\Pi_i(T) = \Pi_i^{NA}(T)$, that is,

$$\int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^m(\underline{c})\, dt = A(T),$$

if the innovation is drastic, and

$$\int_T^\infty e^{-\delta t} \left(\pi^d(\underline{c}, \overline{c}) - \pi^d(\overline{c}, \underline{c}) \right) dt = A(T),$$

otherwise. To determine the equilibrium, we compare the preemption date to the stand-alone date, which is defined as the date which maximizes the leader's profit, which is

$$\int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt + \int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^m(\underline{c})\, dt - A(T),$$

if the innovation is drastic, and

$$\int_0^T e^{-\delta t} \pi^d(\overline{c}, \overline{c})\, dt + \int_T^\infty e^{-\delta t} \pi^d(\underline{c}, \overline{c})\, dt - A(T),$$

otherwise.

If the preemption date is earlier than the stand-alone date, then in equilibrium, there is preemption, and one downstream firm adopts the new technology at date T^P. Since our focus is how the possibility of a preemption equilibrium is influenced by the market structure in the upstream market, we assume that this the case.

3.1.2 Monopolistic technology market

Now, we consider that firm I is a monopoly in the upstream technology market. As only one downstream firm can adopt the new technology, we can follow the same reasoning as in Section 2 and consider that everything is as if firm I could set the adoption date T.[7] Assume, without loss of generality, that firm 1 adopts at date T. Then, firm I has the following program,

$$\max_{T} F(T) - C(T)$$

s.t.

$$\Pi_1(T) \geq \Pi_1^{NA} \tag{3}$$

and

$$\Pi_i(\widetilde{T}) < \Pi_i^{NA} \text{ for all } \widetilde{T} < T \text{ and } i = 1, 2.$$

The first constraint means that firm 1 prefers adopting the new technology than not adopting it. The second constraint states that no downstream firm has incentives to adopt at an earlier date. Note that this constraint is easily fulfilled as firm I can set a prohibitive price prior to date T.

Since firm I can raise the price of the new technology until condition (3) is binding, we have $\Pi_1(T) = \Pi_1^{NA}$, which implies that the problem is equivalent to a problem where firm I chooses the adoption date T so as to maximize

$$\int_T^{\infty} e^{-\delta t} \pi^m(\underline{c})\, dt - A(T), \tag{4}$$

[7] As above, we could alternatively assume that firm I "introduces" the new technology at date T, at a constant price F. Given that the price is constant, a downstream firm would adopt the new technology technology immediately.

if the innovation is drastic, and

$$\int_{T}^{\infty} e^{-\delta t} \left(\pi^{d} \left(\underline{c}, \overline{c} \right) - \pi^{d} \left(\overline{c}, \underline{c} \right) \right) dt - A(T), \tag{5}$$

otherwise. Note that this corresponds to the maximum bid firms 1 and 2 would propose to obtain an exclusivity over the new technology at date T.

Remark that (4) and (5) equal to zero in a preemption equilibrium. Therefore, with a monopolistic technology market, in equilibrium, adoption occurs later than with a competitive technology market. Therefore, we have the following result.

Proposition 2 *With imperfect competition in the downstream market, if the technology market is monopolistic and only one downstream firm can adopt the new technology, in equilibrium there is no preemptive race, and adoption occurs later than with a competitive technology market.*

It is not in the interest of the upstream monopoly to trigger a preemption race between the two downstream firms, as it would dissipate the industry profits. Instead, the technology supplier delays the introduction date to maximize the downstream discounted profit (net of the adoption cost), which it captures through the price of the new technology.

Note that the objective functions (4) and (5) do not take into account the opportunity cost for the downstream firms of adopting the new technology, which is equal to $\pi^{d}(\overline{c}, \overline{c})$. This means that in equilibrium, adoption occurs earlier than the stand-alone date.

3.2 No exclusivity

So far, we have assumed that only one downstream firm can adopt the new technology. We now consider the case where the two downstream firms can adopt the new technology. We focus on the case where the innovation is non-drastic –the case where the innovation is drastic yields similar results.

3.2.1 Competitive technology market

Follower's problem We start by assuming that one downstream firm, the "leader", say firm i, has adopted the new technology at some date t_i, and we solve the follower's problem in the continuation game. If it adopts the new technology at date $t_j \geq t_i$, firm j makes a discounted profit of

$$\begin{aligned}\Pi_j^F(t_i, t_j) &= \int_0^{t_i} e^{-\delta t}\pi^d(\overline{c}, \overline{c})\,dt + \int_{t_i}^{t_j} e^{-\delta t}\pi^d(\overline{c}, \underline{c})\,dt + \int_{t_j}^{\infty} e^{-\delta t}\pi^d(\underline{c}, \underline{c})\,dt - A(t_j) \\ &= \frac{1-e^{-\delta t_i}}{\delta}\pi^d(\overline{c}, \overline{c}) + \frac{e^{-\delta t_i} - e^{-\delta t_j}}{\delta}\pi^d(\overline{c}, \underline{c}) + \frac{e^{-\delta t_j}}{\delta}\pi^d(\underline{c}, \underline{c}) - A(t_j),\end{aligned}$$

where the superscript "F" designates the follower. The follower's discounted profit reads as follows. From date 0 to date t_i, since no downstream firm has adopted the new technology, they both use the old technology and earn the profit flow $\pi^d(\overline{c}, \overline{c})$. From date t_i to date t_j, firm i uses the new technology whereas firm j uses the old technology; firm j therefore obtains the profit flow $\pi^d(\overline{c}, \underline{c})$. Finally, from date t_j, both firms use the new technology and earn the profit flow $\pi^d(\underline{c}, \underline{c})$.

The following Lemma defines the follower's optimal adoption date.

Lemma 2 *In the continuation game, the follower adopts the new technology at date* $t^F = t^* = Z^{-1}(\pi^d(\underline{c}, \underline{c}) - \pi^d(\overline{c}, \underline{c}))$ *if* $t^* \geq t_i$*, and at date* $t^F = t_i$ *otherwise.*

Proof. See Appendix B. ■

If the leader's adoption date is very late, the follower adopts immediately. Otherwise, the follower's optimal adoption date does not depend on the leader's adoption date.

In the following, to simplify notations, we note $\Pi_j^F(t_i) = \Pi_j^F\left(t_i, t^F(t_i)\right)$ the discounted profit of the follower at its optimal adoption date.

Leader's problem and equilibrium Given that firm j follows at date $t^F(t_i)$, the discounted profit of the leader when it adopts at date t_i writes

$$\Pi_i^L\left(t_i, t^F(t_i)\right) = \int_0^{t_i} e^{-\delta t}\pi^d(\overline{c},\overline{c})\,dt + \int_{t_i}^{t^F(t_i)} e^{-\delta t}\pi^d(\underline{c},\overline{c})\,dt + \int_{t^F(t_i)}^{\infty} e^{-\delta t}\pi^d(\underline{c},\underline{c})\,dt - A(t_i), \quad (6)$$

where the superscript "L" designates the leader. Replacing for $t^F(t_i)$ and using the notation $\Pi_i^L(t_i) = \Pi_i^L\left(t_i, t^F(t_i)\right)$, equation (6) can be rewritten as

$$\Pi_i^L(t_i) = \frac{\pi^d(\overline{c},\overline{c})}{\delta} + \frac{\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c})}{\delta}e^{-\delta t_i} + \frac{\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\underline{c},\overline{c})}{\delta}e^{-\delta t^*} - A(t_i)$$

if $0 \leq t_i \leq t^*$, and

$$\Pi_i^L(t_i) = \frac{\pi^d(\overline{c},\overline{c})}{\delta} + \frac{\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c})}{\delta}e^{-\delta t_i} - A(t_i),$$

otherwise. We define the leader's stand-alone adoption date, T^S, as follows:

$$T^S = \arg\max_T \Pi_i^L(T).$$

Note that in equilibrium, the leader never adopts later than T^S. However, as above, the downstream firms might compete to be the leader. We therefore define firm i's preemption date, T_i^P, as the earliest date T such that $\Pi_i^L(T) \geq \Pi_i^F(T)$. Since firm 1 and firm 2 are identical, we have $T_1^P = T_2^P = T^P$. The following Lemma is similar to Lemma 1.

Lemma 3 *There is a unique date $T^P \in (0,\infty)$ such that $\Pi_i^L(T) \geq \Pi_i^F(T)$ if $T \geq T^P$, and $\Pi_i^L(T) < \Pi_i^F(T)$ otherwise.*

Proof. See Appendix C. ■

We can now solve for the equilibrium.

Lemma 4 *If $T^P < T^S$, in equilibrium, there is preemption and the leader adopts at date T^P. Otherwise, there is waiting and the leader adopts at date T^S.*

Proof. See Hoppe and Lehmann-Grube (2005), Theorem 1. ■

This is a standard result in the adoption literature. If the preemption date is sufficiently early relative to the stand-alone date, the two potential adopters engage in a preemptive race to be the leader.

3.2.2 Monopolistic technology market

We now assume that firm I is a monopoly in the upstream technology market. Firm I decides on a price scheme $F(t)$ to maximize its profit,

$$\Pi_I = F(t_1) - A(t_1) + F(t_2) - A(t_2),$$

where t_1 and t_2 designate firm 1's and firm 2's adoption dates, respectively (provided that both firms actually adopt the new technology).

As in the previous sections, it turns out that firm I can set the price scheme such that firm 1 adopts at a given date t_1 and firm 2 adopts at a given date t_2. To do so, firm I can set a prohibitive price for the new technology before date t_1 and just after this date, until date t_2. From date t_2 on, firm I can set a constant price $F(t_2) = F_2$. Given that the price of the new technology is constant, firm 2 adopts immediately at time t_2.[8]

Therefore, firm I has the following program,

$$\max_{t_1,t_2} \Pi_I = F(t_1) - A(t_1) + F(t_2) - A(t_2),$$

subject to three constraints: (i) firm 1 should prefer adopting at t_1 than adopting at t_2; (ii)

[8] Alternatively, we can consider that firm I introduces the new technology at date t_1 at a constant price F_1 and then changes the price to F_2 at date t_2. Our analysis remains valid.

firm 2 should prefer adopting at t_2 than adopting at t_1; (iii) firm 2 prefers adopting the new technology than never adopting it.

To begin with, consider constraint (iii). This constraint writes $\Pi_2^F(t_1,t_2) \geq \Pi_2^{NA}(t_1)$, where $\Pi_2^{NA}(t_1)$ represents firm 2's discounted profit if it never adopts the new technology, given that firm 1 has adopted at date t_1. Since firm I can raise $F(t_2)$ until this constraint is binding, we have $\Pi_2^F(t_1,t_2) = \Pi_2^{NA}(t_1)$, and hence,

$$F(t_2) = \int_{t_2}^{\infty} e^{-\delta t}\left(\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right)dt = \frac{\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})}{\delta}e^{-\delta t_2}.$$

Now, consider constraints (i) and (ii). Constraint (i) states that firm I has to set $F(t_1)$ such that firm 1 prefers adopting at t_1 than adopting at t_2, simultaneously with firm 2. This implies that

$$F(t_1) \leq F(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} e^{-\delta t}\left(\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c})\right)dt. \tag{7}$$

Condition (ii) means that firm 2 should prefer adopting at t_2 than adopting at t_1, simultaneously with firm 1. It holds if

$$F(t_1) \geq F(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} e^{-\delta t}\left(\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right)dt. \tag{8}$$

We assume that $\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c}) > \pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})$.[9] Firm I can raise $F(t_1)$ such that condition (7) binds, and in this case condition (8) holds. Therefore, firm I's profit writes

$$2\int_{t_2}^{\infty} e^{-\delta t}\left(\pi^d(\underline{c},\underline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right)dt + \int_{t_1}^{t_2} e^{-\delta t}\left(\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c})\right)dt - A(t_1) - A(t_2).$$

The two first-order conditions write

$$-e^{-\delta t_1}\left[\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\overline{c})\right] - A'(t_1) = 0, \tag{9}$$

[9] This is true, for example, in a model of Cournot competition.

and

$$-e^{-\delta t_2}\left[2\left(\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)\right)-\left(\pi^d\left(\underline{c},\overline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\overline{c}\right)\right)\right]-A'\left(t_2\right)=0. \tag{10}$$

As $\pi^d\left(\underline{c},\overline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\overline{c}\right)>\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)$, we have $2\left(\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)\right)-\left(\pi^d\left(\underline{c},\overline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\overline{c}\right)\right)<\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)<\pi^d\left(\underline{c},\overline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\overline{c}\right)$, and therefore, we have $t_1^*<t_2^*$, where t_1^* and t_2^* denote the solutions of (9) and (10), respectively.

We can now state the following result.

Proposition 3 *Assume that the downstream market is a duopoly, that the technology market is monopolistic and that the two downstream firms can adopt the new technology. Compared to a competitive technology market, in equilibrium: (i) the leader adopts the new technology later, at its stand-alone date; (ii) the follower also adopts later.*

Proof. (i) the first-order condition (9) corresponds to the stand-alone problem for firm 1; therefore firm 1 adopts later than with a competitive technology market. (ii) Since $2\left(\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)\right)-\left(\pi^d\left(\underline{c},\overline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\overline{c}\right)\right)<\pi^d\left(\underline{c},\underline{c}\right)-\pi^d\left(\overline{c},\underline{c}\right)$, the follower adopts later than with a competitive technology market. ■

This Proposition confirms the results of Proposition 2. With a monopolistic technology market, preemption does not occur, because it dissipates industry profits, which is not in the interest of the upstream monopoly.

Part (ii) of Proposition 3 shows that the second downstream firm also adopts the new technology later than with a competitive technology market. This is because the adoption of the follower creates a negative externality on the leader's profit. For a given leader's adoption date, the earlier the follower adopts the new technology, the lower the leader's profit. With a competitive technology market, this externality does not affect the firms' adoption dates, in particular because the follower's adoption date does not depend on the leader's. However, a monopolistic technology provider internalizes this externality and, as the Proposition shows,

delays the follower's adoption to increase industry profits.

4 Imperfect competition in the upstream technology market

In this section, we still assume that the downstream market is a duopoly and we introduce potential competition in the upstream market, so as to mitigate the market power of the upstream monopoly. To that end, we assume that at the beginning of time (i.e., at date 0), outside firms start undertaking R&D to imitate the new technology.[10] After a delay $\Delta > 0$, the imitators enter the upstream technology market, and it becomes perfectly competitive. We assume that the cost of the new technology for the imitators is the same as for firm I, that is, $C(t)$.

The following Proposition shows how the equilibrium (as described in Proposition 3) is affected.

Proposition 4 *Assume that at date Δ, imitators enter the upstream technology market.*

(i) If $\Delta > t_2^*$, then the equilibrium dates of adoption, t_1^* and t_2^*, are unchanged.

(ii) If $\Delta < t_1^*$, then the leader adopts preemptively at date $\max\left\{\Delta, T^P\right\}$ and the follower adopts at date t^*.

(iii) If $\Delta \in [t_1^*, t_2^*]$, then the leader adopts at its stand-alone date and the follower adopts at date $\max\{\Delta, t^*\}$.

Proof. See Appendix D. ■

When the entry date of the imitators is sufficiently late, the equilibrium dates of adoption of the two downstream firms are unchanged. Similarly, if the entry date of the imitators is sufficiently early, the equilibrium dates of adoption correspond to the ones in the benchmark with a competitive technology market.

[10] Another possibility would be to assume that imitation starts when the new technology is introduced in the downstream market.

For intermediate values of the entry date of imitators, we find that the leader adopts at its stand-alone date. Therefore, even under the pressure of potential imitators, the upstream monopoly decides on an adoption date that maximizes the leader's profit. Indeed, potential competition from imitators lowers the surplus that the upstream firm can extract from the downstream firms. However, the upstream firm still has incentives to maximize industry profits by implementing the appropriate adoption dates.

This result shows that our main result –market power in the upstream technology market annihilates preemption incentives– is still valid when the upstream monopoly faces potential competition.

5 Conclusion

Models of technological adoption in continuous time assume that the adoption cost is exogenous and decreasing over time because of increased efficiency of technology suppliers. This implicitly assumes perfect competition in the technology market, and leads in particular to the "rent dissipation" result of Fudenberg and Tirole (1985). A supplier with market power, however, could be able to capture a share downstream profits, and hence, internalize these profits when it sets the price for the new technology.

In this paper, we have proposed an adoption model where the upstream technology market is *not* perfectly competitive. When the downstream market is monopolistic, we have shown that the structure of the upstream market does not affect the adoption of the new technology. However, when the downstream market is a duopoly, it does. We find that when the upstream market is monopolistic, there is no preemptive race in the downstream market in equilibrium. The leader adopts later than when the upstream market is competitive. When the two downstream firms can adopt the new technology, the follower also adopts later. These delays are induced by the upstream monopoly, through a time-dependent pricing scheme.

References

Arora, Ashish and Andrea Fosfuri, 2003. Licensing the market for technology. *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 52, pp.277–295.

Boyer, Marcel, Lasserre, Pierre, Mariotti, Thomas and Michel Moreaux, 2004. Preemption and Rent Dissipation under Price Competition. *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 22(3), pp. 309-328.

Fudenberg, Drew and Jean Tirole, 1985. Preemption and Rent Equalization in the Adoption of New Technology. *Review of Economic Studies*, Vol. 52(3), pp. 383–401.

Gallini, Nancy T., 1984. Deterrence by Market Sharing: A Strategic Incentive for Licensing. *American Economic Review*, Vol. 74(5), pp. 931–941.

Gallini, Nancy and Brian Wright, 1990. Technology Transfer under Asymmetric Information. *RAND Journal of Economics*, Vol. 21(1), pp. 147-160.

Gilbert, Richard J. and David M. Newbery, 1982. Preemptive Patenting and the Persistence of Monopoly. *American Economic Review*, Vol. 72, pp. 514-526.

Götz, Georg, 1999. Monopolistic Competition and the Diffusion of New Technology. *RAND Journal of Economics*, Vol. 30(4), pp. 679–693.

Hendricks, Kenneth, 1992. Reputation in the adoption of a new technology. *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 10, pp. 663–677.

Hoppe, Heidrun C., 2002. The Timing of New Technology Adoption: Theoretical Models and Empirical Evidence. *The Manchester School*, Vol. 70(1), 56-76.

Hoppe, Heidrun C. and Ulrich Lehmann-Grube, 2005. Innovation timing games: a general framework with applications. *Journal of Economic Theory*, Vol. 121(1), pp. 30-50.

Jensen, Richard, 1982. Adoption and diffusion of an innovation of uncertain profitability. *Journal of Economic Theory*, Vol. 27(1), pp. 182-193.

Kamien, Morton I. and Yair Tauman, 1986. Fees Versus Royalties and the Private Value of a Patent. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 101(3), pp. 471-492

Katz, Michael L. and Carl Shapiro, 1986. How to License Intangible Property. *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 101(3), pp. 567-590.

Katz, Michael L. and Carl Shapiro, 1987. R&D Rivalry with Licensing or Imitation. *American Economic Review*, Vol. 77(3), pp. 402-420.

Mariotti Marco, 1992. Unused innnovations. *Economics Letters*, Vol. 38(3), pp. 367-371.

Reinganum, Jennifer F., 1981. Market Structure and the Diffusion of New Technology. *Bell Journal of Economics*, Vol. 12(2), pp. 618–624.

Riordan, Michael H., 1992. Regulation and Preemptive Technology Adoption. *RAND Journal of Economics*, Vol. 23(3), pp. 334–349.

Rockett, Katharine E., 1990. Choosing the Competition and Patent Licensing. *RAND Journal of Economics*, Vol. 21(1), pp. 161–171.

Ruiz-Aliseda, Francisco and Peter Zemsky, 2006. Adoption is not Development: First Mover Advantage in the Diffusion of New Technology. Working paper.

Tirole, Jean, 1998. *The Theory of Industrial Organization*. MIT Press, Cambridge, MA.

Appendix

Appendix A: Proof of Lemma 1

We develop the proof for the non-drastic innovation case (the proof is similar for the drastic innovation case). We have

$$\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T) = \int_T^{\infty} e^{-\delta t}\left[\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right] dt - A(T) = \frac{\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})}{\delta} e^{-\delta T} - A(T),$$

which is a continuous function. We have $\lim_{T\to\infty} \Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T) = 0$. Besides, from our assumptions, we have $\Pi_i(0) - \Pi_i^{NA}(0) < 0$, since $\delta C(0) > \pi^m(\underline{c})$ and $\pi^m(\underline{c}) \geq \pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})$. Therefore, there is at least a date T^P such that $\Pi_i(T) = \Pi_i^{NA}(T)$.

We now show that T^P is unique. If $\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)$ has an interior minimum or maximum, then the first-order condition is satisfied, and hence,

$$\frac{d\left(\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)\right)}{dT} = -\left(\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right) e^{-\delta T} - A'(T) = 0.$$

The second-order condition then writes

$$\frac{d^2\left(\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)\right)}{dT^2} = \delta\left(\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right) e^{-\delta T} - A''(T).$$

Using $\left(\pi^d(\underline{c},\overline{c}) - \pi^d(\overline{c},\underline{c})\right) e^{-\delta T} = -A'(T)$, the second-order condition can be rewritten

$$\frac{d^2\left(\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)\right)}{dT^2} = -\delta A'(T) - A''(T) = Z'(t)\, e^{-\delta T} < 0.$$

Therefore, any optimum of $\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)$ is maximum. This shows that $\Pi_i(T) - \Pi_i^{NA}(T)$ cuts the horizontal axis from below only once.

5.1 Appendix B: Proof of Lemma 2

The problem of the follower, firm j, can be written as

$$\max_{t_j \geq t_i} \frac{e^{-\delta t_j}}{\delta} \left(\pi^d \left(\underline{c}, \underline{c} \right) - \pi^d \left(\overline{c}, \underline{c} \right) \right) - A \left(t_j \right).$$

The first-order condition writes

$$\pi^d \left(\underline{c}, \underline{c} \right) - \pi^d \left(\overline{c}, \underline{c} \right) = -A' \left(t_j \right) e^{\delta t_j} = Z \left(t_j \right),$$

which implies that $t_j = t^* = Z^{-1} \left(\pi^d \left(\underline{c}, \underline{c} \right) - \pi^d \left(\overline{c}, \underline{c} \right) \right)$, as $Z \left(\cdot \right)$ is a strictly decreasing function. The second-order derivative at $t_j = t^*$ is

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial \Pi_j^F \left(t_i, t_j \right)}{\partial t_j^2} \right|_{t_j = t^*} &= \delta \left(\pi^d \left(\underline{c}, \underline{c} \right) - \pi^d \left(\overline{c}, \underline{c} \right) \right) e^{-\delta t_j} - A'' \left(t_j \right) \\ &= Z'(t^*) e^{-\delta t^*} < 0, \end{aligned}$$

hence, the first-order condition defines a maximum.

The follower's optimal adoption date is then t^* if $t^* \geq t_i$, and t_i otherwise.

5.2 Appendix C: Proof of Lemma 3

The proof is similar to the proof of Lemma 1. We have

$$\Pi_i^L \left(T, t^F \left(T \right) \right) - \Pi_i^F \left(T, t^F \left(T \right) \right) = \frac{\pi^d \left(\underline{c}, \overline{c} \right) - \pi^d \left(\overline{c}, \underline{c} \right)}{\delta} e^{-\delta T} - A \left(T \right),$$

which is a continuous function. To begin with, we have $\Pi_i^L \left(t^*, t^F \left(t^* \right) \right) - \Pi_i^F \left(t^*, t^F \left(t^* \right) \right) = 0$. Besides, from our assumptions, we have $\Pi_i^L \left(0, t^F \left(0 \right) \right) - \Pi_i^F \left(0, t^F \left(0 \right) \right) < 0$, since $\delta C \left(0 \right) > \pi^m \left(\underline{c} \right)$ implies that $\Pi_i^L \left(0, t^F \left(0 \right) \right) < 0$ and $\Pi_i^F \left(0, t^F \left(0 \right) \right) \geq 0$. Therefore, there is at least a date T^P such that $\Pi_i^L \left(T, t^F \left(T \right) \right) - \Pi_i^F \left(T, t^F \left(T \right) \right)$.

We now show that T^P is unique. If $\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)$ has an interior minimum or maximum, then the first-order condition is satisfied, and hence,

$$\frac{d\left(\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)\right)}{dT} = -\left(\pi^d(\underline{c}, \overline{c}) - \pi^d(\overline{c}, \underline{c})\right) e^{-\delta T} - A'(T) = 0.$$

The second-order condition then writes

$$\frac{d^2\left(\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)\right)}{dT^2} = \delta\left(\pi^d(\underline{c}, \overline{c}) - \pi^d(\overline{c}, \underline{c})\right) e^{-\delta T} - A''(T).$$

Using $\left(\pi^d(\underline{c}, \overline{c}) - \pi^d(\overline{c}, \underline{c})\right) e^{-\delta T} = -A'(T)$, the second-order condition can be rewritten

$$\frac{d^2\left(\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)\right)}{dT^2} = -\delta A'(T) - A''(T) = Z'(t) e^{-\delta T} < 0.$$

Therefore, any optimum of $\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)$ is maximum. This shows that $\Pi_i^L\left(T, t^F(T)\right) - \Pi_i^F\left(T, t^F(T)\right)$ cuts the horizontal axis from below only once.

Appendix D: Proof of Proposition 4

The entry of imitators at date Δ creates an outside option for the downstream firms. However, since the value of this outside depends only on Δ, it does not directly affect the choice of t_1 and t_2 by the upstream monopoly. What changes is that the upstream monopoly has to lower its prices to compensate the downstream firms for their more valuable outside option.

Given this reasoning, (i) If $\Delta > t_2^*$, then the equilibrium dates of adoption, t_1^* and t_2^*, are unchanged; (ii) if $\Delta < t_1^*$, then the leader adopts preemptively at date $\max\left\{\Delta, T^P\right\}$ and the follower adopts at date t^*; (iii) if $\Delta \in [t_1^*, t_2^*]$, then the leader adopts at its stand-alone date and the follower adopts at date $\max\{\Delta, t^*\}$.

Conclusion et prolongements

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous proposons plusieurs éléments empiriques relatifs à l'usage du secret industriel par les entreprises innovantes. Ces éléments corroborent les résultats de la littérature théorique obtenus par Anton et Yao (2004) ou Crampes (1986), à savoir que la taille de l'innovation influence le choix de la protection, et conduit à préférer le secret. Dans l'article « *Do Innovative Firms Rely on Big Secrets ? An Analysis of IP Protection Strategies with the CIS 4 Survey* », l'étude porte au niveau de l'innovation et montre que, pour les petites entreprises dans le secteur des biens intermédiaires, les petites innovations ont une plus forte probabilité d'être brevetées que gardées secrètes, alors que les grandes innovations sont plus susceptibles d'être protéger par secret. Dans le second article, « *Avance technologique, brevet, secret : quelle stratégie de divulgation pour les firmes innovantes ?* », il apparaît que l'intensité de l'activité en R&D a une influence très différenciée sur l'usage des méthodes de protection selon qu'elles soient informelles (secret, complexité) ou qu'il s'agisse d'instruments juridiques (brevet). L'intensité de la recherche augmente de façon significative la probabilité que la firme mobilise des méthodes informelles de protection et n'a pas d'impact sur les instruments juridiques.

Ces résultats suggèrent que les instruments juridiques de protection de la propriété intellectuelle ne sont pas adaptés aux besoins des firmes, et notamment des plus innovantes. L'explication principale tient à l'importance de la connaissance tacite, le savoir-faire, dans l'économie de la connaissance. C'est grâce à ce savoir-faire tacite que l'entreprise maîtrise l'innovation et conserve un avantage compétitif. Or le brevet ne protège que la partie explicite de l'innovation. Ces travaux peuvent être prolongés, par exemple, de deux manières. D'une part, on peut reproduire l'analyse présentée ici à partir de données plus précises au niveau de l'innovation, qui permettent de mettre en évidence les multiples instruments de protection mobilisés pour protéger une même in-

novation. D'autre part, il est intéressant de voir si le comportement de protection contre-intuitif, dont nous avons montré l'existence, est efficace devant les tribunaux. Les procédures de litiges engagées, ou non, contre un brevet sont, en effet, la suite et la conséquence du choix de protection étudié ici.

Dans le deuxième chapitre, « *Imitation and Intellectual Property Protection : The Strategic Implications of Damage Rules* » (en co-écriture avec Yassine Lefouili, Toulouse School of Economics), nous montrons comment le cadre juridique dans lequel les procès pour infraction de brevet sont menés influence la décision d'imiter, et en retour la décision de breveter une innovation ou bien de la garder secrète. Nous avons vu que la règle du manque à gagner induit des comportements de concurrence opposés à celle de l'enrichissement indû. Par exemple, avec cette dernière règle, l'innovateur a deux sources de profits, d'une part ses propres profits de marché, et d'autre part les dommages obtenus en compensation de l'infraction de son brevet. Tout se passe comme si l'innovateur possédait une participation dans la firme imitatrice. En manque à gagner, le phénomène inverse se produit : l'imitateur prend garde à ce que sa production ne conduise pas à une perte de profit pour l'innovateur. Notre article contribue à améliorer la compréhension de l'incertitude qui entoure les droits de propriété et des conséquences sur la façon dont les firmes se font concurrence. Un prolongement possible est empirique : observe-t-on un lien entre la règle de droit utilisée dans un pays pour pénaliser les infraction de brevets et l'intensité de la concurrence ou les comportements collusifs de la part des imitateurs ?

Le troisième chapitre, « *Adoption Strategies with an Imperfectly Competitive Technology Market* » (en co-écriture avec Marc Bourreau, Telecom ParisTech), montre que lorsqu'un innovateur dispose pouvoir de marché, il cherche à éviter une course à la préemption chez les firmes aval qui conduit, selon le résultat de Fudenberg et Tirole (1985), à la dissipation de la rente de l'industrie. Comment réagit un innovateur face à la menace d'imitation ? Nous avons vu que la date d'intro-

duction de la technologie n'est pas avancée lorsque l'imitation devient possible à une date fixée à l'avance. Une extension possible de ce modèle consiste à prendre en compte le caractère imparfaitement concurrentiel du marché de la technologie autrement qu'avec l'imitation potentielle. Ainsi, le marché de la technologie peut être constitué de deux firmes dont les technologies sont différenciées horizontalement, selon la manière dont elles correspondent aux besoins des firmes aval.