

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES CELLULES SOLAIRES
ÉTUDE DES BREVETS USPTO 1976-2013

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCE, TECHNOLOGIE ET SOCIÉTÉ

PAR
CARINA EBNOETHER

MAI 2015

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier infiniment mon directeur de recherche, Monsieur Jorge Niosi, professeur au département de management et technologie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Votre confiance, votre énorme soutien, votre grande générosité et surtout vos précieuses recommandations ont été une aide hors pair pour la réalisation de ce travail. Vous avez été un excellent guide et vous resterez un modèle pour moi.

Je remercie Monsieur Raymond Laliberté ainsi que toute l'équipe du carrefour technologique en recherche et en enseignement pour leur aide.

Merci à Monsieur Rachad Antonius, Professeur au Département de Sociologie pour vos valeureux conseils pour l'utilisation du logiciel d'analyse de données quantitatives SPSS.

Merci à ma famille et à mes amis qui s'informaient sur l'état d'avancement de ce travail ainsi que pour leurs encouragements et leur compréhension. Des mercis particuliers à ma chère amie Marie-Claude Vigneault pour ton aide inestimable, tes encouragements et ta bonté dans la surveillance des coquilles.

Merci à mon ami Sylvain Boucher pour ton aide experte en informatique, ton immense patience et dévouement.

Merci à mon collègue à l'École de technologie supérieure, Éric Francoeur, pour ton soutien et tes encouragements.

Et, finalement, merci à L.A. d'avoir cru un jour en moi. Sans ton influence, je n'aurai peut-être pas fait ce retour aux études.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	vii
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS.....	viii
RÉSUMÉ.....	ix
SUMMARY	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I	
CADRE THÉORIQUE	3
1.1 Paradigme évolutionniste.....	3
1.2 Théorie des systèmes d'innovation	4
1.2.1 Les systèmes nationaux d'innovation.....	4
1.2.2 Les systèmes régionaux d'innovation.....	7
1.2.3 Les systèmes sectoriels d'innovation	10
1.3 Théorie de la firme d'ancrage	12
1.3.1 Les origines du concept	13
1.3.2 Les firmes d'ancrage	14
1.4 Théorie du cycle de vie du produit de Vernon à Klepper	16
1.5 Le transfert technologique.....	19
1.5.1 Le transfert technologique sous l'angle géographique	20
1.5.2 La diffusion du transfert technologique.....	21
1.5.3 Transfert technologique et les réseaux	22
1.6 Diffusion de la connaissance.....	23
1.6.1 Diffusion de la connaissance à l'intérieur des firmes.....	24
1.6.2 La diffusion des connaissances et les brevets.....	25
1.7 Les stratégies d'entreprise et la propriété intellectuelle.....	26
1.7.1 Théorie de la diversité technologique des entreprises	27
1.7.2 L'utilisation des brevets.....	28

1.7.3	Les brevets et la gestion de la technologie	30
1.7.4	La propension à breveter	31
1.7.5	Le portfolio de brevets comme outil stratégique	34
CHAPITRE II		
L'ÉNERGIE SOLAIRE ET SES APPLICATIONS		37
2.1	Les énergies renouvelables	38
2.2	Les origines de l'énergie solaire	40
2.3	La technologie de l'énergie solaire	41
2.4	Les avantages et les inconvénients de la technologie solaire.....	44
2.5	La progression des installations	46
2.6	La production de panneaux solaires	50
2.7	Financement public de la R-D et des installations solaires.....	52
2.8	Les guerres commerciales	56
CHAPITRE III		
MÉTHODOLOGIE		58
3.1	Mise en contexte	58
3.2	Pertinence scientifique	60
3.3	Pertinence pratique.....	62
3.4	Questions de recherche	63
3.5	Données et méthodologie.....	66
3.5.1	L'analyse des brevets.....	66
3.5.2	Les citations des brevets.....	67
3.5.3	La collecte des données	68
CHAPITRE IV		
LES RÉSULTATS		71
4.1	Résultats en lien avec l'hypothèse 1	71
4.2	Résultats en lien avec l'hypothèse 2	78
4.3	Résultats en lien avec l'hypothèse 3	82
4.4	Résultats en lien avec l'hypothèse 4	85
4.5	Conclusion des résultats	89

CHAPITRE V	
CONCLUSION	91
5.1 Retour sur les théories	91
5.2 Les limites de l'étude	99
5.3 Possibilités de recherches futures	100
BIBLIOGRAPHIE	101

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1.1 : Les systèmes nationaux d'innovation	6
Figure 2.1: Applications de l'énergie solaire.....	42
Figure 2.2: Capacité annuelle d'équipement solaire photovoltaïque installée entre 2000 - 2012, pays sélectionnés.....	47
Figure 2.3 : Taux de croissance du marché mondial du solaire photovoltaïque 2013a du solaire photovoltaïque 2013.....	49
Figure 2.4: Production annuelle mondiale de solaire photovoltaïque. 1985-2012	50
Figure 4.1: Cumul des brevets américains par pays entre 1976 et 2013, principaux pays	72
Figure 4.2: Brevets par décennie (1976-2013) principaux pays	73
Figure 4.3 : Ratio des brevets et des citations.....	87
Figure 4.4: Citations par brevet par type de demandeur	88

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
Tableau 2.1: Les dix principaux fournisseurs de modules PV en 2013	52
Tableau 4.1 : Les 10 plus grands producteurs d'équipement photovoltaïque, 2013 ...	75
Tableau 4.2: Installations de systèmes PV en 2013	76
Tableau 4.3: Les brevets selon les principales régions métropolitaines	79
Tableau 4.4: Régions métropolitaines et nombre de brevets cités au moins 5 fois	80
Tableau 4.5: La corrélation entre revendications et citations	83
Tableau 4.6 : Décompte de brevets par type	85
Tableau 4.7 : la comparaison entre le nombre de brevets et le nombre de citations...	86
Tableau 4.8: Les citations par brevets selon les types de demandeurs	88

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

- AIE: Agence internationale de l'énergie
EIA : *U.S. Energy Information Administration*
EPIA : *European Photovoltaic Industry*
IRENA: Agence internationale d'énergie renouvelable
ITRI : Industrial Technology Research Institute
MMA : méga région métropolitaine
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OEB : Office Européen des Brevets
OMC : Organisation mondiale du commerce
ONU : Organisation des nations unies
PME : Petites et moyennes entreprises
PV: photovoltaïque
PV/T: photovoltaïque thermique
R-D : Recherche et développement
SNI : Systèmes nationaux d'innovation
SRI : Système régional d'innovation
SSI : Système sectoriel innovation
UE : Union européenne
USPTO : Office des Brevets des États-Unis d'Amérique (United States Patent Office)

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

Btu: *British thermal unit*

CdTe : tellure de cadmium

CO₂ : Dioxyde de carbon

GW: Gigawatt

MW: megawatt

Si: silicium

Wc: Watt crête

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de faire un portrait évolutif global de la création de la technologie dans le domaine de l'énergie solaire. Elle vise plus spécifiquement à explorer les transferts technologiques à court et à long terme, en aval et en amont, et à examiner les diverses tendances technologiques à l'échelle internationale.

La première partie présente le cadre théorique. La revue de la littérature traite des systèmes d'innovation, des firmes d'ancrage, du cycle de vie, du transfert technologique, de la diffusion de la connaissance et, enfin, de stratégies d'entreprises en lien avec la propriété intellectuelle dans le secteur des cellules photovoltaïques.

La deuxième partie expose les applications de la technologie solaire. De nombreux enjeux sont traités. Ceux-ci sont d'ordre écologique, technologique, politique, économique, de propriété intellectuelle, et d'innovation.

Sur la base de ce qui a été présenté aux chapitres précédents, la troisième partie expose le cadre méthodologique. La pertinence scientifique et pratique, les questions de recherche ainsi que les hypothèses y sont présentées. Ceux-ci serviront à explorer l'évolution spatio-temporelle de l'innovation et de la production des cellules photovoltaïques en lien avec le transfert technologique et de la propriété intellectuelle. Enfin, la méthode de collecte des données est décrite.

Le quatrième chapitre analyse les brevets recueillis en vue de répondre aux questions de recherche et aux hypothèses. Les quatre hypothèses y sont testées. Une discussion sur les résultats conclut ce chapitre.

Enfin, au cinquième chapitre, la conclusion revient sur les résultats obtenus en lien avec le cadre théorique, sur les limites de l'étude et les possibilités de recherches futures.

MOTS-CLÉS : cellules photovoltaïques; propriété intellectuelle; brevets; citations de brevet; stratégies d'entreprise et brevets; R&D; dynamique d'agglomération; systèmes d'innovation; transfert technologique; innovation.

SUMMARY

The goal of this study is to create a global portrait of the evolution of solar energy technology. Specifically, it aims to explore technological transfers, both short and long term, to examine the diverse international technological tendencies.

The first portion outlines the theoretical framework. The literature review deals with the innovation systems, anchor tenant, the life cycle, technological transfer, knowledge transfer, and finally enterprise strategy as it is linked with the intellectual property in the cells photovoltaic sector.

The second portion exposes the solar technological applications. A number of challenges are analysed. All of these are in order of ecology, technology, politics, economic, intellectual property and innovation.

On the basis of what has been presented in the previous chapters, the third part exposes the methodological framework. The scientific and practical pertinence, along with the research questions and hypotheses, are presented. These will serve to explore the spatial and temporal of the evolution and of the production of the photovoltaic cells as linked with the technological transfers and the intellectual property. Finally, the method of data collection is described.

The fourth chapter analyses the gathered patents with the goal of answering the research questions and hypotheses. The four hypotheses have been tested and a discussion on the results concludes this chapter.

Finally, in the fifth chapter, the conclusion comes back to the obtained results linked to the theoretical framework, the limitations of the study and the possibilities for future research.

KEYWORDS : Photovoltaic cells; intellectual property; patents; patent citations; strategic business and patents; R&D; Dynamic of agglomeration; Innovation systems; Technology transfert; Innovation.

INTRODUCTION

Depuis la révolution industrielle, l'être humain utilise les énergies traditionnelles fossiles faisant en sorte que le dioxyde de carbone et d'autres gaz ont contribué au réchauffement climatique. Des dommages irréversibles sont désormais présents dans notre environnement naturel. De plus, les énergies fossiles vont éventuellement se faire plus rares, et entraîneront, par le fait même, une explosion des prix.

La croissance économique, jumelée à l'augmentation de la population mondiale, font en sorte que les besoins énergétiques sont grandissants et se font plus pressants. Par conséquent, ce contexte général environnemental et énergétique nous amène à voir qu'il existe une demande croissante pour les énergies renouvelables. Parmi celles-ci, l'offre et la demande pour l'énergie solaire ont augmenté de manière incontestable.

Dans le contexte actuel dans lequel les industries et les technologies fondées sur la science et l'innovation sont le moteur du développement économique des pays avancés, il est important d'étudier plus particulièrement le secteur de l'énergie photovoltaïque parce qu'il connaît une forte croissance. Il nous semble aussi l'une des énergies renouvelables les plus porteuses, par comparaison aux énergies éoliennes, géothermiques, hydrauliques, et celles découlant de la biomasse.

La création et la diffusion du savoir sont des éléments importants de la croissance économique. Nous avons donc choisi de mesurer l'innovation par le biais de la propriété intellectuelle. Notre étude s'intéresse à trois aspects de celle-ci. D'abord, l'aspect microéconomique s'intéressera à la firme, à son innovation et à sa propriété intellectuelle. L'aspect macroéconomique nous amènera à étudier le flux des

connaissances et leur évolution internationale. Au niveau de l'aspect méso-économique, l'étude portera sur le phénomène d'agglomération pour comprendre le transfert des connaissances interindustrielles au sein des grappes.

La présente étude se divise en cinq parties. La première partie situe notre sujet d'étude, l'innovation et le transfert technologique dans le secteur des cellules photovoltaïques, par rapport à la littérature. La deuxième partie porte sur les diverses applications de l'énergie solaire. Ensuite, la troisième partie traite de la méthodologie, établit la problématique et expose l'analyse des brevets. La quatrième partie examine les résultats obtenus. Enfin, la cinquième partie vise à analyser et à discuter les résultats de recherche à travers les hypothèses nous donnant ainsi l'occasion de tirer des conclusions pertinentes en regard avec notre question de recherche.

CHAPITRE I

CADRE THÉORIQUE

Cette partie théorique explore les dynamiques industrielles par le biais du paradigme évolutionniste. On a expliqué les dynamiques industrielles par, entre autres, les théories du cycle de vie, les systèmes régionaux d'innovation et les organisations d'ancrage ; puis, au niveau des firmes, on a mis à contribution les stratégies de prise de brevet et la diversité technologique. Celles-ci seront décrites suite au survol du paradigme évolutionniste qui constitue notre angle d'analyse.

1.1 Paradigme évolutionniste

Le paradigme évolutionniste demeure un courant minoritaire en économie. Les économies évolutionnistes ont comme points communs l'analyse des dynamiques des procédés, des changements et de l'innovation.

Dans le cadre de cette économie, l'innovation mène à la diversité des façons de faire et les technologies alimentent la compétition. L'imitation des pratiques et des technologies est la principale reproduction des pratiques technologiques qui sont sélectionnées parmi les acteurs. Les changements résultent d'une adaptation progressive au travers d'une sélection qui s'opère à différents niveaux. Les principaux indicateurs de sélection de diversité des pratiques et des technologies sont les règlements et les institutions. Bref, les éléments centraux de l'économie évolutionniste sont la diversité, la création de la diversité, la sélection, la rationalité limitée, la dépendance aux sentiers et l'enfermement technologique.

1.2 Théorie des systèmes d'innovation

Il existe aussi un aspect systémique de l'innovation dans lequel l'aspect géographique prédomine. Cette dynamique, cherchant à trouver la causalité entre le territoire, la localisation et le développement économique, a intéressé plusieurs chercheurs. Notamment, elle a été étudiée dans un contexte national, régional, technique ou sectoriel.

1.2.1 Les systèmes nationaux d'innovation

Au fil de leur évolution temporelle, les systèmes nationaux d'innovation (SNI) sont passés du contexte historique, à l'institutionnel puis évolutionnaire. En effet, les racines des SNI remontent aux travaux de List de la fin du XIXe siècle dans le cadre d'une stratégie allemande de rattrapage économique. Les travaux de Schumpeter ont également contribué au concept en ajoutant à cette base la dimension environnementale, sociale, et économique pour la création de l'innovation. Par la suite, Freeman, avec son ouvrage des années 1980, a pu développer les bases du concept des systèmes nationaux d'innovation actuels en soulignant l'importance d'un rôle actif du gouvernement pour promouvoir les infrastructures technologiques. Puis, d'autres chercheurs, parmi ceux-ci Lundvall (1992), Nelson (1993) et Edquist (1997), se sont joints à la pensée de Freeman en reconnaissant la multiplicité des formes d'apprentissage grâce à la circulation des connaissances obtenue par les rapports de coopération entre firmes et laboratoires et entre producteurs et utilisateurs de technologies.

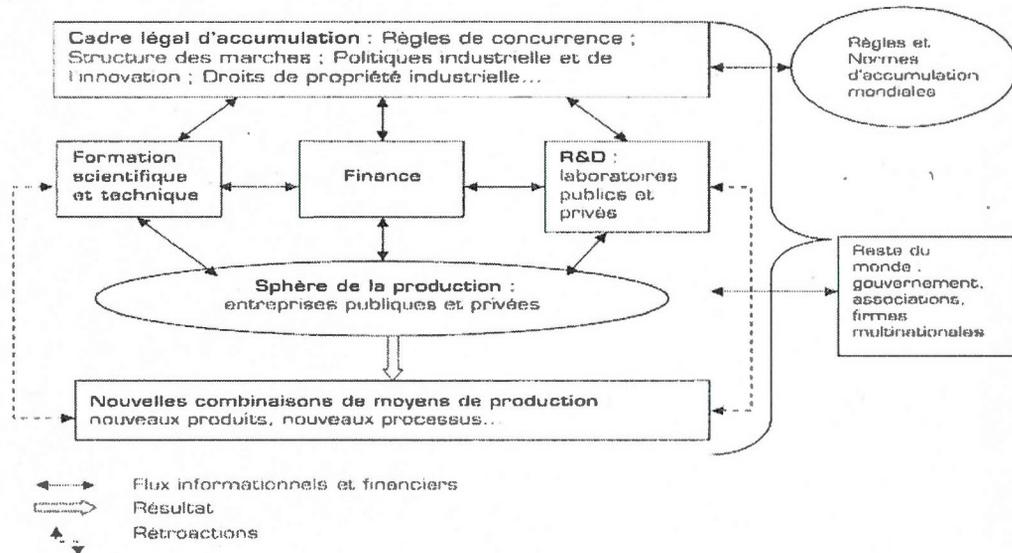
Les SNI soulignent que les échanges d'informations et de technologies entre les personnes, les entreprises et les institutions sont une clé pour le processus

d'innovation. L'innovation ne peut se faire en isolation. Par conséquent, les SNI englobent un ensemble d'institutions publiques et privées (firmes, laboratoires de recherche, etc.) impliquées dans la réalisation des processus d'innovation qui sont reliés par des activités scientifiques et techniques. Ces dernières sont appuyées des flux financiers, informationnels et par le mouvement de personnes (scientifiques, ingénieurs, travailleurs de toutes qualifications). Un réseau d'institutions publiques et privées soutient également ces activités. Au sein de ce système, des transactions marchandes (formelles) et non marchandes (informelles) sont réalisées permettant ainsi de générer des activités dont les interactions instaurent, importent, modifient et diffusent de nouvelles technologies. Les performances des pays dépendent de ces interactions.

Les systèmes nationaux d'innovation suivent l'évolution des relations économiques internationales grâce à l'abaissement des obstacles aux flux de produits et de capitaux depuis les années 1980. Les grandes firmes cherchent à accroître leur pouvoir sur les marchés internationaux par des accords de coopération, des acquisitions, des fusions et des alliances stratégiques.

Au sein des SNI, l'intervention de l'État se transpose par la mise en place de nombreuses politiques publiques pour d'abord, former et attirer le capital humain par l'entremise de bourses et de subventions universitaires à la recherche. Cette intervention de l'État permet aussi de favoriser la formation technique et scientifique ainsi que l'employabilité de la main d'œuvre par l'octroi de crédits d'impôt, de subventions ou de prêts. L'État fournit également un ensemble de politiques et de lois telles que des règles de concurrence, des droits de propriété intellectuelle, ainsi que des politiques industrielles et de l'innovation.

Figure 1.1 : Les systèmes nationaux d'innovation



Source : Laperche et Uzunidis. 2007

Les SNI peuvent avoir différentes approches centrées sur la production, les savoirs, et les réseaux. Le concept d'innovation diffère également selon l'origine des analystes. Il peut être envisagé d'une façon étroite, dans la même veine que la triple hélice, où les universités, les gouvernements et le monde des affaires constituent trois pôles dynamiques. L'innovation peut aussi être analysée par le biais d'une approche beaucoup plus large. « Innovation is seen as a continuous cumulative process involving not only radical and incremental innovation but also the diffusion, absorption and use of innovation » (Johnson, Edquist, Lundvall, 2003, p.4).

Par conséquent, il n'existe pas de définition unique pour les SNI. Freeman les définit par « The network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import modify and diffuse new technologies » (1987). Lundvall, quant à lui, inclut la notion de connaissance à sa définition. « (...) (The) elements and relationships which interact in the production, diffusion and use of new

and economically useful knowledge... and are either located within or rooted inside the borders of a nation state » (Lundvall, 1992, p.2).

Finalement, en 1992, Niosi, Bellon, Saviotti et Crow ont fourni une définition plus inclusive.

Un système national d'innovation comprend des entreprises, publiques et privées, petites et grandes, des universités et des centres publics, dont l'objet est la production de science et de technologie à l'intérieur de l'espace national. Ces acteurs interagissent en termes techniques, commerciaux, légaux, sociaux ou politiques, aussi longtemps que le but de ces interactions est le développement, la protection, le financement ou la régulation de nouvelles sciences et technologies. (p.223)

En complément aux SNI, lorsqu'il est question de région, il est essentiel d'inclure les systèmes régionaux d'innovation.

1.2.2 Les systèmes régionaux d'innovation

Le concept des systèmes régionaux d'innovation (SRI) est apparu en 1992 avec Cooke. Il se définit comme un ensemble d'institutions (firmes innovantes, universités de recherche, capital de risque, laboratoires gouvernementaux et d'organismes publics) englobant les flux des connaissances, de personnel, de technologies incorporées, de financement pour la recherche et de cadres réglementaires qui ont lieu au niveau régional (Niosi, 2004). Ces échanges favorisent de nouvelles connaissances et, par conséquent, l'innovation.

La région constitue un espace où des collaborations entre les entreprises et les organisations créatrices et diffuseuses de connaissances, telles que les universités, les laboratoires, les instituts, les associations d'affaires et les agences financières ont lieu. Dans ce contexte, il incombe de définir les acteurs : les entreprises (entreprises de R-D, PME, grands groupes, filiales de grands groupes), la recherche publique (centres de recherche régionaux et universités), les gouvernements régionaux et autres institutions territoriales, les intermédiaires financiers). Par la suite, les différents liens entre eux doivent être identifiés.

L'influence du milieu d'implantation des entreprises a donc un poids prépondérant sur les activités et les échanges formels et informels de celles-ci. Comme les entreprises n'innovent pas en vase clos, elles sont grandement stimulées par leur environnement immédiat.

Généralement, dans les pays industriels, l'innovation se concentre le plus souvent dans de grandes régions métropolitaines, telles que New York, Los Angeles, Boston, ou encore Tokyo. Cependant, les politiques publiques ont rarement été capables de diriger les pôles de l'innovation vers de petites villes ou de régions périphériques puisque les externalités sont trop imposantes. Les SRI incluent une offre, comprenant l'infrastructure R-D comme source de la connaissance, et une demande, provenant des entreprises privées, utilisant les connaissances scientifiques.

Dès son entrée en jeu, les SRI ont pu inspirer les politiques publiques sur l'innovation de plusieurs gouvernements, organismes internationaux et l'OCDE parce qu'ils sont un instrument efficace pour faire la promotion de la compétitivité et de la croissance

des régions (Park, Lee et Park, 2009). Ils permettent aussi de relever l'interaction entre les différents agents.

Il faut aussi considérer que les structures industrielles de chacun des pays varient énormément. Porter dénote une différence entre les régions concernant les salaires, la croissance des salaires, les emplois et les brevets. La structure de ces groupements varie également de région en région. Il en résulte que la recherche, le développement et l'innovation se concentrent dans quelques 30 pays industriels et en voie d'industrialisation (Porter, 2003). Les autres 150 pays sont typiquement pauvres ou encore riches, mais sous-développés (exemples: l'Arabie Saoudite et Dubaï). La performance des économies régionales relève de différents groupements locaux.

Cependant, les SRI comportent des imprécisions quant aux limites géographiques des régions (villes, régions métropolitaines, provinces, États, aires géographiques) qui ne sont pas bien définies (Doloreux et Bitard, 2005). Dans la même veine, Zhegu (2007) souligne que les institutions nécessaires pour qu'un SRI existe ne sont pas bien analysées. Il y a des SRI localisés dans des régions plus petites comme Ottawa au Canada ou Cambridge au Royaume-Uni. Il n'y a pas non plus de limites industrielles. Il y a des régions fondées sur les connaissances et des activités de services telles que Silicon Valley en Californie, Singapour, ou Bade-Wurtemberg en Allemagne. Il existe aussi des SRI plus localisés tel que le Technopolis au Japon.

Depuis l'apparition du concept des SRI, l'innovation a été associée à la géographie. Les régions divergent selon les spécialisations et les institutions. Il en est de même au sein même des nations. Les capacités d'innovation diffèrent de région en région en raison de la capacité gouvernementale à attirer des laboratoires de recherche privés,

de la présence de lieux d'enseignements supérieurs et de laboratoires publics. La qualité de ceux-ci joue également un rôle.

1.2.3 Les systèmes sectoriels d'innovation

En complément aux systèmes nationaux d'innovation, les systèmes sectoriels d'innovation (SSI) ont l'avantage de se concentrer sur un secteur donné. Un secteur regroupe un ensemble d'activités hétérogènes qui sont reliées entre elles par des groupes de produits répondant à une demande précise. Les secteurs mettent également l'accent sur l'approche interdisciplinaire où l'apprentissage et le partage des connaissances sont deux points déterminants de l'innovation. À ce titre, les secteurs de la pharmaceutique et de la biotechnologie, des télécommunications ou des logiciels peuvent servir d'exemple.

Les SSI regroupent des firmes qui développent, fabriquent et utilisent des produits d'un secteur spécifique. Ces firmes sont reliées entre elles de deux manières: soit par un processus de coopération dans le développement de la production et de la technologie ou soit par un processus compétitif et de sélection d'activités d'innovation et de marché (Geels, 2004).

Selon Malerba (2002), les SSI peuvent être définis ainsi :

A sectoral system of innovation and production is a set of new and established products for specific uses and the set of agents carrying out market and non-market interaction for the creation, production or sale of

those products. A sectoral system has a knowledge base, technologies, inputs and an existing, emergent and potential demand. The agents composing the sectoral system are organizations and individuals (e.g. consumers, entrepreneurs, scientists). (p.250)

Les éléments de base des SSI sont les produits, les agents (firmes ou autres), les connaissances et les processus d'apprentissage, les technologies de base, les intrants (la demande, les liens relatifs et les complémentarités), les mécanismes d'interactions à la fois au sein des entreprises et des firmes externes, les processus de concurrence et la sélection, et enfin, les institutions (Malerba, 2002).

Ces éléments, qui sont en relation avec la demande, sont regroupés en trois composantes selon Malerba (2007). Premièrement, il y a le savoir et la technologie. Dans des secteurs dont les changements sont rapides, ceux-ci peuvent aussi changer promptement. Les liens entre les acteurs jouent donc un rôle prédominant. Cette interdépendance entre la demande et la production constitue une source majeure de transformation, de croissance, d'innovation et de changement.

La deuxième composante est celle des acteurs et les réseaux. Celle-ci est constituée d'agents hétérogènes d'individus et d'organisations qui interagissent au sein d'un processus d'apprentissage, d'échange, de compétition, et de coopération. Dans un SSI, l'innovation résulte d'interactions systémiques entre les différents acteurs et de l'échange de connaissances en lien avec l'innovation et sa commercialisation. Les interactions comprennent des relations marchandes et non marchandes qui sont plus élargies que le marché des licences techniques et des connaissances, que des alliances interentreprises et des réseaux formels d'entreprises.

Troisièmement, les institutions exercent un rôle majeur en influençant l'innovation selon les secteurs. Par exemple, les systèmes des propriétés intellectuelles peuvent affecter positivement ou négativement l'innovation. Les institutions peuvent également favoriser un secteur au détriment d'un autre.

Les industries sont de plus en plus mondiales. Les frontières nationales et régionales sont plus larges. En utilisant de larges limites sectorielles, il est possible d'évaluer les liens de la structure et des interdépendances dans les processus de transformation qui s'étendent sur un plus grand nombre de produits, d'acteurs et de fonctions (Malerba, 2007). Somme toute, dans des environnements où les changements technologiques sont rapides, l'innovation occupe une place centrale dans les SSI. Ces dernières engendrent la croissance et affectent le degré de compétition des firmes et des pays.

1.3 Théorie de la firme d'ancrage

Les grandes entreprises exercent un pouvoir sur la productivité et la viabilité d'un système régional d'innovation. Pour analyser le rôle d'attracteur et d'incubateur joué par les grandes entreprises, la théorie de la firme d'ancrage a donc été développée par Agrawal et Cockburn (2012) et Feldman (2003).

Les acteurs qui font partie d'une grappe tendent à être plus innovants. Les recherches empiriques ont démontré que la diffusion s'opérait géographiquement (Jaffe, Trajtenberg et Henderson, 1993). Cette diffusion du savoir est un élément central pour la croissance économique et pour l'avantage régional (Porter, 1998).

La théorie de la firme d'ancrage scrute les effets et les mécanismes de diffusion des externalités de connaissance en identifiant les facteurs ayant contribué à la spécialisation d'une région et ayant pu influencer la croissance de ses entreprises.

1.3.1 Les origines du concept

Les origines de l'étude du phénomène des agglomérations géographiques des industries remontent à Marshall en 1890. Ses recherches sur les districts industriels soutiennent que les agglomérations spécialisées favorisent davantage l'émergence d'entreprises innovantes et compétitives en raison de l'externalité des connaissances. Cette existence d'une spécialisation industrielle dans un secteur d'activité précis d'une région a été adoptée par, entre autres, Becattini (1990).

Dans la même lignée des écrits de Marshall, Porter a amené le concept de grappe (cluster) autour des années 2000.

Clusters are geographic concentrations of interconnected companies and institutions in a particular field. Clusters encompass an array of linked industries and other entities important to competition. They include, for example, suppliers of specialized inputs such as components, machinery, and services, and providers of specialized infrastructure. Clusters also often extend downstream to channels and customers and laterally to manufacturers of complementary products and to companies in industries related by skills, technologies, or common inputs. Finally, many clusters include governmental and other institutions - such as universities, standard-setting agencies, think tanks, vocational training providers, and trade associations - that provide specialized training, education, information, research and technical support. (Porter, 1998, p.78)

En somme, les grappes constituent un groupe géographiquement proche de compagnies et d'institutions associées dans un domaine particulier, liées par des complémentarités et par des éléments communs.

Au modèle de Marshall s'ajoute également le concept des « pôles de croissance » de Perroux (1970). Ce concept est un emprunt de la création des grands centres commerciaux du domaine de l'immobilier appliqué à l'économie de l'innovation. Nous pouvons prendre l'illustration d'un centre commercial dont le locataire est un grand magasin bien établi, possédant une bonne renommée et une clientèle fidèle. Celui-ci sert de noyau autour duquel s'agglutinent des boutiques moins connues pour que ces dernières puissent profiter de la clientèle du grand magasin. Ces premiers créent en fait des externalités de demande pour les autres commerces avoisinants puisqu'elles génèrent un trafic commercial et favorisent l'augmentation des ventes pour les magasins moins connus (Agrawal et Cockburn, 2002).

1.3.2 Les firmes d'ancrage

À la suite de ces concepts découlant des travaux de Marshall, Porter et Perroux, la théorie des firmes d'ancrage a été mise de l'avant au début des années 2000. La présence de firmes d'ancrage attire la main-d'œuvre spécialisée et contribue au flux d'information dans le cadre d'une attraction interindustrielle. Qui plus est, des entreprises satellites s'y greffent pouvant ainsi favoriser le niveau d'expertise dans une grappe ou tout simplement y ajouter de nouveaux domaines d'exploitation. L'attrait de travailleurs spécialisés dans une région a pour conséquence de créer à leur tour de nouvelles entreprises dans la région.

Selon Agrawal et Cockburn, une firme d'ancrage doit correspondre à deux critères. Le premier est la présence d'une grande firme engagée dans la R-D. Le deuxième est la capacité d'absorption d'une technologie particulière pour ou par une région spécifique. « Management (or organizational) routines diffuse slowly across regions, nations, industries and companies » (Agrawal et Cockburn 2002, p.3).

Par ailleurs, cette théorie d'ancrage peut également être appliquée au secteur universitaire puisque celle-ci peut produire à la fois de la main-d'œuvre spécialisée et de l'innovation. Niosi et Bourassa (2008) ont fait état de l'agglomération de sociétés de technologies de l'information dans la région d'Ottawa-Hull à l'époque de Nortel qui peut servir d'exemple à cet effet.

Ces externalités peuvent faciliter l'entrée des PME qui cherchent à bénéficier, notamment, de la recherche universitaire, de la réduction de leurs coûts et de l'amélioration de leurs perspectives de rentabilité et de croissance (Agrawal et Cockburn 2003). De plus, en raison du bassin d'emplois qu'elles développent, les organisations d'ancrage (grandes sociétés ou universités) jouent un rôle crucial. En effet, elles favorisent la création de sociétés dérivées (spin-offs) en plus d'attirer des fournisseurs consacrés et des clients (Feldman, 2002).

La firme d'ancrage crée une externalité positive stimulant la demande, en élargissant le marché local et en attirant d'autres entreprises dans la région. Conséquemment, l'influence positive mène d'autres firmes à joindre une grappe ou même encourager le démarrage de nouvelles entreprises. Puisque la mobilité de la main-d'œuvre interrégionale est en lien direct avec le flux de connaissances, elle est plus susceptible de circuler entre les individus qui sont à proximité (Jaffe, Trajtenberg et Henderson,

1993; Agrawal, Kapur et McHale, 2008). Ces derniers (2008) scrutent davantage cette avenue en traitant des typologies des réseaux sociaux qui se bâtissent autour de la confiance entre groupes ethnique ou professionnel.

Bref, l'activité des firmes d'ancrage joue un rôle significatif dans l'analyse des dynamiques de l'agglomération. Ces organisations permettent d'offrir un bassin d'externalités locales de connaissances, une main-d'œuvre spécialisée, la présence d'universités ainsi que des capitaux de risques (Niosi 2005). Feldman (2003) abonde en ce sens tout en suggérant que les firmes innovantes ont tendance à s'agglomérer là où les ressources nécessaires sont présentes et où cette présence est attribuable à des innovations précédentes.

Les entreprises peuvent tirer bénéfice des externalités de la connaissance, qui réduisent, entre autres, les coûts de l'innovation. C'est pourquoi il est opportun de décrire les cycles de vie qui rendent l'innovation essentielle.

1.4 Théorie du cycle de vie du produit de Vernon à Klepper

La théorie du cycle de vie est une analogie adaptée à l'entreprise du cycle de développement des organismes biologiques. Toutefois, le cycle de vie employé en commerce n'est pas cyclique, mais séquentiel. Il prend en considération que l'individu dépérit et meurt pour se concentrer sur la reproduction (Frois, 1997).

En s'appuyant sur les préceptes de Vernon (1966), la majorité des produits a un cycle de vie. Ce dernier traverse généralement cinq stades sous la forme d'une courbe de Gauss. Il y a d'abord la période de développement durant laquelle les coûts sont

importants et les recettes faibles. Si le produit arrive à dépasser la période de gestation, il entre alors dans la phase d'introduction du produit au marché. Les coûts de production et de développement demeurent élevés et les ventes ne permettent pas un retour sur l'investissement. Par la suite, entre en jeu la période de croissance durant laquelle l'augmentation des ventes suscite l'intérêt des grandes entreprises envers les PME innovantes. Puis, la période de maturité s'installe. Durant celle-ci, il y a, entre autres, une anticipation en R-D afin de veiller au remplacement éventuel du produit devenu mature. Et, enfin, le déclin durant lequel une diminution généralisée du produit permet l'apparition de produits de remplacement. Finalement, le marché se stabilise.

L'étude des processus de développement des produits et des industries sous l'angle cyclique a permis la compréhension de certaines régularités des dynamiques industrielles (Klepper, 1996). Les régularités ont trait à la façon dont les entrées et les sorties s'effectuent sur le marché. Elles dépendent aussi de l'innovation qui varie depuis la naissance du produit à sa maturité.

Le modèle de Klepper (1996) met en lumière deux types d'innovation, soit celle du produit et celle du procédé. Il prédit que dans un cycle de vie, les firmes mettent davantage l'accent sur l'innovation du procédé que sur le produit lui-même. En s'appuyant sur les théories évolutionnistes de l'industrie de Nelson et Winter (1982) ainsi que de la modélisation entre la structure du marché et la R-D, le modèle de Klepper met l'accent sur les capacités d'innovation de l'entreprise, du réseautage, et de l'importance de l'investissement en R-D.

En effet, lorsqu'un nouveau produit est introduit sur le marché, cela entraîne une incertitude envers les préférences et les attentes technologiques des utilisateurs. De ce fait, le produit est offert sur le marché sous différentes formes. Ainsi, les utilisateurs choisissent parmi ces différentes alternatives et les produits s'améliorent en conséquence de ces préférences commerciales. Les produits qui arrivent à s'ajuster contribuent à ébranler le nombre de producteurs en s'emparant du marché.

Les changements technologiques imposés par le marché peuvent parfois avoir un impact décisif pour une industrie. Ernst (2003) cite l'exemple de l'industrie du disque dur aux États-Unis qui a vu plusieurs joueurs écartés parce qu'ils n'ont pas considéré le potentiel de nouvelles technologies qui ont apporté un changement radical à leur type de produit.

Le succès d'un produit influence les technologies de la production. Tout comme les paradigmes scientifiques, des paradigmes technologiques s'installent. Ces technologies se regroupent autour d'un même paradigme dominant et se standardisent progressivement selon le succès du nouveau produit (Dosi, 1993). La stratégie organisationnelle se centre, dans un premier temps, sur l'innovation et la commercialisation de la nouveauté. Puis, elle s'oriente vers la maîtrise des coûts lorsque le produit devient mature.

Ainsi, la standardisation des technologies et la recherche d'une main-d'œuvre à moindre coût contribuent à diffuser la production dans les pays en développement. Les nouveaux produits sont habituellement générés et commercialisés, en premier lieu, dans les pays développés pour ensuite être transférés vers les pays en voie de développement. En effet, ces premiers sont susceptibles de faire face aux coûts de

recherche, de développement et de marketing qui sont très élevés lors de la première phase du cycle de vie du produit. Bien qu'il ne soit pas garanti que la meilleure innovation soit retenue, il en demeure néanmoins qu'un modèle dominant émerge. Au fur et à mesure que les techniques de production deviennent standardisées, la production tend à se déplacer dans des pays moins développés (Segerstrom, Anant et Dinopoulos, 1990).

Les cycles de vies comportent des phases de sommets et des déclin. La diffusion de la connaissance et du transfert technologique permet de contrer les périodes les plus creuses pour permettre aux entreprises de renouer avec de plus fortes croissances.

1.5 Le transfert technologique

Le transfert technologique est la diffusion d'un produit, d'une technique ou d'une méthode de management innovante et qui est relayé dans les économies (Baptista, 1999). Selon Rogers, la diffusion est un procédé par lequel l'innovation est communiquée par certaines voies au fil du temps entre les membres d'un système (Rogers, 1995). Ce procédé passe par la gestion ou les routines organisationnelles en se propageant lentement dans les régions, nations, industries et compagnies (Niosi et Chabchoub, 2004).

Ce processus se caractérise par sa lenteur et sa grande variabilité des taux d'acceptations d'une invention à l'autre. Le manque d'information des potentiels usagers est la principale raison de cette lente diffusion. Dans les modèles évolutionnistes, l'incertitude à propos de l'utilité de la technologie, sur les

changements affectant cette dernière, sur les externalités de réseaux et la dépendance au sentier peuvent expliquer ces caractéristiques.

De nombreux auteurs ont analysé le transfert technologique sous l'angle de la géographie, de sa diffusion et de son réseautage.

1.5.1 Le transfert technologique sous l'angle géographique

Les études géographiques sur la diffusion de la technologie ont commencé entre les années 1950 et 1970. Celles-ci portaient sur les technologies de l'agriculture. Griliches (1957) en étudiant le maïs hybride, a dénoté que la variation spatiale de la disponibilité de l'innovation a été un facteur majeur dans la détermination de la vitesse de sa diffusion. Dans sa revue, Baptista (1999) fait référence à l'ouvrage de Webber de 1972 qui a établi que le processus d'adoption d'une innovation requière d'abord une évaluation et un essai de celle-ci. De plus, la plus grande partie de l'information nécessaire pour transmettre l'innovation passe principalement par les contacts personnels (Baptista, 1999).

Dans la même optique géographique, un autre courant a permis d'établir une corrélation entre la taille d'une ville et la diffusion de la technologie ainsi que l'adoption hâtive celle-ci (Baptista, 1999).

1.5.2 La diffusion du transfert technologique

Le transfert technologique peut s'opérer à la fois au sein des firmes de même qu'entre elles. À l'intérieur d'une firme, son degré de capacité à utiliser le flux de la connaissance est variable. Les grandes firmes disposent habituellement d'un meilleur bassin de connaissances, elles sont donc normalement les premières utilisatrices de nouvelles technologies.

Selon Cohen et Levinthal (1990), la capacité d'absorption de nouvelles méthodes d'une entreprise est basée sur la connaissance qu'elle possède déjà. À ce titre, les processus d'apprentissage fondés sur la R-D en accélèrent l'adoption. Les retombées de la R-D ont donc un impact crucial sur la transmission de nouvelles connaissances, ce qui favorise à son tour l'innovation et l'amélioration de l'organisation. Elles soutiennent aussi l'adoption de technologies récentes (Baptista, 1999).

Toutefois des erreurs et des incompréhensions surviennent dans l'application de ces nouvelles technologies. Cela peut être la conséquence d'une communication défailante, de l'éloignement des services ainsi qu'à l'incapacité d'absorption. Selon Batista (1999), cela peut dépendre également de la proximité géographique et de la fréquence des contacts.

La réticence au changement prend aussi souvent le dessus sur la nouveauté et devient ainsi un autre frein au transfert technologique. D'abord, les raisons derrière l'adoption d'une innovation ne sont pas toujours évidentes pour l'utilisateur. Par conséquent, il peut s'écouler plusieurs années avant que l'utilisateur puisse les intégrer. Les changements au sein d'une organisation peuvent exiger une nouvelle expertise et

peuvent en rendre d'autres obsolètes. La culture organisationnelle, les contrats et les conventions collectives jouent parfois un rôle dans la difficulté d'appliquer le changement et rendre son adoption laborieuse (Niosi et Chabchoub, 2004).

1.5.3 Transfert technologique et les réseaux

Les réseaux facilitent l'adoption de technologies. Les externalités et la compétition font en sorte que l'adoption des technologies débute souvent dans les villes (Audrescht et Feldman, 2002). En effet, les villes activent la diffusion et sélectionnent les technologies alternatives. Leur adoption en réduit ainsi le prix de la technologie.

Une région peut être effectivement un environnement d'apprentissage dans lequel les entreprises et les institutions ont l'occasion d'apprendre en interagissant entre elles (Doloreux 2002). Le fait d'être rapprochées géographiquement confère une externalité de la connaissance qui incite les entreprises à innover. Audrescht et Feldman (2002) ont établi que la propension à l'agglomération est plus propice dans les industries de nouvelles technologies.

Puisque les ressources internes d'une firme sont parfois insuffisantes, le réseautage externe permet d'aller chercher des connaissances et des compétences complémentaires (Cohen, 1990). Le réseautage permet ainsi de réduire les incertitudes par le partage du savoir. De plus, les échanges d'informations qu'il procure facilitent l'adoption de nouvelles technologies en particulier pour les plus petites entreprises. En menant des activités collectives, les firmes réalisent ainsi un apprentissage organisationnel. Conjuguées aux réseaux locaux, les proximités

spatiales, culturelles et sociales sont des éléments cruciaux dans ce processus d'apprentissage interactif (Doloreux 2002). De plus, le réseautage favorise également une fluidité de la connaissance provenant du transfert des salariés et des contacts personnels.

L'adoption de nouvelles routines implique un certain niveau de connaissance, une expertise, une connaissance tacite qui est plus facilement transférée par la communication directe (face à face). Par conséquent, les changements de routines se font plus aisément dans une région géographique rapprochée.

Il est à noter qu'une spécialisation régionale, en connaissances et en compétences, dans un secteur industriel donné, constitue, selon Porter, un avantage compétitif (Porter, 2003). Cette spécialisation repose sur la combinaison de plusieurs éléments allant de la qualité à la spécialisation de l'offre, à la demande locale et à la présence d'industries en lien vertical ou horizontal à l'industrie principale.

Ces études démontrent clairement que l'emplacement et la proximité ont un rôle déterminant dans le transfert technologique. Le brevet semble aussi constituer une avenue utile dans le domaine des inventions. Mais, avant d'aborder ce sujet, nous allons traiter plus précisément de la diffusion de la connaissance.

1.6 Diffusion de la connaissance

Selon De Bondt (1996), le phénomène de la diffusion de la connaissance se définit ainsi : « the concept of a knowledge spillover is specified as involuntary leakage or voluntary exchange of technical knowledge ». Nieuwenhuijsen et Van Stel (2000) le

décrivent comme une « (...) situation in which one economic agent benefits from R&D efforts of another agent without any tangible remuneration » (traduction de Lukash et Plasmans 2002). La diffusion de la connaissance est donc en lien direct avec trois facteurs économiques décisifs : la spécialisation, la compétition et la diversité (Lukash et Plasmans 2002).

1.6.1 Diffusion de la connaissance à l'intérieur des firmes

Il serait hasardeux de voir un simple processus linéaire de la diffusion de la connaissance au niveau des firmes. La connaissance technologique, qui découle d'une invention ou une innovation, peut aussi être transformée pendant le processus évolutionnaire. Il en résulte une création d'inventions ou des innovations subséquentes.

Le transfert peut se faire à l'intra ou à l'extra d'une firme. À l'intérieur de celle-ci, le transfert permet de maximiser la contribution en R-D par le biais des produits, des procédés et des services. Il favorise le développement d'un savoir technologique. Ce savoir doit être préservé pour la continuité des projets en R-D. En effet, puisque le savoir tacite se situe dans l'esprit de l'inventeur, le rôle de la gestion des ressources humaines en R-D devient fondamental dans le maintien de la connaissance au sein de l'entreprise.

Quant au transfert technologique à l'externe, le savoir technologique la prend forme de licences d'exploitation et d'alliance en R-D. La motivation première de ce transfert

à l'externe est l'atteinte rapide d'un gain d'efficacité d'un coût plus faible en R-D, de même qu'une prise de risque minimale (Ernst, 2003).

Bernstein et Nadiri (1988) utilisent plutôt les termes de transfert vertical ou horizontal. Le transfert se fait à l'horizontal s'il a lieu entre concurrents ; tandis que s'il est à la vertical, il s'effectue vers d'autres industries.

1.6.2 La diffusion des connaissances et les brevets

La diffusion des connaissances peut se produire à travers de nombreux canaux et mécanismes, y compris des échanges volontaires, tels que des publications, des présentations publiques, des accords de licence ou de collaboration. Il se produit aussi des fuites involontaires, telles que le recrutement, ou le commerce des biens intermédiaires (Mansfield, 1985).

Plusieurs études empiriques abordent la question du flux de connaissances et des brevets depuis quelques années. Parmi ces chercheurs, Jang, Lo et Chang (2009) se sont intéressés au transfert de la connaissance entre les précurseurs et les retardataires en analysant les citations de brevets.

Park, Lee et Park (2009) ont établi que le flux des connaissances entre les individus se produit à travers deux canaux : incarnés ou désincarnés. Les études les plus récentes ont tendance à privilégier davantage les flux de connaissances désincarnés. Cela peut prendre notamment la forme de l'étude de brevets en invention conjointe,

en mobilité de ressources humaines, en alliances stratégiques et/ou de citations de brevets (Park, Lee et Park 2009).

Jaffe, Trajtenberg et Henderson (1993) ont examiné la position technologique des États-Unis afin d'évaluer l'impact de l'environnement technologique sur les firmes. Ils ont dénoté que les citations de brevets se font plus fréquemment à l'intérieur du même État américain plutôt qu'entre les différents États.

La théorie des systèmes d'innovation, des transferts et de diffusion de la connaissance ainsi que la localisation géographique n'expliquent pas toutes les dynamiques industrielles. Les stratégies d'entreprises permettent d'explorer un autre aspect de cette question.

1.7 Les stratégies d'entreprise et la propriété intellectuelle

Dans cette section, nous traiterons de stratégies d'entreprises, de l'utilisation des brevets comme mesure de l'innovation ainsi que comme outil stratégique. Dans le secteur de la R-D, la diversité technologique constitue également une stratégie de choix pour les entreprises. Elle permet de contourner ses rivaux et de s'assurer une position technologique avantageuse dans un environnement compétitif.

1.7.1 Théorie de la diversité technologique des entreprises

La croissance et la diversité technologique constituent des défis constants à la fois pour l'entreprise et pour le développement du produit. Elles sont une force motrice des quatre grandes fonctions de l'entreprise: la croissance des entreprises, l'augmentation de l'investissement en R-D, l'accroissement du réseautage externe pour les nouvelles technologies par des moyens divers (tels que les acquisitions, les alliances et les licences), ainsi que des occasions de se lancer dans une nouvelle technologie afin de créer de nouvelles opportunités d'affaires. Il existe une multitude de stratégies technologiques démontrant qu'il n'y a pas d'entreprises types ni d'homogénéité dans les différentes approches.

Selon Granstrand, Patel et Pavit (1997), les compétences technologiques des corporations ont la possibilité de rejoindre une plus grande variété de secteurs que leur activité de production. Les développements technologiques permettent d'élargir constamment le spectre d'activités et, conséquemment, les technologies doivent être traitées différemment.

Granstrand, Patel et Pavit (1997) ont identifié trois incitatifs s'appliquant à la diversification technologique des entreprises. Premièrement, il y a l'opportunité d'introduire de nouvelles technologies sur des produits et des systèmes déjà existants apportant ainsi des performances améliorées et de nouvelles fonctionnalités. Le deuxième incitatif est la possibilité de maintenir à jour les « vieilles » technologies. Enfin, le troisième est de permettre la coordination de l'innovation et des changements des produits de base ainsi que les changements dans le système de production et dans le réseau de fournisseurs.

Dans cette même étude, Granstrand, Patel et Pavit (1997) ont fait un classement des 440 entreprises les plus actives dans le monde possédant des compétences considérables en dehors de leurs technologies distinctives. Alors que la plupart des grandes entreprises sont très diversifiées dans leur gamme de produits, elles ont un éventail plus large de compétences technologiques qui ne sont pas toujours exploitées. Ils relèvent également que la plupart des grandes firmes ont un plus ample besoin de compétences technologiques que de produits.

Les raisons de cette diversité technologique sont une interdépendance avec la chaîne d'approvisionnement et l'élargissement des possibilités technologiques. Il existe également une forte interdépendance entre ce que les firmes développent et fabriquent ainsi que ce que ces mêmes firmes requièrent de leurs fournisseurs, telles que la machinerie et les logiciels (Granstrand, Patel et Pavit, 1997).

1.7.2 L'utilisation des brevets

Les brevets fournissent à l'innovateur un droit légal d'exclure un compétiteur ou à un autre inventeur de reproduire une invention reconnue pour être nouvelle, non évidente et utile. À l'interne, la protection par brevets permet de supporter l'usage d'une technologie puisqu'il protège l'inventeur de l'imitation pour un temps variable. À l'externe, les brevets permettent de réaliser des bénéfices tant monétaires, par la vente de brevet, que stratégiques pour fournir l'accès à une technologie par la cession de licence ou d'alliance en R-D (Ernst, 2003).

Les brevets permettent, entre autres, de mesurer les activités R-D. À ce sujet, Nordhaus (1969), Griliches (1990), Trajtenberg (1990) et Tseng et al (2011) se sont intéressés à l'analyse de brevets en rapport aux activités d'entrées et de sorties de R-D (Tseng et al, 2011). Griliches (1990) a démontré que les brevets étaient une excellente alternative aux données en R-D lorsque celles-ci étaient déficientes. Quant à Nordhaus (1969), il a abordé la question du nombre de brevets en rapport à la productivité de la firme. Et, Trajtenberg (1990) a établi une relation entre la production de brevets, les dépenses en R-D et les profits de l'entreprise. Tseng et al (2011) ont aussi tenté de démontrer le lien entre l'analyse des informations contenues dans les brevets et les activités commerciales.

Ashton et Sen (1988) ont identifié cinq grandes applications au niveau de l'entreprise pour l'analyse des tendances en matière de brevets 1) l'analyse de technologies concurrentes, 2) la nouvelle évaluation de risque 3) la gestion de portefeuille de brevets 4) la gestion de la R-D et 5) la surveillance sectorielle du produit. Les brevets peuvent aussi être utilisés pour la gestion des ressources humaines puisqu'ils fournissent de l'information objective afin d'identifier les contributeurs au progrès technologique et en vue de déterminer une rémunération adéquate (Ernst 1995).

Dans le cadre de notre étude, nous nous concentrerons à quelques-unes de ces applications, soit à la gestion de la technologie et de la R-D ainsi qu'aux portfolios de brevets.

1.7.3 Les brevets et la gestion de la technologie

Au sein d'un environnement compétitif, l'utilisation des brevets a un rôle influent dans la gestion de la technologie. En effectuant une veille technologique, cette dernière tente d'anticiper les changements potentiels afin de trouver de nouvelles opportunités d'affaires. De nombreux auteurs (notamment Ashton et Sen, 1988, Cohen Levinthal, 1990) ont suggéré l'utilisation de l'information contenue dans les brevets pour effectuer une veille technologique.

Elle est mise en lumière par Ashton et Sen. «Patent information provides a unique planning resource for managing a firm's technology or product development and for systematically evaluating its competitive position relative to other companies in a market area. » (Ashton et Sen, 1988). En plus d'évaluer les changements technologiques, cette étape leur permet de se positionner dans un secteur technologique particulier.

L'analyse des citations de brevets offre aussi l'occasion d'identifier les relations entre les différents acteurs et leur réseautage (Cohen et Levinthal 1990). Cette analyse identifie d'autres organisations dont le profil technologique représente un certain potentiel de collaboration.

Avec l'information contenue dans les brevets, il est possible de situer géographiquement les technologies et les industries qui permettent de répondre aux tâches de diversification. En fait, la cartographie technologique est utilisée lorsque les firmes cherchent à convertir leurs technologies en opportunité d'affaires régionales.

Enfin, les données fournies par les brevets peuvent être utilisées pour identifier les concurrents par une carte des affinités technologiques à l'aide de l'analyse comparative (benchmarking). Celle-ci surveille les activités autour du brevet et la qualité de leurs portefeuilles.

Certaines recherches empiriques (Ernst 1995 ; Blind et al 2006, 2009) démontrent une relation positive entre la performance d'une entreprise et l'action de breveter (Ernst, 2003).

1.7.4 La propension à breveter

La propension à breveter des entreprises est un autre élément du management de la R-D. Il n'existe cependant pas de définition spécifique décrivant la stratégie d'acquisition de brevets. Par contre, la plupart des auteurs s'entendent sur la volonté des entreprises de bloquer leurs compétiteurs et sur l'utilisation des brevets comme outil de négociation avec d'autres compagnies (Blind, 2009).

Plusieurs raisons peuvent motiver une entreprise à breveter. Parmi les motivations les plus courantes, nous pouvons énumérer la protection d'une invention ou d'un savoir technologique, le blocage d'un compétiteur, le désir de bâtir une réputation, le pouvoir d'échanger et la volonté d'utiliser les brevets comme indicateurs de performances du département de R-D et de ses employés (Blind et al 2006).

La propension à breveter dépend principalement du type d'industrie. Dans certains secteurs, en particulier ceux avec d'importantes activités de R-D, les brevets sont souvent utilisés pour sécuriser les inventions technologiques. Ainsi, on assiste à une

augmentation des dépôts de brevets s'il survient une compétition technologique et un danger d'imitation par la concurrence. Dans des secteurs comme ceux des produits pharmaceutiques, des produits chimiques, du pétrole, des machines et des produits fabriqués, la protection des brevets semble jouer un rôle important (Ernst 1995).

Il est clair que les grandes entreprises ont tendance à breveter davantage que les PME. Elles font davantage de la R-D, donc elles ont plus d'actifs complémentaires. Elles possèdent généralement un département juridique, facilitant ainsi les procédures légales et de dépôts de brevets. De plus, plus une entreprise est diversifiée, plus elle aura tendance à breveter. (Cohen et al. 2000).

Des firmes peuvent breveter tout simplement pour générer des revenus ou faire l'acquisition d'une monnaie d'échange avec d'autres firmes. Cela est particulièrement le cas dans le domaine des technologies de l'information. Plusieurs auteurs dont Hall et Ziedonis (2001) ont pu déterminer qu'un grand portfolio de brevets donne plus de poids lors de négociation avec d'autres compagnies. Les négociations en vue de faire une fusion, une acquisition, des contrats de licence ou de coopération de recherche dépendent souvent de la valeur estimée en recherche et en résultats.

Les motivations à breveter peuvent être pour des raisons défensives ou offensives. Une firme va, de façon défensive, breveter dans l'intention d'empêcher une autre firme d'utiliser l'une de ses inventions, même si la firme n'a pas besoin de brevet sur cette invention pour gagner un retour sur son l'investissement sur cette innovation. D'autres firmes voudront simplement posséder un brevet même si elles n'ont pas l'intention d'utiliser commercialement la nouvelle technologie. Cette pratique est employée principalement en vue de garnir un portfolio de brevets. Il peut y avoir

également une intention de licencier les brevets ou une réelle volonté de commercialiser l'idée. Si tel est le cas, l'acquisition d'un brevet devient une façon de bloquer les compétiteurs offrant des technologies similaires (Blind et al, 2009)

Un autre facteur qui incite les entreprises à breveter est que le brevet assure un avantage concurrentiel. Selon Ernst (1995), la protection des brevets fait partie des instruments de maintien d'un avantage concurrentiel, quoiqu'il n'en soit pas le seul. En fait, nous pouvons donner comme autres exemples de bénéfices les délais rapides, les effets positifs sur la courbe d'apprentissage, les efforts de vente et de service, et les produits et la politique tarifaire.

Un nombre restreint de travaux empiriques a traité de la relation entre la propension à breveter et le rendement concurrentiel. Ernst (1995), qui a évalué les comportements d'acquisition de brevets de 50 entreprises allemandes avec leur performance, peut être donné en exemple.

Quant aux limites de la protection par brevet, on constate qu'un concurrent a la possibilité d'inventer autour de l'innovation, et ce, tout à fait légalement. Il faut aussi mentionner que le progrès technologique rapide, les inventions non brevetables, les problèmes de contrefaçon et les coûts de la protection peuvent freiner l'obtention d'un brevet. Comme mentionné précédemment, il en résulte donc que la protection par brevets est moins importante dans certains types industries.

Pour certaines entreprises, une autre motivation à ne pas breveter découle de la volonté de celles-ci de préserver ses secrets de fabrication ou ses marques de

commerce afin de protéger son savoir-faire. De plus, le temps entre l'application et l'obtention du brevet peut être trop long pour le cycle technologique de vie de l'entreprise (Ernst, 2003).

Enfin, la valeur économique d'un brevet varie grandement (Ernst, 2003; Jaffe, Trajtenberg et Henderson, 1993). En effet, la décision de faire breveter une innovation relève d'une décision stratégique. Si une entreprise décide d'entreprendre des démarches afin d'obtenir un brevet sur une invention, c'est qu'elle reconnaît une certaine valeur à celle-ci. C'est la raison pour laquelle la gestion du portfolio de brevets s'avère être un outil de planification pour ce type d'entreprise.

1.7.5 Le portfolio de brevets comme outil stratégique

Un portfolio de brevets constitue un instrument stratégique de la gestion de la R-D parce qu'il permet d'illustrer objectivement la position technologique d'une entreprise par rapport à ses concurrents, et ce, objectivement (Ernst 1995). Un portfolio varié est notamment un passeport pour avoir accès à d'importants savoir-faire de sources externes.

L'avantage du portfolio de brevets est qu'il est divisé en différentes technologies. De ce fait, cela permet de mesurer le pouvoir d'attraction et la position d'une firme par rapport à chacune de ces technologies par comparaison avec d'autres entreprises. Le portfolio aide aussi la compagnie à estimer et à prévoir les dépenses qui doivent être faites en matière de R-D. À ce titre, la relation au niveau des firmes entre les brevets,

les activités de R-D et les changements du marché ont été examinés par, entre autres, Hall et al (1986) et Ernst (1996, 1998).

Les portefeuilles de brevets des entreprises fournissent des indicateurs pour la planification stratégique future de l'entreprise. En effet, le niveau et la qualité des activités R-D d'une entreprise peuvent être comparés à ceux de ses concurrents ayant des portefeuilles de brevets. Si les données empiriques suggèrent une relation positive entre les stratégies de brevets et les performances d'entreprises, la position d'un portefeuille de brevets devrait avoir un impact sur la stratégie de R-D.

Ernst a démontré comment les portefeuilles de brevets sont appliqués dans la planification stratégique en R-D. Ainsi, les informations contenues dans les brevets peuvent servir à surveiller des concurrents, à observer l'évolution de la technologie et à faire la gestion du portefeuille de brevets. En étudiant les entreprises allemandes œuvrant en génie mécanique, Ernst (1995) a pu déterminer que les détenteurs de brevet de qualité connaissent plus de succès que ceux détenant des brevets de moins bonne qualité. Dans le même ordre d'idée, Narin et al (1986) ont trouvé une corrélation positive entre le nombre de citations reçues et la performance financière. L'analyse des portefeuilles de brevets peut également être utile lors d'acquisitions d'entreprises de même que lors des fusions (Tseng et al, 2011). Plus un portefeuille de brevets est volumineux, plus il constitue un puissant outil de dissuasion contre la concurrence. Par exemple, il arrive que les processus et les produits deviennent de plus en plus complexes parce qu'ils sont liés à plusieurs brevets à la fois. Par conséquent, ces produits sont liés à des portefeuilles interdépendants détenus par plusieurs sociétés. Un imposant portefeuille de brevets donne donc plus de poids au pouvoir de négociation d'une entreprise qui le détient.

Par ailleurs, les compagnies acquièrent des brevets de façons stratégiques comme instrument de protection contre les imitations de leurs concurrents, afin de garantir des bénéfices et pour couvrir leurs dépenses en R-D. Selon une étude réalisée par Blind et al (2009), les compagnies dont les brevets sont obtenus en vue de protéger leur base technologique et leur marché sont plus citées. Ils sont donc de meilleure qualité, que ceux utilisés simplement pour bloquer des concurrents ou comme monnaie d'échange pour l'obtention d'une licence. Ces entreprises ont notamment plus de litiges liés à leurs portefeuilles.

CHAPITRE II

L'ÉNERGIE SOLAIRE ET SES APPLICATIONS

En 2010, la consommation mondiale d'énergie était de 524 quadrillions de British Thermal Unit (Btu) (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013). Les prévisions indiquent qu'elle atteindra 630 quadrillions de Btu en 2020 et 820 quadrillions de Btu en 2040, ce qui représente une augmentation de 56% sur 30 ans (EIA, 2013). En ce qui concerne la production mondiale d'énergie, celle-ci a augmenté de 42 % entre 1980 et 2000 et pourrait croître de 50 à 60 % d'ici 2030 (van den Heuvel et van den Bergh, 2009).

La croissance économique a tendance à accentuer la demande en énergie. Conséquemment, l'EIA (2013) prévoit une augmentation de la demande mondiale de 93% entre 2010 et 2040 passant de 20,2 à 39 milliards. De plus, la demande énergétique des pays émergents, en particulier celle de l'Inde et de la Chine, risque d'augmenter fortement lors des prochaines décennies (EIA, 2013).

Les énergies renouvelables (éoliennes, biomasse, hydroliennes, solaire, etc.) constituent une avenue intéressante pour palier aux sources d'énergies traditionnelles non durables. Selon l'analyse de l'EIA (2013), les énergies renouvelables sont les sources les plus dynamiques de la production d'électricité avec des augmentations annuelles en moyenne de 2,8 % par année de 2010 à 2040.

Parmi celles-ci, la technologie solaire est commercialement disponible et fiable. Elle génère moins de pollution de l'air et peu de combustibles fossiles, et contribue à la sécurité énergétique de par sa disponibilité. L'énergie solaire se développe à un rythme impressionnant depuis une décennie.

Dans ce chapitre sur les applications de l'énergie solaire, nous définirons ses origines et sa technologie, ses installations, sa production, son financement et sa situation géopolitique actuelle. Toutefois, il importe d'examiner et de définir en premier ce que sont les énergies renouvelables.

2.1 Les énergies renouvelables

La technologie a joué un rôle prédominant dans la création de nos problèmes environnementaux et de sécurité énergétique actuels. Toutefois, celle-ci peut aussi être utile dans la résolution d'une partie du problème grâce aux technologies dites vertes qui créent de l'énergie renouvelable.

Les énergies renouvelables proviennent de ressources naturelles comme la lumière du soleil, le vent, la pluie, les marées et la chaleur géothermique, qui sont renouvelables. L'agence américaine d'informations sur l'énergie (EIA, 2008) définit ainsi les énergies renouvelables ainsi : « Unlike fossil fuels, which are exhaustible, renewable energy sources regenerate and can be sustained indefinitely. »

L'Agence internationale d'énergie renouvelable (IRENA, 2009) se réfère plutôt à l'appellation « énergies sans carburant » pour ces énergies dont les apports énergétiques et d'utilisation sont librement disponibles.

Selon Mulder (2011), il est possible de trouver dans la littérature une centaine de concepts de technologie renouvelable. Ce caractère vague permet d'adapter la définition aux différents défis rencontrés, sans quoi, il y aurait une compétition dans le domaine public. Cette compétition se retrouve plutôt sous l'égide du développement durable¹.

Il existe 3 générations de technologies d'énergie renouvelable (Johnstone et al, 2010). La première est celle qui a déjà atteint sa maturité, telle que l'hydroélectricité, la combustion de la biomasse, la géothermie. La deuxième génération est celle qui se développe à un rythme rapide telle que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, les formes modernes de bioénergie. Enfin, la troisième génération est celle qui est présentement au stade de développement. On peut y classer la concentration d'énergie solaire, l'énergie océanique, la géothermie améliorée et les systèmes bioénergétiques intégrés.

En moyenne, la part de l'énergie renouvelable dans l'ensemble des sources énergétiques demeure limitée dans le monde. Par exemple, en 2006, 15,4 % de l'énergie provenait d'une énergie renouvelable. De ce nombre, l'hydroélectricité détenait la plus grande part, soit 12,3% (Johnstone et al, 2010). L'EIA (2013) prévoit

¹ Voir à cet effet le texte fondateur du concept du développement durable. (World Commission on Environment and Development, 1987)

que le recours à l'énergie renouvelable passera à 16,5% en 2020 et poursuivra une croissance jusqu'à 23,5% en 2040.

2.2 Les origines de l'énergie solaire

L'étymologie du mot photovoltaïque provient du grec ancien *photos* signifiant lumière et de *volt* qui est une unité de mesure du potentiel électrique à un point donné (force électromotrice) nommée en l'honneur du physicien Volta (van den Heuvel et van den Bergh, 2009). Ce système utilise des cellules solaires connues sous ce nom de photovoltaïque afin de convertir la radiation solaire en électricité.

Il faut attendre au XIXe siècle pour nous rapprocher véritablement de l'utilisation que nous en faisons aujourd'hui (US Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy). En effet, les origines de l'énergie photovoltaïque remontent à 1839 lorsque le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel a pu observer qu'un courant électrique survient lors d'une réaction chimique induite. Puis, ce n'est qu'en 1888 que le physicien russe Aleksandr Stoletov construit la première cellule sur la base de l'effet photoélectrique externe découverte par Heinrich Hertz plus tôt en 1887 (Wikipedia, « solar cell »).

Ce n'est que près de cent ans plus tard, soit vers la fin des années 1940, que les premières cellules solaires de silicium (Si) ont été développées et brevetées par Russel Ohl en 1946. Celles-ci avaient une efficacité de 6 % (El Chaar et al, 2011). Cette avancée a été un pas dans le développement des cellules photovoltaïques telles que

nous les connaissons aujourd'hui, par Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller et Gerald Pearson dans les laboratoires Bell en 1954.

Le développement de la première cellule solaire de silicium a été une étape fondamentale dans l'avancée des technologies solaires puisqu'il a permis d'obtenir l'unité de conversion de puissance d'un système photovoltaïque. Ces cellules de silicium (Si) ne sont pas utilisées séparément, mais sont plutôt assemblés dans des modules.

La recherche et le développement ont grandement favorisé l'amélioration de ce capteur énergétique. Ce qui a fait en sorte que cette technologie est opérationnelle depuis une cinquantaine d'années (El Chaar et al, 2011).

2.3 La technologie de l'énergie solaire

L'énergie solaire utilise l'énergie du soleil pour créer de l'électricité par la lumière du jour indirecte en créant un effet photovoltaïque (EPIA, 2009). Il n'est pas nécessaire que le soleil brille directement vers ce système photovoltaïque.

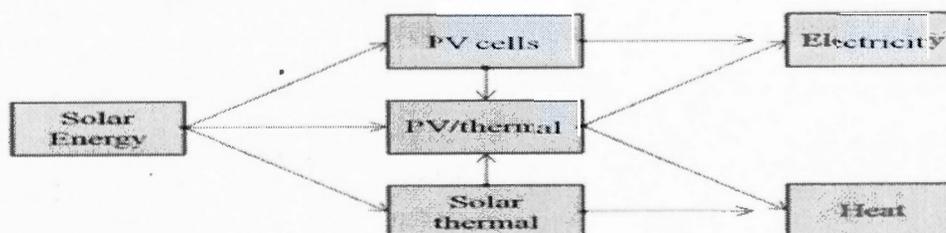
Les systèmes photovoltaïques utilisent des cellules pour convertir la lumière solaire en électricité. La technologie produit de l'électricité lorsque des photons solaires frappent une cellule solaire, une mince feuille de matériau semi-conducteur. Les cellules photovoltaïques peuvent être fabriquées à partir de divers matériaux dits semi-conducteurs. Aujourd'hui, le silicium est le matériau le plus utilisé.

Les matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. L'énergie apportée par les photons (composants de la lumière) heurte les électrons et les libère, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculée en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur (Observatoire des énergies renouvelables, 2007).

L'électricité provenant des PV solaires est transformée en courant alternatif pour être ensuite injectée au réseau de distribution d'électricité ou utilisée directement sur le lieu de production.

Il existe différents types d'énergie solaire : l'énergie passive, l'énergie solaire thermique et l'énergie photovoltaïque (PV) provenant soit de PV thermiques (PV/T) ou de cellules (PV) (Zhang et al, 2012). C'est particulièrement cette dernière qui nous intéresse puisqu'elle est, avec l'énergie thermique, la plus étudiée dans la littérature scientifique.

Figure 2.1: Applications de l'énergie solaire



Source : Xingxing Zhang et al, 2012.

Les cellules solaires sont classifiées en quatre générations technologiques. Les cellules de première génération sont constituées de couches épaisses de silicium mono ou multi-cristallin dont la durée de vie est estimée entre 25 et 30 ans. Elles représentent 80% du marché mondial et reste la principale technologie utilisée (République Française, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013).

La seconde génération a été développée pour répondre aux besoins en énergie et aux coûts élevés de production des cellules solaires. Pour se faire, des techniques alternatives ont été utilisées, telles que le dépôt en phase vapeur et le dépôt électrolytique, ainsi que des matériaux de deuxième génération les plus efficaces, tels que le tellure de cadmium (CdTe), le cuivre indium gallium sélénure, le silicium amorphe et le silicium micromorphe. Ces couches semi-conductrices et photosensibles sont appliquées en une ou plusieurs pellicules minces sur un substrat de support, comme le verre ou la céramique.

Les technologies de troisième génération visent à améliorer la performance électrique des films de deuxième génération, tout en maintenant les coûts de production plus bas afin de faire baisser encore une fois les coûts de production. Pour ce faire, les modules sont constitués de molécules organiques telles que des polymères ou hybrides. Les capteurs solaires sont plus souples et légers. Ce type de technologie est encore au stade de la R-D, mais est déjà utilisée sur des calculatrices (République Française, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013).

Enfin, la quatrième technologie est le photovoltaïque à concentration qui utilise des lentilles optiques pour concentrer la lumière sur de petites cellules photovoltaïques à haute performance. Cette génération n'est viable économiquement que dans des zones géographiques où l'ensoleillement direct est important (République Française, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013).

2.4 Les avantages et les inconvénients de la technologie solaire

De nos jours, les cellules solaires consistent en une ou deux couches de matériau semi-conducteur. La plupart du temps, ces semi-conducteurs sont faits de silicone qui provient, essentiellement, du sable. Le silicone est le second matériel le plus abondant de la masse terrestre (EPIA, 2009).

En plus de l'abondance de silicone, l'utilisation de l'énergie photovoltaïque comporte d'autres avantages. En effet, nécessitant uniquement la lumière du soleil, l'énergie produite par le PV provient d'une ressource inépuisable. Habituellement, la durée de vie est estimée de 25 à 30 ans pour les modules PV. En raison de sa longévité, cette technologie est donc perçue comme étant un investissement sécuritaire et fiable (EPIA, 2009).

Le PV ne produit pas de bruit, ni d'émissions dommageables ou de gaz polluants. Le photovoltaïque ne produit qu'une minime émission (37 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure) comparativement au charbon (900 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure) (EPIA, 2009). Il permet donc de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Par ailleurs, les modules PV sont recyclables. En Europe, les modules peuvent être recyclés par l'Association PV Cycle favorisant ainsi la récupération du silicone, du verre, de l'aluminium, etc. (PV Cycle, 2013).

Cependant, malgré tous les avantages liés à la production et à l'utilisation de l'énergie solaire, cette technologie présente quelques inconvénients. Le principal obstacle est son coût élevé. En effet, l'énergie solaire requiert un investissement substantiel. Des aides gouvernementales sont la plupart du temps nécessaires pour que les compagnies puissent être compétitives face aux sources d'énergie conventionnelles d'origine fossile.

De plus, les panneaux solaires peuvent être fragiles puisqu'ils sont peu flexibles. L'usage des panneaux en plastique (fait de graphène) plus souples pourrait être une solution de remplacement des cellules qui pourrait remplacer les cellules de silicium (phys.org, 2014).

Pour connecter l'énergie générée par les panneaux solaires au réseau existant de lourds investissements sont nécessaires. Il faut en effet construire des réseaux électriques sur de longues distances. Pour y remédier, certains pays dont l'Allemagne, notamment, encouragent l'installation de batteries de stockage pour promouvoir l'autoconsommation ou celle d'une coopérative (Heuillard, 2013). Par contre, le stockage de l'énergie produite demande quelques améliorations d'efficacité. En effet, il y a une non-corrélation entre la production photovoltaïque maximale au milieu de la journée et la consommation de pointe en début de soirée.

Pour surmonter les obstacles techniques et économiques actuels, il faudra augmenter considérablement les fonds alloués à la recherche appliquée et au développement, ainsi que ceux qui couvrent les coûts prévus des investissements initiaux de la capacité de production à l'échelle commerciale. (Timilsina et al, 2011).

Au niveau de l'impact environnemental, le fonctionnement d'une installation photovoltaïque n'occasionne pas de pollution particulière. L'effet sur l'environnement le plus marquant se situe dans le cycle de vie des systèmes photovoltaïques à l'étape de la consommation d'énergie pour la fabrication des modules. Dans le cas de la filière silicium cristallin, qui représente la première génération de la technologie, la dépense énergétique pour fabriquer le système photovoltaïque provient à 40 % du procédé de raffinage du silicium (République Française, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013).

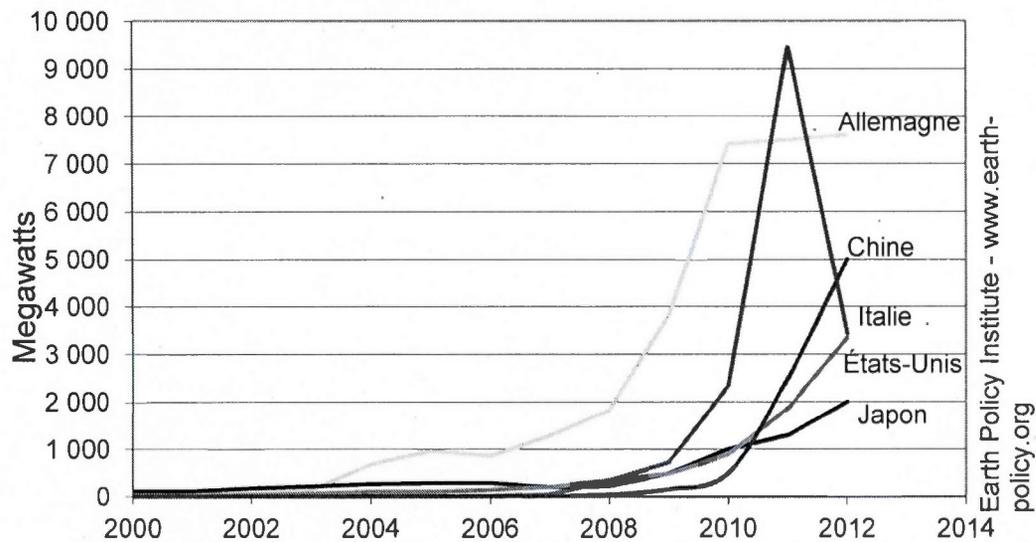
2.5 La progression des installations

La filière PV est la troisième source d'énergie renouvelable en installation mondiale après l'hydroélectricité et les éoliennes (EPIA, 2014). Le PV fournit 3% de l'ensemble de l'électricité en Europe et 6% lors des périodes de grandes demandes. Actuellement, l'Allemagne, la Chine, l'Italie, les États-Unis, le Japon, la France, l'Australie et l'Inde sont les pays qui ont les plus grandes capacités en énergie solaire (Earth Institute, 2013 c).

Curieusement, ces installations se réalisent principalement en dehors de la Sunbelt, qui fait référence aux pays situés entre le 35⁰ Nord et 35⁰ Sud (EPIA, 2010). L'Association européenne de l'industrie photovoltaïque répartit ces pays en quatre

zones : l'Amérique latine, le bassin méditerranéen et l'Afrique du Nord, l'Inde et la Chine, l'Asie du Sud-est. Des pays comme le Chili ou le Mexique présentent des particularités de pouvoir développer des projets sans aides publiques.

Figure 2.2: Capacité annuelle d'équipement solaire photovoltaïque installée entre 2000 - 2012, pays sélectionnés



Source : Earth Institute, 2013 c

Source: EPI from IEA PVPS, EPIA

L'agence internationale de l'énergie (AIE) prédit que près de 25% de l'électricité mondiale pourra être produite par de l'électricité photovoltaïque (PV) et l'électricité solaire thermique (STE) d'ici 2050 (EPIA, 2009).

Mondialement, les installations photovoltaïques cumulatives représentent un potentiel de 136,7 gigawatts selon l'association européenne du photovoltaïque (EPIA, 2014). Cette donnée indique une augmentation par rapport aux années précédentes en raison de la forte croissance du marché asiatique qui domine le marché. Selon cette étude de l'EPIA concernant l'année 2013, la Chine, avec une capacité de 11,3 Gigawatts installés, est le premier marché mondial. Le Japon suit en deuxième place avec 6,9 Gigawatts installé en 2013. La troisième place revient aux États-Unis avec 4,8 Gigawatts. Parmi les pays émergent, l'Inde a atteint 1,1 Gigawatt, la Corée 442 MW et la Thaïlande 317 MW.

Le Canada a atteint, en 2013, 1210 MW en capacité cumulative installée (Poissant et Luukkonen, 2014). La faible implantation des installations PV sur le territoire canadien peut être expliquée par le coût relativement élevé de cette source d'énergie comparativement à celui de l'électricité générée par les énergies fossiles et de l'hydroélectricité.

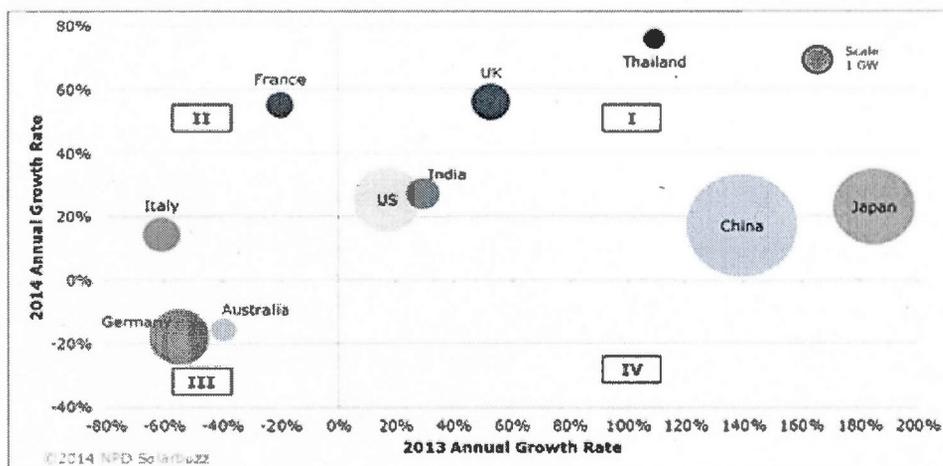
Le marché européen qui a dominé pendant les dix dernières années a ralenti. Sa part dans le marché mondial est passée de plus de 70% à 59% en 2012 et ne représente plus que 28% en 2013 (EPIA, 2014). En effet, il a évolué en sens inverse du reste du marché mondial, avec 10,2 gigawatts installés l'an passé, contre 17,6 GW en 2012 et 22,4 GW en 2011 (EPIA, 2014). L'Allemagne domine le marché mais se place au quatrième rang mondial. En 2013, elle n'a installé que 3,3 GW de puissance, ce qui représente une diminution de 4.3 GW par rapport à l'année précédente (EPIA, 2014).

En 2013, les dix plus grands marchés mondiaux du photovoltaïque (Chine, Japon, États-Unis, Allemagne, Grande-Bretagne, Inde, Italie, France, Australie, Thaïlande)

représentaient plus de 80% de la demande du marché global. Cependant, il y a des variations de tailles et de taux de croissance entre ces différents marchés. Certains marchés ont des caractéristiques uniques qui stimulent la demande, allant de la politique individuelle et des structures réglementaires aux différentes préférences des clients et des modèles d'affaires (Solarbuzz, 2014b).

Une tendance s'est distinguée en 2013 montrant un déplacement de la demande de l'Europe vers l'Asie. La Chine et le Japon ont été les plus grands marchés et ont augmenté le plus comparativement aux autres pays en 2013. Non seulement ces marchés devraient continuer à augmenter en 2014, mais la transition du marché vers l'Asie sera davantage facilité par la croissance des marchés indiens et thaïlandais. L'Allemagne et l'Australie ont diminué en taille de marché en 2013 et devraient continuer leur baisse en 2014 (Solarbuzz, 2014b).

Figure 2.3 : Taux de croissance du marché mondial du solaire photovoltaïque 2013al du solaire photovoltaïque 2013.

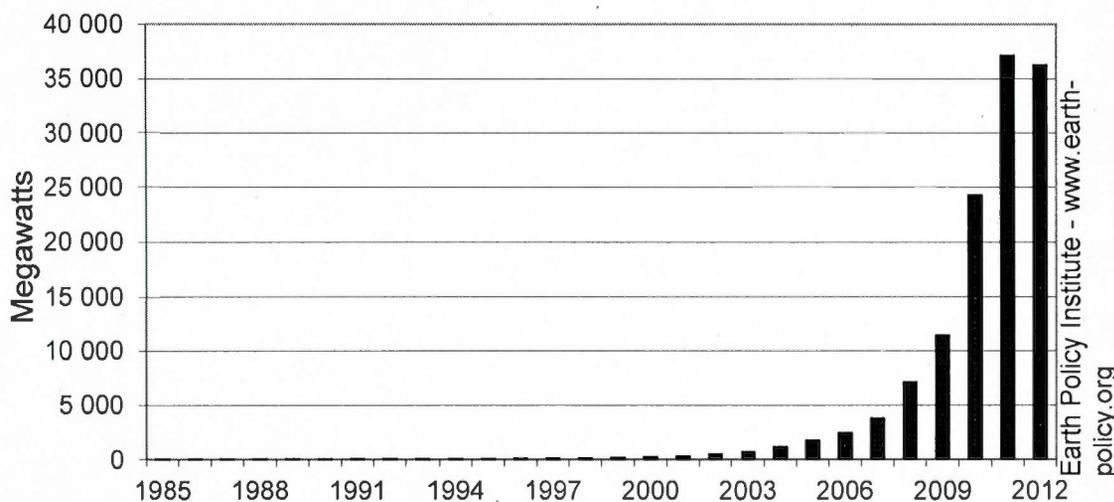


Source : Solarbuzz, 2014b

2.6 La production de panneaux solaires

Selon le Earth Policy Institute (2013a) la production globale est passée de 2 mégawatt par année en 1975 à 36 241 en 2012.

Figure 2.4: Production annuelle mondiale de solaire photovoltaïque. 1985-2012



Source: EPI based on Worldwatch; PVNews; GTM Research

Source : Earth Policy Institute 2013a

Les investissements dans les manufactures de panneaux photovoltaïques ont été déterminants en Europe, au Japon, en Chine, à Taiwan et aux États-Unis durant les cinq dernières années. Le Earth Policy Institute (2013b) a compilé la production en mégawatt par pays entre 1995 et 2012. Grâce à cette analyse, on constate que la production chinoise est donc à l'image de l'expansion de l'énergie solaire. À ce titre, en 2001, la Chine produisait moins de 1 % du marché mondial. Dans cette analyse,

on peut y voir entre autres que la Chine domine le marché mondial est suivie de loin par l'Europe (17 %), le Japon (10 %), et les États-Unis (5 %).

En dépit d'être sérieusement restreinte par la surcapacité de la production et la baisse des marges d'exploitation en 2012 et 2013, l'industrie mondiale photovoltaïque a augmenté sa production de 34 % au cours de cette période de deux ans. Solarbuzz (2014) prévoit une croissance du marché qui atteindra 50 milliards de dollars américains d'ici 2018 et un niveau cumulé de capacité installée de 500 GW. Cette forte croissance stimulera également les revenus des fabricants de l'industrie. On estime des revenus potentiels à plus de 200 milliards de dollars entre 2014 et 2018.

La part du marché des cellules solaires a progressé en 2013 avec une hausse de la demande mondiale de PV de 20% (Solarbuzz c, 2014). Les dix plus grands manufacturiers de panneaux photovoltaïques en 2013 étaient les suivant (en ordre d'importance) : Yingli (Chine), Trina Solar (Chine), Sharp Solar (Japon), Canadian Solar (Chine-Canada)², Jinko Solar (Chine), Renesola (Chine), First Solar (États-Unis), Hanwha SoloarOne (Chine), Kyocera (Japon), JA Solar (Chine) (Solarbuzz, 2014c). Ce classement a été effectué selon le nombre de mégawatt produit et non pas par revenus. Ces manufacturiers ont fourni en 2013 plus de 18 GW, ce qui représente une augmentation de 40% par rapport à l'année précédente. Il en résulte une domination du marché par le Japon et la Chine. Plus particulièrement, de cette dernière qui assure 70% de la production mondiale.

² Canadian Solar a produit au Canada 600 MW des 634 MW fabriqué en 2013. La majorité de sa production est fabriquée en Chine où plus de 2000 MW ont été confectionnées en 2013 (Poissant et Luukkonen, 2014).

Tableau 2.1: Les dix principaux fournisseurs de modules PV en 2013

Rang en 2013	Fournisseur de modules PV	Changement de rang par rapport à 2012
1	Yingli Green Energy	-
2	Trina Solar	+1
3	Sharp Solar	+3
4	Canadian Solar	-
5	Jinko Solar	+3
6	ReneSola	+7
7	First Solar	-2
8	Hanwha SolarOne	+2
9	Kyocera	+5
10	JA Solar	-3

Source : Solarbuzz, 2014c

2.7 Financement public de la R-D et des installations solaires

L'énergie solaire fait partie de ces technologies nouvelles et renouvelables qui sont relativement coûteuses. Elles ne peuvent donc pas se comparer aux coûts des technologies conventionnelles de production d'électricité. Plusieurs procédés sont utilisés pour stimuler la recherche et les installations en énergie solaire.

Le fort potentiel du marché incite les investissements publics en R-D en PV. En 2011, le financement public investi mondialement atteignait 610 millions de dollars américains (Poissant et Vikis, 2013). En tête de liste du financement public, nous retrouvons les États-Unis (223 millions de dollars américains), le Japon (102 millions de dollars américains), la Corée (94 millions de dollars américains) et l'Allemagne (78 millions de dollars américains) (Poissant et Vikis, 2013). Au Canada, le

financement public représentait 15 millions de dollars canadiens (Poissant et Vikis, 2013).

Le tarif de rachat (feed-in-tariff), les crédits d'impôts, les subventions, les objectifs gouvernementaux, les facilités de financement, les investissements du public, entre autres, sont les principaux moyens de financement pour stimuler les installations solaires.

Le tarif de rachat par le gouvernement (TRG) est fixé par le coût de production de l'électricité en rapport au prix courant du marché. Ainsi, il y a un retour sur investissement pour le producteur qui est assuré et le risque financier est réduit pour les investisseurs. Le tarif de rachat a été mis en œuvre dans plus de 75 pays depuis 2010 et a joué un rôle majeur dans la stimulation de l'énergie solaire dans les pays comme l'Allemagne et l'Italie (Timilsina et al, 2011). Au Canada, en Ontario, les systèmes PV peuvent faire l'objet d'un contrat de 20 ans afin de bénéficier d'un prix fixe pouvant aller jusqu'à 0,549 \$ CA/kWh pour l'électricité produite (Poissant et Vikis, 2013).

Plusieurs pays ont instauré différents types de crédits d'impôt à l'investissement. Par exemple, aux États-Unis le crédit d'impôt fédéral de 30% a été un levier significatif pour le développement de l'énergie solaire. Certains États ont en outre complété cet incitatif fiscal fédéral avec leurs propres programmes. Certains projets d'installation, notamment en Arizona et au Nevada, ont largement bénéficié du programme de crédit d'impôt fédéral pour bonifier leurs projets (Timilsina et al, 2011).

Des subventions directes ont joué un rôle essentiel pour soutenir le développement de l'énergie solaire dans la plupart des pays. Ces subventions prennent la forme notamment d'investissements, de prêts bonifiés. Par exemple, le gouvernement espagnol a lancé un programme visant à fournir des subventions pour des technologies solaires thermiques. En Inde, les subventions pour l'installation des systèmes d'eau chaude solaires, des systèmes de cuisson solaire et de concentration des cuiseurs solaires ont été financées soit par des fonds de donateurs ou du gouvernement.

Le programme de rabais pour l'énergie solaire photovoltaïque en Californie sous la California Solar Initiative est un autre exemple d'un programme de subventions pour l'énergie solaire. L'objectif du programme de 3.3 milliards est de soutenir le développement de 3000 MW de photovoltaïque en Californie d'ici 2017 en utilisant des rabais, sur la base des primes au rendement (Timilsina et al, 2011).

Une autre façon de stimuler le domaine de l'énergie solaire est l'établissement de normes de portefeuille d'énergie renouvelable. Celles-ci fixent des objectifs de pénétration des énergies renouvelables. Les fournisseurs d'électricité sont tenus d'avoir certain pourcentage de leur approvisionnement en électricité provenant de sources d'énergie renouvelables. Depuis la Conférence-cadre de l'ONU sur les changements climatiques de Poznan en 2008, la cible européenne a été établie à 20 % de l'ensemble de l'énergie devrait être de source renouvelable d'ici 2020 (Johnstone et al, 2010). Aux États-Unis, 31 États sur 50 ont établi des normes qui varient entre 10% à 40 % (Hawaii en 2030) (Timilsina et al, 2011). Plusieurs États, comme le New Jersey, se sont dotés des normes spécifiant particulièrement l'énergie solaire. En effet, depuis 2008, 6,8% de l'électricité vendue au New Jersey doit provenir d'une énergie renouvelable, dont 0,16% doit venir du solaire (Timilsina et al, 2011). D'ici

2021, toute l'électricité du New Jersey devra comporter 20,38% provenant d'énergies renouvelables.

Il y a une multitude d'autres dispositions réglementaires instaurées par les gouvernements. La Chine et l'Allemagne se sont dotées de lois similaires obligeant tous les générateurs d'énergie d'acheter la production d'un système photovoltaïque raccordé à son au réseau. Il existe des réglementations gouvernementales prescrivant l'installation de systèmes solaires thermiques pour le chauffage solaire de l'eau dans les résidences notamment en Espagne et en Israël.

Le soutien au financement est aussi utilisé afin de favoriser le développement de l'énergie solaire. Par exemple, le gouvernement espagnol a lancé un programme de prêts à faible intérêt pour l'installation d'applications solaires thermiques. En Inde, la Fondation Shell a travaillé avec deux banques indiennes pour développer au pays le financement des énergies renouvelables. Cette initiative a entre autres permis à ces banques de mettre en place une bonification du taux d'intérêt et d'offrir un soutien marketing. Au Bangladesh, le microcrédit aide l'électrification rurale et a permis l'installation de plus de 970 000 systèmes solaires domestiques entre 2003 et mai 2011 (Timilsina et al, 2011).

L'un des principaux moteurs du développement de l'énergie solaire dans les pays en développement sont les investissements publics directs. Le développement rapide de l'industrie du PV et de son marché en Chine est en lien avec l'appui du gouvernement qui a mis en œuvre un certain nombre de programmes d'électrification rurale. Des programmes gouvernementaux ont été la force motrice majeure pour l'expansion du

marché de l'énergie solaire photovoltaïque en Chine à la fin des années 1990 et au début des années 2000. (Timilsina et al, 2011).

Par exemple, parmi ces programmes de soutien au développement de l'industrie PV, le China Renewable Project, lancé en 2002, a fourni une subvention directe de 1,5 dollar US par watt-crête aux entreprises de l'industrie PV dans le Qinghai, le Gansu, la Mongolie intérieure, le Xinjiang, le Tibet et Sichuan (Timilsina et al, 2011).

Il y a une multitude d'autres dispositions réglementaires instaurées par les gouvernements. La Chine et l'Allemagne se sont dotées de lois similaires obligeant tous les générateurs d'énergie d'acheter la production d'un système photovoltaïque raccordé au réseau. Des réglementations gouvernementales prescrivant l'installation de systèmes solaires thermiques subsistent notamment en Espagne et en Israël pour le chauffage solaire de l'eau dans les résidences.

2.8 Les guerres commerciales

L'Europe a accusé la Chine de trop subventionner les entreprises produisant des panneaux solaires. Ce financement étatique permettait aux chinois la vente de panneaux solaires à un prix inférieur à leurs coûts de production. La vente à perte (dumping) est interdite par l'Organisation mondiale du commerce (OMC). Cette pratique a principalement causé la faillite de plus de vingt producteurs européens et vingt-cinq américains entre 2009 et 2013. L'Europe a craint la perte de quelques 30 000 emplois en lien avec son industrie photovoltaïque.

Réagissant à cette forte concurrence, l'Europe a menacé d'augmenter considérablement ses droits de douane (jusqu'à 67%) à l'été 2013. Ce litige était délicat pour l'Union européenne puisque la Chine est un marché en progression pour plusieurs de ses produits (vins, voitures, aéronautique).

Un accord a finalement été conclu à l'été 2013. Depuis, le prix des panneaux chinois vendu en Europe est d'environ 56 centimes d'euros par watt contre 62 centimes pour un panneau européen (Bourbon, 2014). Ce qui représente une hausse de 40%.

L'accord signé entre Bruxelles et Beijing se résume à trois points :

- L'offre chinoise venant en Europe devait être plafonnée (en termes GW), basé sur un pourcentage de la demande annuelle prévue.
- Un prix planché devait être mis en place, en particulier pour les modules c-Si de la Chine.
- Les fabricants européens de panneaux solaires photovoltaïques seront ensuite en mesure de vendre à des plateformes plus élevées que ce prix plancher, leur permettant d'être à nouveau compétitif et avoir des marges plus élevées en vertu de la qualité européenne.

En 2012, les Américains ont également pris une mesure anti-dumping en percevant des droits de douanes sur l'importation de panneaux solaires chinois. Cependant, les produits solaires chinois dominent toujours le marché américain pour l'équivalent de 3.1 milliards (Magdelaine, 2013). Il en est de même en Europe.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre a pour but d'explorer certaines pistes afin de mettre la lumière sur l'état de ces questions de la recherche dans le domaine des cellules solaires par la mesure des brevets.

Le chapitre se divise en six sections. En premier lieu, une brève mise en contexte sera exposée. Par la suite, les pertinences pratique et scientifique seront présentées. Puis, nous poserons les questions de recherche et les hypothèses. Enfin, nous présenterons le choix de la méthode quantitative ainsi que la collecte des données.

3.1 Mise en contexte

De nombreuses études démontrent qu'il y a une demande énergétique croissante au niveau mondial et prévoient une progression de celle-ci au moins jusqu'à 2040 (Earth Policy Institute, 2013; EIA, 2013). Par ailleurs, les ressources énergétiques fossiles traditionnelles voient leur fin éventuelle approcher. En plus de la limite physique de la ressource, il y a des limites telles des objectifs internationaux à atteindre visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, comme le Protocole de Kyoto, ont été légiférés dans maints pays. Ainsi, tous ces facteurs deviennent des incitatifs pour se tourner vers des alternatives renouvelables, dont les énergies éoliennes, géothermiques, hydro-électriques et maréo-motrices. Les cellules photovoltaïques, une des technologies qui tirent profit de l'inépuisable énergie solaire, peuvent donc constituer une partie de la solution pour contrer ces menaces à la sécurité énergétique et environnementale.

Le survol sur les applications des cellules solaires, présenté dans le chapitre II, a permis de constater que l'industrie du photovoltaïque est en croissance de par sa demande, son innovation, et sa production. La progression des installations mondiales, la croissance des marchés, et même, des tensions politiques, notamment entre la Chine et les États-Unis ou avec l'Union européenne, démontrent un attrait certain pour l'industrie du photovoltaïque ces dernières années.

Actuellement, sans le financement des États, les coûts de production demeurent élevés. Pour réduire les coûts et accélérer la pénétration du marché, des politiques gouvernementales comme des subventions, des quotas d'installation et d'utilisation ainsi que des crédits d'impôt sont employés. Ainsi, cela permet également d'assurer une certaine sécurité énergétique, de développer et d'explorer ces technologies nouvelles.

Dans le secteur de l'innovation et de la recherche, on constate un attrait pour ce secteur technologique. En effet, on assiste à une augmentation mondiale de la parution du nombre d'articles scientifiques sur l'énergie solaire (Dong et al, 2012).

Cette brève mise en contexte nous porte à croire que les marchés, les politiques et la parution d'articles scientifiques ne peuvent pas expliquer l'ensemble de la question de l'innovation et du transfert technologique dans le secteur photovoltaïque. Un portrait sur la propriété intellectuelle, précisément des brevets sur les cellules solaires, nous permettra d'avoir une vue d'ensemble plus complète de l'activité dans ce secteur.

Dans le contexte général de la propriété intellectuelle, il existe une croissance constante du nombre de brevets américains émis depuis 1986 (Ersnt 1995; Wagner 2009). Si l'on se réfère aux bases de données du Bureau américain des brevets (USPTO), ou même celle de l'Office européen des brevets (OEB), une augmentation du nombre de brevets se produit également dans le secteur des cellules photovoltaïques.

La question de la propriété intellectuelle dans le secteur des cellules solaires mérite d'être approfondie. Cette augmentation du nombre de brevets nous incite à évaluer plus en profondeur les considérations du transfert technologique à court et à long terme, en aval et en amont, et d'examiner les diverses tendances (pays, technologies, secteurs, compagnies, collaborations, etc.) afin d'éclaircir le portrait technologique.

3.2 Pertinence scientifique

La présente recherche vise à explorer un certain nombre de questions qu'il importe de préciser. De façon globale, nous cherchons à comprendre le phénomène de l'innovation et de la propriété intellectuelle dans le contexte mondial des cellules photovoltaïques. Pour ce faire, nous utilisons l'analyse des données quantitatives par le biais des brevets émis par l'Office américain des brevets (USPTO). Nous avons choisi les brevets accordés par le USPTO pour diverses raisons. En premier lieu, les États-Unis sont le premier producteur mondial de brevets dans le domaine photovoltaïque, bien qu'ils ne soient pas le premier producteur mondial de ces équipements. Le marché américain est probablement davantage capable de reconnaître la valeur de la nouveauté que n'importe quel autre marché. En deuxième lieu, les États-Unis concentrent le plus grand bassin mondial de capital de risque;

toute compagnie qui viserait à valoriser sa propriété intellectuelle photovoltaïque par le moyen de la création d'entreprises technologiques nouvelles devrait obtenir un brevet américain. En troisième lieu, la cession des licences se ferait plus facilement aux États-Unis si les brevets des inventeurs étaient des brevets américains. Finalement, les brevets américains permettent de connaître le lieu de résidence des inventeurs, donnant ainsi lieu à des analyses régionales poussées.

Dès 1966, l'analyse des brevets a été initiée par, entre autres, Schmookler pour étudier l'innovation (Ernst 1995). L'étude des brevets a aussi été utilisée pour mesurer l'efficacité des politiques d'innovation. Les économistes ont suivi le pas en utilisant les statistiques des brevets pour mesurer les rendements en R-D. Ces statistiques ont dès lors été analysées à une échelle nationale, puis à d'autres niveaux comme les États ou les provinces, mais aussi les secteurs industriels, les inventeurs, les champs technologiques et les entreprises (Baglieri et Cesaroni, 2013). Et, lorsque nous faisons référence à l'analyse des brevets en lien avec les technologies vertes, nous pouvons citer entre autres Jonhstone (2010), Braun (2011), Popp (2011), et Tseng (2011).

Notre étude sur les brevets et leurs liens avec les cellules photovoltaïques se distingue par le fait qu'il en existe très peu d'analyses semblables. Il n'y a presque pas de recherches sur ce domaine précis. À ce titre, parmi les rares études, nous pouvons mentionner le travail de Tseng, Hsieh et Chu (2011).

Parmi les limites de l'analyse des brevets des cellules solaires, il importe d'abord de souligner qu'il est impossible de répertorier toutes les nouveautés en la matière

puisqu'elles ne sont pas toutes brevetées. Néanmoins, la croissance du nombre de brevets nous permet de juger qu'il y a une effervescence dans ce secteur.

La période temporelle est une autre limite. La base de données de l'Office des brevets américains (USPTO) qui est accessible sur l'internet débute en 1976. Les brevets émis avant cette date auraient toutefois pu être commandés par la poste auprès de l'Office des brevets américains. Étant donné que l'échantillon que nous offrait la base de données sur l'internet était suffisant pour les besoins de notre étude, les brevets émis avant 1976 n'ont donc pas été considérés. Il en est de même pour les nombreux autres brevets émis entre le moment de finir la collecte des données et le moment de l'arrêt de celle-ci.

Finalement, les dernières limites entrevues sont géographiques et administratives. Nous nous penchons uniquement sur les brevets émis aux États-Unis. Il existe plusieurs autres banques de données de brevets qui sont de qualité, même si moins importantes que la base de USPTO. Par exemple, nous pouvons mentionner les bases de l'Office européen des brevets (OEB) ou celle du Japan Patent Office (JPO). Ce qui signifie qu'une invention peut avoir été brevetée aux États-Unis, mais pas au Japon ou vice-versa selon diverses considérations. Ces dernières peuvent être de nature administrative, légale, de marché, d'occasion d'affaires, etc.

3.3 Pertinence pratique

La problématique étudiée dans le cadre de la présente recherche, à savoir comment l'innovation et le transfert technologique s'effectuent dans le secteur des cellules

photovoltaïques, se révèle des plus pertinentes dans le contexte actuel en raison des enjeux technologiques et de sécurité énergétique, de propriété intellectuelle, d'innovation, et d'économie.

3.4 Questions de recherche

Le but de cette recherche exploratoire est de dresser un portrait évolutif de l'innovation mondiale des cellules photovoltaïques à l'aide des brevets. Il y a deux angles abordés, celui de la dynamique de l'évolution industrielle et celui de la stratégie pratiquée par les firmes.

Plusieurs questions émergent concernant la dynamique de l'évolution industrielle dans le secteur photovoltaïque.

- Quelle est la relation dans le secteur photovoltaïque entre l'innovation, la productivité et la géographie ?
- Quel est le rôle des agglomérations industrielles dans ce secteur?
- Est-ce que les inventions dans le secteur photovoltaïque sont davantage créées dans les agglomérations? Et lesquelles? Et pourquoi ?
- Il y a-t-il une évolution temporelle géographique dans le secteur photovoltaïque ?
- Comment un système régional d'innovation se développe-t-il et s'adapte-t-il à l'évolution industrielle dans le secteur photovoltaïque?
- Est-ce que les grandes villes produisent plus de brevets dans le secteur photovoltaïque?
- Quel est le rôle des institutions dans ce processus d'invention?

- Qui sont les détenteurs de brevets photovoltaïques?
- Quels secteurs produisent des brevets photovoltaïques?
- Quels secteurs détiennent des brevets photovoltaïques?

D'un autre côté, au niveau de la firme, plusieurs questions peuvent être posées en lien avec la stratégie de prise de brevets et la diversité technologique.

- Quelles firmes détiennent les brevets ?
- Qui sont les inventeurs ?
- Quelle est la propension à breveter ? Varie-t-elle selon l'activité industrielle ?
- La taille des firmes a-t-elle une incidence sur la prise de brevet ?
- Quelles stratégies les firmes utilisent-elles pour diversifier leur technologie ?
- Est-ce que les citations et le nombre des revendications sont des indicateurs de la qualité des brevets photovoltaïques?
- Est-ce que les brevets dans le secteur photovoltaïque sont de qualité ?
- Est-ce que les brevets académiques dans le secteur photovoltaïque sont plus cités que les autres?
- Le réseautage entre les firmes a-t-il une incidence sur les citations de ces brevets?

Toutes ces interrogations nous amènent à formuler la question spécifique suivante :
Quelle est l'évolution spatiotemporelle de l'innovation et de la production des cellules photovoltaïques en lien avec le transfert technologique et la propriété intellectuelle depuis ses débuts (1976)?

Sur la base de ce qui a été présenté précédemment, nous avons formulé les quatre hypothèses suivantes :

Hypothèse 1: La théorie du cycle du produit permet d'expliquer l'évolution spatiotemporelle de l'innovation et de la production allant des pays les plus riches et ayant le plus vaste marché (les États-Unis) à des pays de deuxième cohorte (c.-à-d. l'Europe occidentale, le Canada et le Japon) puis à ceux de troisième cohorte (Brésil, Corée du Sud, Chine, Inde, et autres).

Hypothèse 2: L'origine géographique des détenteurs peut prédire leur qualité et le nombre de citations. Un détenteur originaire d'une grande région métropolitaine aura plus de citations. Ceci est possiblement en lien avec le réseautage entre firmes qui, par ricochet, a une incidence sur la qualité des brevets.

Hypothèse 3 : Le nombre de revendications (mesure antérieure à l'exploitation du brevet) permet de prédire le nombre de citations d'un brevet. En ce sens, plus un brevet a des revendications, plus il y aura des citations.

Hypothèse 4 : Les secteurs d'origine peuvent prédire la qualité d'un brevet. Par exemple, les laboratoires publics possèdent peu de brevets, mais ceux-ci sont très cités.

Pour tester ces hypothèses, les résultats seront présentés au chapitre 4. La prochaine section, quant à elle, fera état de la méthodologie employée pour la collecte des données.

3.5 Données et méthodologie

L'émission d'un brevet permet d'officialiser une invention comme étant véritablement une nouveauté selon les organismes des pays où le brevet est accordé. Cette nouveauté y est décrite de façon détaillée. Par cette divulgation, ces informations contribuent ainsi à la diffusion du savoir. Cette section présentera deux éléments centraux concernant les données de cette étude, soit l'analyse des brevets et les citations de brevets. Ensuite, nous exposerons la méthode de collecte des données.

3.5.1 L'analyse des brevets

L'analyse des brevets permet de dresser le portrait d'une technologie sous différents angles. Comme le mentionne Ernst (1996), les brevets constituent une source objective identifiant les changements technologiques et en les attestant. Ainsi, l'analyse des brevets fournit un indicateur statistique afin de mesurer le dynamisme technologique d'un pays, d'une région, et d'institutions (entreprises, universités ou laboratoires de recherche).

De plus, l'analyse des brevets permet de fournir des données essentielles, et pas seulement en donnant la description technique de l'invention. Notamment, il est possible d'obtenir de l'information sur les inventeurs (nom et lieu de résidence), les propriétaires, la classification technologique, la date de son invention et la durée de sa protection. Ces données obtenues sur les brevets d'un secteur ou d'une firme procurent de l'information sur les tendances technologiques et techniques ainsi que sur la compétition dans le domaine au sein des entreprises, de même qu'entre les pays (Tseng et al, 2011).

Enfin, l'analyse des brevets est une méthode répandue pour mesurer l'activité d'invention et de disponibilités particulièrement dans le cadre des technologies vertes (Braun et al, 2011). Cependant, peu importe le domaine, ce ne sont pas toutes les inventions qui sont brevetées. Malgré cet inconvénient, les brevets fournissent les seules données systématiquement documentées sur l'état de nouvelles connaissances.

3.5.2 Les citations des brevets

Quant aux citations reçues pour un brevet, elles ont un rôle similaire à celui des références pour les publications scientifiques. Les chercheurs ont pu démontrer une forte corrélation entre la valeur du brevet et le nombre de citations reçues. Elles peuvent aussi tout simplement témoigner d'un développement technologique ou d'une possible dépréciation d'une invention (Blind et al 2009).

Les citations apparaissant sur les brevets (citations en amont) sont utilisées pour distinguer la technologie comme étant nouvelle, utile et non négligeable, par rapport à l'art antérieur (Jaffe et al, 2000). Le nombre de citations en aval (après sa publication) qu'un brevet reçoit peut être utilisé comme indicateur de sa valeur relative sur le marché (Hall et al, 2005).

Il se peut également qu'on attribue de l'importance à un brevet au même titre qu'un autre qui a moins de portée. En ce sens, seule une minorité des brevets a en réalité une grande valeur économique (Braun et al, 2011). À l'opposé, il existe quelques inventions qui ont connu un succès économique significatif et qui n'ont pas été brevetées (Johnstone et al, 2010).

La valeur technologique et économique des inventions est évaluée par des indicateurs de qualité des brevets, tels que leurs citations, leurs revendications, leur renouvellement et leurs champs technologiques. En calculant un index d'indicateurs, la littérature fait état des brevets octroyés, des brevets valides, des applications des brevets et des citations comme indicateurs de qualité. À cet égard, nous pouvons citer les travaux d'Ernst (1995, 1996) ainsi que ceux de Narin et al (1987). Il faut mentionner qu'il existe d'autres indicateurs, tels que les références, les catégories et la taille des champs technologiques, les incidences d'opposition, le nombre de brevets obtenus et leur portée internationale (i.e. les brevets triadiques, déposés en même temps aux États-Unis, en Europe et au Japon, ce qui laisse entrevoir leur valeur économique puisqu'on se prépare à les défendre dans les principaux marchés du monde).

Pour l'OCDE, l'indice de valeur technologique et économique est composé de six dimensions sous-jacentes à la qualité des brevets: les citations en aval (citations reçues par un brevet), les citations en amont (brevets et documents scientifiques cités par un brevet), la taille de la famille de brevet (nombre de pays dans lesquels l'invention est protégée), le nombre de revendications, l'indice de généralité (dispersion entre les classes technologiques des brevets cités et ceux qui se réfèrent à d'autres brevets) et le délai de délivrance (OCDE 2011).

3.5.3 La collecte des données

Une recherche a été effectuée entre les mois de février et juin 2013 dans la base de données de USPTO avec comme mots clés « solar cell » dans le résumé du brevet. La période de recherche s'étalait du 1^{er} janvier 1976 au 28 mai 2013. Au total, 2868

brevets ont été répertoriés. En comparant les données obtenues avec celles des applications de brevets de l'OCDE, « solar cell » est un bon indicateur puisque nous en avons obtenus 2572 en 2011 (OCDE.stat).

Dans le cadre de cette recherche, seule la base de données de l'office des brevets américains (USPTO) a été explorée pour repérer les brevets. Bien que d'autres bases de données existent, telle que celle de l'Europe (EPO) ou de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OECD Patent Database), celle de l'USPTO est la plus reconnue mondialement, voire même la plus importante dans le domaine. Qui plus est, elle a été la plus accessible par le web, et la plus complète au plan des informations pour chaque brevet.

Quelques erreurs de classements ont été détectées au fil de la collecte de données. D'abord, quelques citations de brevets ont indiqué des brevets postérieurs à la date d'obtention de brevet. Il est arrivé également que certains brevets soient classifiés sous la rubrique « solar cell » dans leur description alors que l'invention n'avait aucun lien avec le domaine. Ces inexactitudes ont été qualifiées d'erreurs humaines et le décompte a été corrigé en conséquence.

Un autre exemple d'erreur dans la banque de données est le fait que le pays du détenteur n'était pas répertorié de manière exacte (comme US [États-Unis] au lieu de DE [Allemagne]). En fait, selon le code international ISO alpha-2, l'abréviation de l'État du Delaware (DE) et aussi le même que celui de l'Allemagne (DE) (Office québécois de la langue française, 2002) ce qui peut induire de la confusion. À l'époque de l'Union soviétique, des brevets ont été attribués par l'USPTO. Bien qu'ils aient pu avoir été développés dans un pays satellite de l'actuelle ex-URSS, ces

derniers ont été classés avec les brevets russes. Il en est de même pour les brevets hongkongais d'avant 1999. Ceux-ci ont été classifiés comme étant chinois puisque Hong Kong est maintenant une région administrative spéciale de la République populaire de Chine. Ces imprécisions ont été corrigées manuellement dans notre banque de données.

CHAPITRE IV

LES RÉSULTATS

Ce chapitre vise à tester les quatre hypothèses avec les données recueillies auprès de l'Office des brevets américains (USPTO). L'USPTO n'a pas de classe spécifique pour l'industrie des panneaux solaires. Les brevets de cette industrie se retrouvent dans de nombreuses classes dont les semi-conducteurs, l'optique et bien d'autres. Pour remédier à cette situation, nous avons créé une base avec les 2868 brevets dont le mot « solar cell » apparaît dans le résumé du brevet.

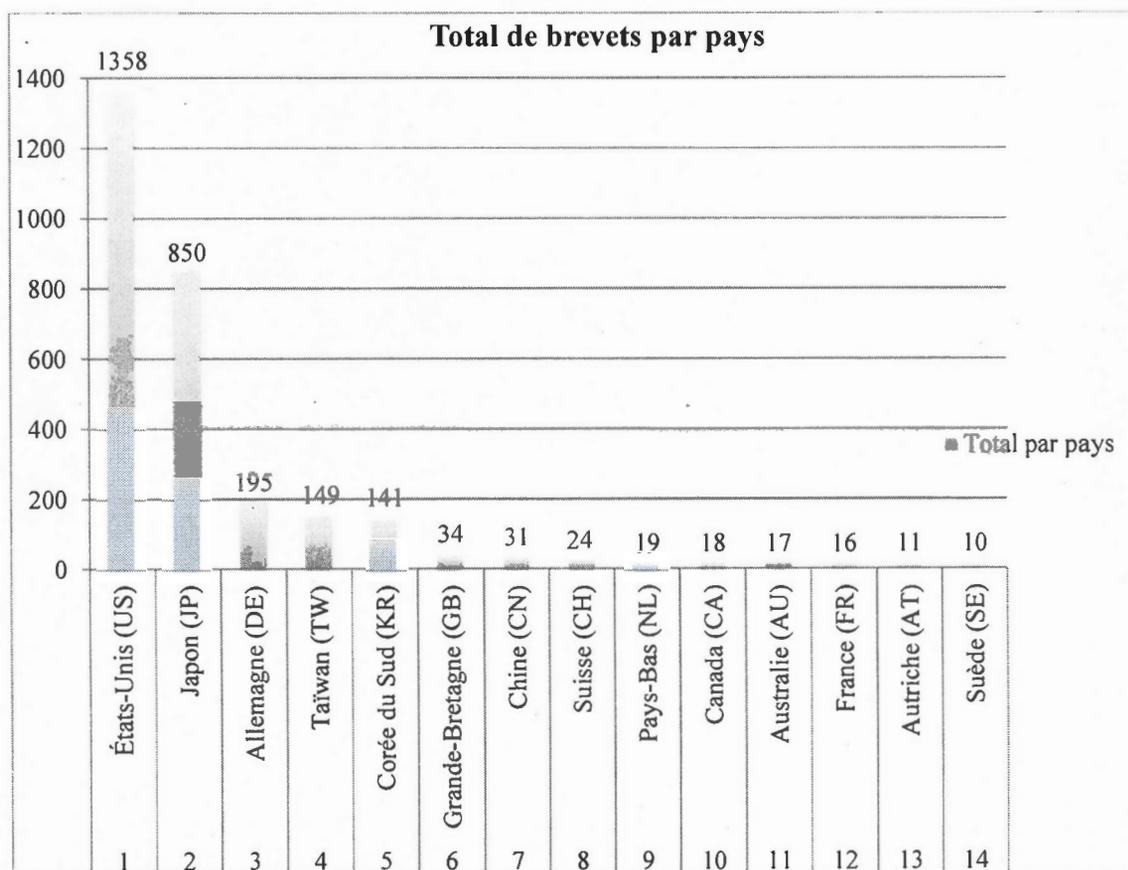
4.1 Résultats en lien avec l'hypothèse 1

La théorie du cycle du produit propose que l'évolution spatiotemporelle de l'innovation et de la production se déplace des pays les plus riches et ayant le plus vaste marché (i.e. les États-Unis) à des pays de deuxième cohorte (c.-à-d. l'Europe occidentale, le Canada et le Japon) puis à ceux de troisième cohorte (Brésil, Corée du Sud, Chine, Inde, et autres).

Si cette hypothèse s'applique à l'industrie des équipements photovoltaïques, nous devrions avoir plusieurs pays européens, le Canada et le Japon talonnant les États-Unis en matière du nombre des brevets, suivis des pays de troisième cohorte, comme le Brésil, la Chine, la Corée du sud, l'Inde, la Russie, Taiwan, ou Singapour.

Pour tester cette hypothèse, nous allons comparer le nombre de brevets par pays avec la production de modules solaire et avec l'état du marché en 2013.

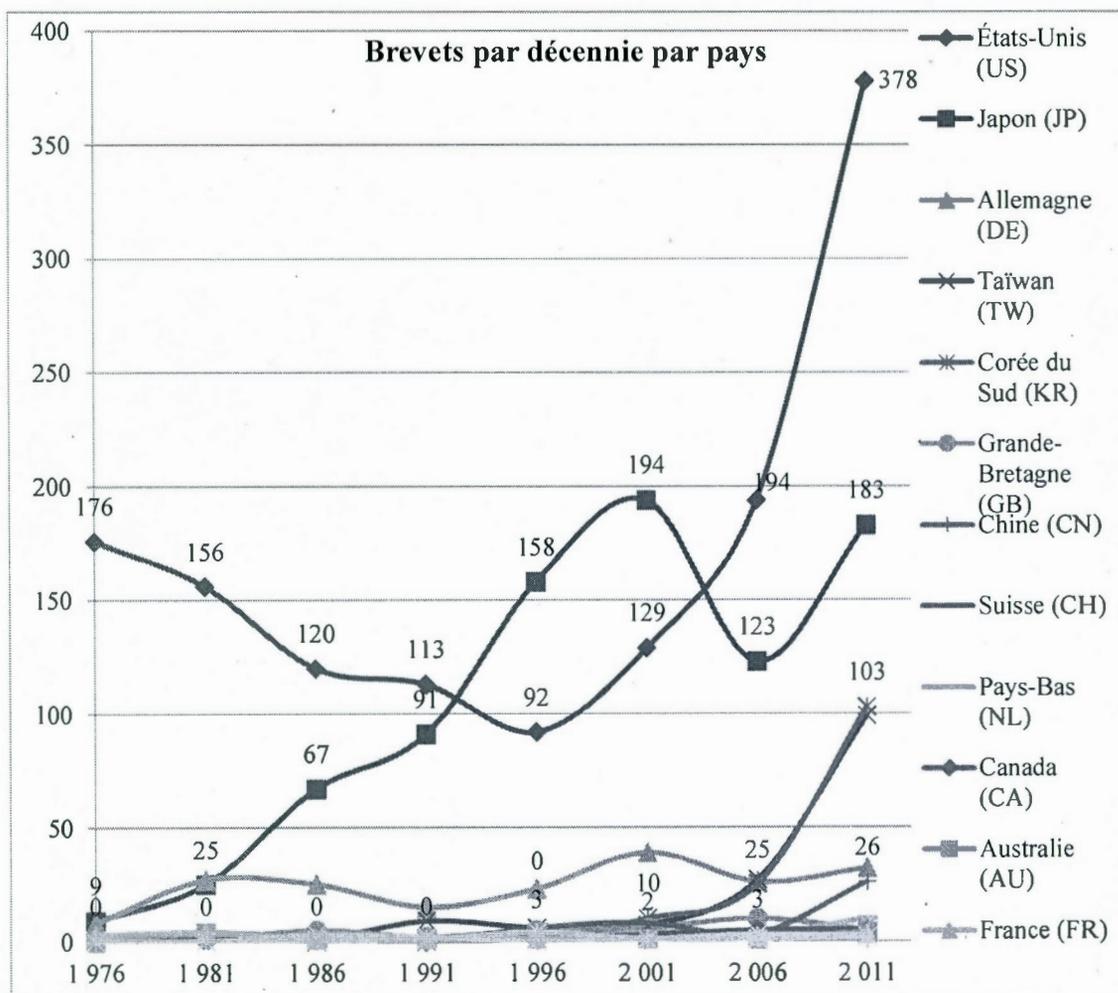
Figure 4.1: Cumul des brevets américains par pays entre 1976 et 2013, principaux pays



Source : Ebnoether (2014).

Les 2868 brevets américains contenant le mot clé « solar cell » ont été classifiés par pays des détenteurs. La somme des brevets cumulés indique que les États-Unis, de la première cohorte, dominent largement le classement en possédant 1358 brevets jusqu'en décembre 2013. Ils étaient suivis par des pays de la deuxième et troisième cohorte, le Japon (850 brevets), l'Allemagne (195), Taiwan (149) et la Corée du Sud (141). Quant au Canada, il est à l'origine de 18 brevets.

Figure 4.2: Brevets par décennie (1976-2013) principaux pays



Source : Ebnoether (2014).

Ce graphique (figure 4.2) montre une croissance du nombre de brevets des États-Unis détenus par les principaux pays détenteurs de brevets dans les technologies solaires depuis 1996. Cette croissance peut être liée avec l'adoption du Protocole de Kyoto, bien qu'il n'y ait pas été ratifié par les États-Unis. Ce courant de politiques environnementales et d'énergie verte a débuté durant cette même période. Il se peut

aussi qu'au fur et à mesure que la technologie se développe et l'efficacité des systèmes augmente, plusieurs entreprises décident d'y investir.

Le Japon a connu une croissance constante jusqu'au début des années 2000 et une reprise de cette croissance en 2010. Cette dernière fluctuation est possiblement en lien avec les désastres de Fukushima qui forcent les Japonais à se tourner vers des énergies plus respectueuses de l'environnement.

L'Allemagne maintient quant à elle une évolution constante depuis 1976. Taiwan est entré en jeu à partir de 1986 et a connu une croissance constante jusqu'en 2013. La Corée du Sud est présente dans l'activité des brevets depuis les années 1990, et elle est aussi en forte croissance.

En somme, ces données nous démontrent qu'en termes d'innovation, les États-Unis dominent largement par leur nombre de brevets détenus ainsi que par la croissance du nombre de brevets depuis la fin des années 1990. Le Japon, appartenant à la deuxième cohorte, suit les États-Unis. La Corée du Sud et Taiwan, de la troisième cohorte, ont une croissance constante du nombre de leurs brevets depuis le début des années 2000.

La recherche et l'innovation ont les coûts les plus élevés en investissement en R&D. Cette phase du développement exige d'importants investissements, mais obtient de faibles recettes si les inventeurs ne réussissent pas à endiguer l'entrée hâtive des imitateurs.

Tableau 4.1 : Les 10 plus grands producteurs d'équipement photovoltaïque, 2013

Rang mondial (2013)	Fournisseurs de modules	Pays (sièges sociaux)
1	Yingli Green Energy	Chine
2	Trina Solar	Chine
3	Sharp Solar	Japon
4	Canadian Solar	Canada
5	Jinko Solar	Chine
6	ReneSola	Chine
7	First Solar	États-Unis
8	Hanwha SolarOne	Chine
9	Kyocera	Japon
10	JA Solar	Chine

Adapté de Solarbuzz (2014c)

Le tableau 4.1 représente l'étape du cycle de vie d'un produit présent sur le marché. Nous pouvons constater que les dix fournisseurs de modules solaires mondiaux les plus importants en 2013 sont, en ordre d'importance, la Chine, le Japon, les États-Unis, et le Canada. La Chine qui est en tête vient de la troisième cohorte.

Tableau 4.2: Installations de systèmes PV en 2013

Pays	Installations en 2013	Part mondiale du marché
Chine	11,3 GW	30,54%
Europe	10,3 GW	27,84%
Japon	6,9 GW	18,65%
États-Unis	4,8 GW	12,97%
Inde	1,0 GW	2,70%
Reste du monde	2,7 GW	7,30%
Totaux	37,0 GW	100,00%

Source : EPIA, (2014a) (2014b)

Les parts de marchés ont progressé en 2013, en atteignant un total sans précédent de 37,007 GW d'installation mondiale (EPIA, 2014b). L'Asie s'est classée en tête en 2013 détrônant l'Europe qui l'a été pendant les dix années consécutives précédentes. Il y a eu 27 GW de nouvelles installations solaires en dehors du marché européen, comparé à 13,9 GW en 2012, 8 GW en 2011 et 3 GW en 2010 (EPIA, 2014). La région de l'Asie pacifique représentait 57% du marché mondial en 2013 (EPIA, 2014b). La dynamique de la Chine et du Japon dans le marché asiatique peut être expliquée par les subventions gouvernementales que ces pays accordent.

La demande européenne stagne dans certaines régions et parfois même diminue depuis la fin des programmes de subventions en Allemagne, en Italie, en Espagne, en France, en Belgique et au Danemark (EPIA, 2014b). Par exemple, le marché italien a

diminué de 70% en 2013 par rapport à 2012. L'Allemagne, quant à elle, a diminué de 57% (EPIA, 2014b) en 2013 par rapport à 2012.

Selon la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), la plus grande croissance du marché est à prévoir en Chine, en Asie du Sud-est, en Amérique latine, au Moyen-Orient, au Maghreb et en Inde (2014a).

Plusieurs autres marchés comme l'Inde, la Corée du Sud et la Thaïlande évoluent à un rythme plus modéré. L'EPIA prévoit également une croissance du marché au Chili et au Brésil (2014b). Le marché américain (Canada et États-Unis) croît lentement. Globalement, les États-Unis se positionnaient en troisième place en matière de production d'équipement.

Il semble donc que le tableau 4.2 permette de constater que le marché se soit déplacé dans la deuxième et dans la troisième cohorte, allant vers les pays les plus riches et de marchés plus vastes.

Pour conclure l'hypothèse 1, la théorie du cycle de vie peut certes expliquer une partie de cette évolution spatiotemporelle. L'innovation se déroule d'abord dans les pays riches puis évolue vers les pays de deuxième et de troisième cohorte. Il en est de même pour la production et les marchés.

Il est cependant nécessaire de souligner que le déplacement mondial de la production et de l'innovation se fait grosso modo selon les prévisions de la théorie du cycle de

vie, mais que l'aide financière gouvernementale explique aussi en partie son évolution. En effet, les baisses des subventions en Europe depuis le début de la crise de 2008 correspondent aux baisses de demandes d'équipement et de l'innovation dans ce marché, et les hausses de demandes en Asie peuvent être également expliquées par la hausse de l'aide gouvernementale dans ces pays. L'évolution de la production et de l'innovation est extrêmement complexe. Il y a beaucoup de fonds publics et privés investis. Il serait trop ardu d'élaborer la question dans ce présent travail.

4.2 Résultats en lien avec l'hypothèse 2

Notre deuxième hypothèse suggérait que l'origine géographique des détenteurs de brevets peut prédire leur qualité et le nombre de citations qu'ils reçoivent. Un détenteur originaire d'une grande région métropolitaine aura plus de citations. Cette causalité peut possiblement s'expliquer avec le réseautage entre firmes qui, par ricochet, a une incidence sur la qualité des brevets, mais aussi par les externalités régionales.

Une région métropolitaine se définit par la formation d'un grand centre de population. Elle est constituée d'une grande région urbaine (ville principale) avec les communautés adjacentes et les villes satellites ainsi que sa zone adjacente d'influence, y compris les zones rurales (Statistiques Canada 2007). L'OCDE classe les régions métropolitaines en quatre groupes: les petites régions (50 000 à 200 000 habitants), les moyennes régions (200 000 à 500 000 habitants); les régions métropolitaines (500 000 et 1.5 million d'habitants); les grandes régions métropolitaines (plus de 1.5 millions d'habitants) (OCDE 2012).

Pour tester cette hypothèse, nous allons comparer les citations par région métropolitaine. Nous examinerons également l'origine géographique des brevets détenant le plus de citations.

Tableau 4.3: Les brevets selon les principales régions métropolitaines

	Pays	Régions métropolitaines	Nombre de brevets	Ratio
1	Japon	Keihanshin MMA	393	13,70%
2	Japon	Kanto MMA	390	13,60%
3	États-Unis	San Francisco Bay metropolitan area	284	9,90%
4	États-Unis	Los Angeles Metropolitan area	232	8,09%
5	Autres ¹	Autres ³	128	4,46%
6	États-Unis	New York Metropolitan area	123	4,29%
7	Corée du Sud	Seoul Capital area	110	3,84%
8	États-Unis	Boston Metropolitan area	102	3,56%
9	Allemagne	Munich Metropolitan region	56	1,95%
10	Taiwan	Taipei-Keelung Metropolitan area	50	1,74%

Source : Ebnoether (2014).

Nous avons classé tous les brevets répertoriés par régions métropolitaines dans le tableau 4.3. Il y a au total 2868 brevets répartis dans 188 régions. Dans ce classement, 45,29% se situent dans les quatre premières régions métropolitaines. Les deux régions les plus dominantes sont japonaises. Celles-ci, Keihanshin MMA et Kanto MMA possèdent un total de 783 brevets. Elles sont suivies par deux régions

³ Ces brevets proviennent de villes n'appartenant pas à une région métropolitaine.

américaines, San Francisco et Los Angeles, qui possèdent ensemble 516 brevets. Étonnamment, la cinquième position est occupée par 130 brevets issus de villes n'appartenant pas à une région métropolitaine, ce qui représente 4,53% du total.

Le prochain tableau représente les brevets les plus cités par régions métropolitaines.

Tableau 4.4: Régions métropolitaines et nombre de brevets cités au moins 5 fois

	Pays	Régions métropolitaines	Nombre de brevets cités au moins 5 fois	Ratio (%)
1	Japon	Keihanshin MMA	258	17,8
2	Japon	Kanto MMA	185	12,7
3	États-Unis	Los Angeles Metropolitan area	140	9,6
4	États-Unis	New York Metropolitan area	92	6,3
5	États-Unis	San Francisco Bay Metropolitan area	81	5,6
6	États-Unis	Boston Metropolitan area	74	5,1
7	Autres ²	Autres ⁴	58	4,0
8	Allemagne	Munich Metropolitan region	37	2,5
9	États-Unis	Philadelphia Metropolitan Area	32	2,2
10	États-Unis	Washington-Arlington-Alexandria, DC-VA-MD-WV Metropolitan area	27	1,87

Source : Ebnoether (2014).

⁴ Ces brevets proviennent de régions non métropolitaines et/ou de villes non précises.

Le tableau 4.4 représente le décompte des 1446 brevets ayant été cités au moins cinq fois et qui ont été regroupés par régions métropolitaines. Dans l'ensemble de la base de données, la moyenne des citations est de six citations par brevet. La moyenne des citations ayant cinq citations et plus est de 21,5 citations. La médiane de l'ensemble des brevets est de 11.3 citations tandis que la médiane des citations ayant cinq citations et plus est de 15.

Les citations reçues pour un brevet ont un rôle similaire à celui des références pour les publications scientifiques. Nous avons comptabilisé le nombre de fois que chaque brevet a été cité dans des brevets subséquents. Plus un brevet est cité, meilleure est sa qualité.

La plupart des brevets ne sont jamais cités. Il en résulte donc qu'un brevet cité 5 fois se retrouve au sommet des quelques brevets cités (Karki, 1999). Dans le cas qui nous concerne, nous en avons quelques-uns qui sont cités de façon remarquable, allant jusqu'à 461 citations et moins. En général, selon Karki (1999), un brevet cité six fois et plus se situerait dans les 10% des brevets les plus cités, toutes catégories de brevets confondues. À cet égard, nous pouvons aussi comparer les portfolios de compagnies issues des technologies de l'information (Lloyd, 2014). Il y a très peu d'étude utilisant les brevets dans le domaine des technologies photovoltaïques. Nous avons, par conséquent, établi le seuil de cinq citations comme critère de bonne qualité des brevets.

Il en ressort que les deux régions les plus productives le sont aussi en termes de qualité. En effet, les régions métropolitaines japonaises Keihanshin MMA et Kanto MMA arrivent encore une fois en tête de liste avec respectivement 258 (17,84%) et

185 (12,79%) brevets. Elles sont suivies par les régions métropolitaines de Los Angeles avec 140 brevets (9,68%), New York avec 92 brevets (6,36%), San Francisco avec 81 brevets (5,6%), Boston avec 74 brevets (5,12%). Il y a 74 brevets qui appartiennent à des régions non métropolitaines, représentant 4,01%.

En somme, nous constatons qu'une grande région métropolitaine produit davantage de brevets et des brevets dont la qualité est supérieure. Le Japon et les États-Unis dominent en termes d'acquisition et de qualité de brevets. Aucun pays européen ne se démarque notablement. Il faut cependant indiquer qu'un certain nombre de brevets qui sont acquis et cités proviennent de régions non métropolitaines. Néanmoins, ce fait ne n'entre pas en contradiction avec notre hypothèse. Il semble donc que le réseautage d'une région métropolitaine favorise la diffusion des connaissances et, par conséquent, les citations de brevets.

4.3 Résultats en lien avec l'hypothèse 3

Le nombre de revendications (mesure antérieure à l'exploitation du brevet) permet d'anticiper le nombre de citations que le brevet aura après sa publication (références ultérieures ou forward citations). En ce sens, plus un brevet a des revendications, plus il y aura des citations.

Pour tester cette hypothèse, nous utiliserons la corrélation entre revendications et citations.

Tableau 4.5: La corrélation entre revendications et citations

Corrélation

		Références ultérieures	Revendications
Références ultérieures	Pearson Correlation	1	,153**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	2866	2866
Revendications	Pearson Correlation	,153**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	2866	2869

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Nous avons essayé d'identifier les stratégies de brevet utilisées par différentes organisations en nous fondant sur le nombre des références ultérieures (forward citations- FC). Nous avons trouvé que les variables YEAR (année où le brevet a été émis) et CLAIMS (nombre de revendications) sont liées au nombre des FC. Le R carré est de 0.195 dans une régression linéaire. Lorsque nous ajoutons la variable COUNTRYNUM (CN- qui est très fortement reliée à FC), elle n'entre pas dans l'équation. Pour remédier à cet obstacle nous avons transformé CN en COUNTRYTRICHO (CD – où les États-Unis gardent la valeur 1, le Japon la valeur 2 et le reste du monde 3). La moyenne des FC est 11, la médiane est de 5 et le mode est de 0.

Par la suite, nous avons reconverti la variable DUMMY. Cela a fait en sorte que les pays autres que les États-Unis et le Japon ont reçu la valeur 1; les États-Unis et le Japon la valeur 2. Cette variable améliore l'estimation de seulement 0.003.

Puis, nous avons tenté de l'améliorer selon le type de breveteur (variable Type1). La variable de type 1 a été catégorisée à nouveau. Le chiffre 1 représente les firmes (1 ou plusieurs) (1+2); 2 indique les détenteurs individuels (inventeurs); 3 illustre les gouvernements; 4: signifie les universités (fondation=université); 5 est pour les laboratoires (par exemple : Agency of Industrial Science and Technology du Japon); et finalement le 6 désigne des consortiums privé ou public [ex. laboratoire et université].

Avec cette dernière variable, la régression s'est améliorée, mais très peu. Car, nous avons modifié la variable Year par le nombre d'années à compter de 2013. Ainsi une variable qui a la valeur "2011" a eu la valeur "2", celles de 1987 auront la valeur "26 [2013-1987], etc. Ce procédé a fait en sorte que "year" était un peu plus variable; telle qu'elle est elle varie très peu.

Nous croyions au départ que le nombre de revendications pouvait être un indicateur pour la qualité d'un brevet [nombre de citations]. Il y a une corrélation entre revendications et citations, mais la relation n'est pas très forte. Nous ne pouvons donc pas confirmer cette hypothèse.

4.4 Résultats en lien avec l'hypothèse 4

Les secteurs d'origine peuvent prédire la qualité d'un brevet. Par exemple, les laboratoires publics possèdent peu de brevets, mais ceux-ci sont très cités.

Pour tester cette hypothèse, nous allons présenter le décompte des brevets par type puis les comparer aux citations.

Tableau 4.6 : Décompte de brevets par type

Secteurs d'origine	Nombre de brevets	Ratio
1-Firmes	2198	76,6%
2-Inventeurs individuels	310	10,8%
3-Gouvernements	81	2,8%
4-Universités	122	4,3%
5-Laboratoires	132	4,6%
6-Consortiums	25	0,9%
Totaux	2868	100%

Source : Ebnoether (2014).

Nous avons classifié les 2868 brevets en six catégories de détenteurs. La première catégorie représente les firmes; la seconde désigne un ou des individus que nous avons nommés inventeurs individuels ; la troisième symbolise un gouvernement ; la quatrième incarne le secteur universitaire [fondations, universités]; la cinquième figure les laboratoires de recherche publics et privés; enfin, la sixième exprime un consortium public et privé [par exemple un institut jumelé à une université].

Le tableau 4.6 nous indique que la grande majorité des brevets est détenue par les firmes. Ces dernières détiennent 2198 des 2868 brevets, soit 76,6%.

Le tableau suivant exprime la comparaison entre le nombre de brevets et le nombre de citations.

Tableau 4.7 : la comparaison entre le nombre de brevets et le nombre de citations

Secteurs d'origine	Nombre de brevets	Ratio Brevets	Nombre de citations	Ratio Citations totale
1-Firmes	2198	76,60%	25111	77,88%
2-Inventeurs individuels	310	10,80%	3838	11,90%
3-Gouvernements⁵	81	2,80%	1165	3,61%
4-Universités	122	4,30%	1070	3,32%
5-Laboratoires	132	4,60%	984	3,05%
6-Consortiums	25	0,9%	77	0,24%
Totaux	2868	1	32245	1

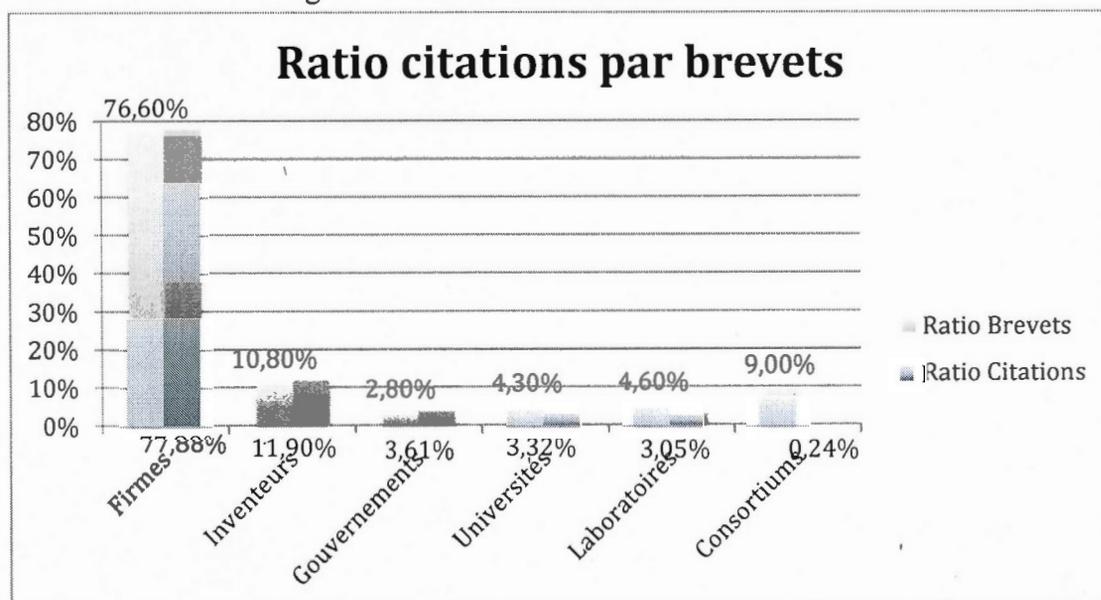
Source : Ebnoether (2014).

Le tableau 4.7 présente le nombre total de brevets ainsi que le nombre total de citations par secteur respectif. Des 2198 brevets détenus par les firmes, un total de 25111 citations ont été obtenues. Ce qui représente un ratio de 77,88% de citations. Les inventeurs individuels possèdent 310 brevets et un total de 3838 citations

⁵ Dans ce cas, l'État (pays, province ou état) possède des brevets issus de laboratoire public propriété de celui-ci.

[11,9%]. Les gouvernements ont 81 brevets et 1165 citations au total [3,61%]. Les universités ont 122 brevets et 1070 citations totales [3,32%]. Les laboratoires ont 132 brevets et 984 citations [3,05%]. Finalement, les consortiums ont 25 brevets et 77 citations totales [0,24%]. La figure 9 illustre le ratio de citations par brevets.

Figure 4.3 : Ratio des brevets et des citations



Source : Ebnoether (2014).

En somme, le tableau 4.7 et la figure 4.3 montrent qu'il y a peu de corrélation entre le secteur d'origine et le nombre total de citations. Par exemple, les consortiums possèdent 9% du ratio total de brevets, mais seulement 0,24% de citations. Pour les autres secteurs, les ratios brevets sont similaires aux ratios citations respectives.

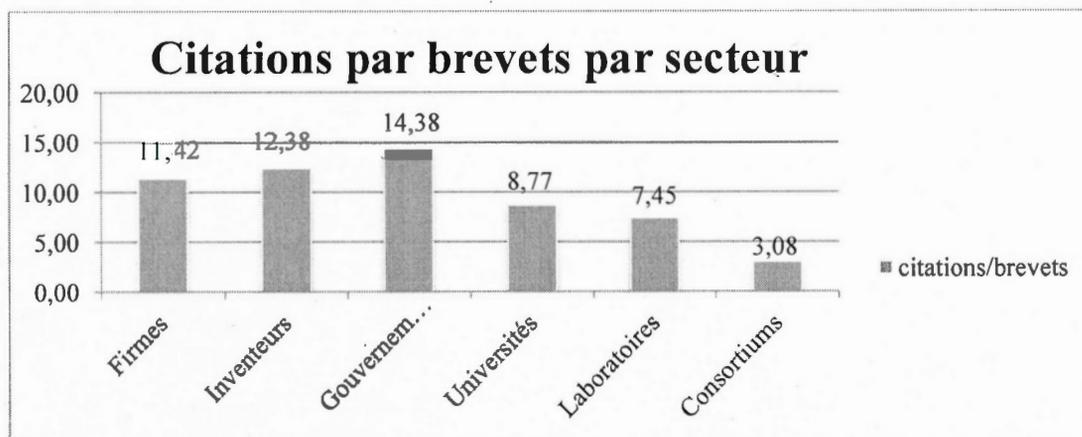
Tableau 4.8: Les citations par brevets selon les types de demandeurs

Secteurs	Citations par brevets	Qualité des citations
Firmes	11,42	19,87%
Inventeurs individuels	12,38	21,53%
Gouvernements	14,38	25,02%
Universités	8,77	15,25%
Laboratoires	7,45	12,97%
Consortiums	3,08	5,36%

Source : Ebnoether (2014).

Le tableau 4.8 représente le nombre de citations par brevets et par secteur. Les firmes ont 11,42 citations par brevet ce qui représente 19,87% du total. Les inventeurs possèdent 12,38 citations par brevet, soit 21,53%. Les gouvernements ont reçu 14,38 citations par brevets [25,02%]. Les universités ont 8,77 citations par brevets [15,25%]. Les laboratoires ont 7,45 citations par brevets [12,97%]. Finalement, les consortiums ont 3,08 citations par brevets [5,36%].

Figure 4.4: Citations par brevet par type de demandeur



Source : Ebnoether (2014).

La figure 4.4 illustre que les gouvernements ont plus de citations par brevets [14,38]. Ils sont suivis par les inventeurs [12,38], les firmes [11,42], les universités [8,77], les laboratoires [7,45] et les consortiums [3,08].

4.5 Conclusion des résultats

En premier lieu, cette analyse des résultats nous a démontré qu'il y a une progression des marchés de production et d'installation au profit des pays asiatiques. Cependant, l'innovation se fait encore principalement aux États-Unis et au Japon. Nous remarquons par contre une croissance de ces activités innovantes en Corée du Sud et à Taiwan.

La recherche et l'innovation nécessitent des sommes importantes de financement. Leur commandite est principalement d'origine gouvernementale. La diminution de l'investissement des deniers publics en Europe est reflétée par la baisse de l'activité de brevets et des installations. L'inverse se produit en Asie, l'activité des brevets et de production est le reflet de l'augmentation des aides gouvernementales.

En ce qui concerne l'origine géographique des brevets photovoltaïques, de grandes régions métropolitaines du Japon et des États-Unis sont en tête pour l'innovation et pour la qualité de leurs brevets. Il semble que plus il y a d'activités d'innovations, meilleure sera la qualité des brevets. Ce phénomène est en lien avec le réseautage, qui favorise la diffusion des connaissances utile pour des pistes de recherche. Le nombre de citations des brevets est le résultat du réseautage qui permet de publiciser les travaux de recherche.

Il importe de préciser qu'aucune région métropolitaine européenne ne se démarque. Cela peut être expliqué par le fait que seule l'Allemagne se situe dans les cinq premiers pays possédant le plus de brevets. Il faut aussi souligner qu'un grand nombre de brevets de qualité sont originaires de villes provenant de régions non métropolitaines.

L'origine sectorielle des détenteurs de brevets donne un indice sur la qualité de ceux-ci. Cependant, la quantité n'égale pas la qualité. Il en ressort que les gouvernements ont très peu de brevets, mais ceux-ci sont beaucoup plus cités. Ceci peut être en lien avec le financement des laboratoires publics, qui au final, sont la propriété de l'État. Les brevets des découvertes résultant des recherches en laboratoires publics sont octroyés au nom de l'État pourvoyeur. Par contre, les consortiums (regroupant des laboratoires publics et privés) ont les plus faibles résultats de qualité.

Enfin, le nombre de revendications a peu d'incidence sur les références ultérieures. C'est un outil stratégique d'entreprise afin de protéger leurs idées et leurs marchés.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Ce chapitre fait le point sur les objectifs de cette étude sur l'innovation et la production dans le secteur des cellules solaires. D'abord, nous effectuerons un retour sur les résultats en répondant aux questions de recherche présentées au chapitre III. Enfin, nous cernerons les limites de l'étude et les possibilités de recherches futures.

5.1 Retour sur les théories

Que peut-on conclure sur l'évolution spatiotemporelle de l'innovation et de la production des cellules photovoltaïques en lien avec le transfert technologique et la propriété intellectuelle depuis 1976 ?

Pour répondre à cette question ainsi qu'à chacune des questions de recherche, nous présenterons un rappel des théories jumelé aux résultats obtenus dans nos analyses.

Q1 : Quelle est la relation dans le secteur photovoltaïque entre l'innovation, la productivité et la géographie ?

Le facteur géographique entre en considération lorsqu'il y a une concentration d'activités d'innovation et de productivité. Les études démontrent clairement que l'emplacement géographique a un rôle dans le transfert technologique (Cohen et Levinthal, 1990; Baptista 1999; Audrescht et Feldman, 2002; Porter, 2003), car il

favorise les échanges et l'innovation. La diffusion de la connaissance est également présente puisqu'il s'agit d'un échange de savoir technologique implicite ou tacite (De Bondt, 1996; Lukash et Plasmans, 2002). Il en est de même avec les systèmes d'innovation (national, régional, technique ou sectoriel) dans lesquels l'aspect géographique prédomine (Lundvall, 1992; Nelson, 1993; Edquist, 1997; Porter, 2003; Niosi, 2005). Malerba (2007) propose notamment que l'innovation occupe une place centrale dans un tel système, permettant d'engendrer la croissance et les compétitivités des firmes et des pays.

La mesure des brevets nous a indiqué que les États-Unis dominent toujours l'activité d'innovation. Les résultats de notre analyse démontrent cependant qu'il y a une progression de la production et des installations vers l'Asie. Nous dénotons également que les pays asiatiques sont de plus en plus actifs dans l'activité de brevetage depuis les dix dernières années.

Q2 : Quel est le rôle des agglomérations industrielles dans ce secteur?

Une agglomération industrielle attire les participants ou des firmes par le réseautage qu'elle crée. Les firmes d'ancrage facilitent également l'attraction d'autres entreprises (Agrawal et Cockburn, 2002 ; Feldman, 2003). Elles deviennent ainsi une forme d'incubateur. L'innovation est stimulée par ces échanges de formes multiples. Les réseaux facilitent d'adoption de nouvelles technologies (Audrescht et Feldman, 2002). À ce concept s'ajoute celui des externalités de connaissances qui sont une «fuite involontaire ou l'échange volontaire d'informations technologiques utiles» (De Bondt, 1996).

Nos résultats abondent en ce sens, car ils nous démontrent que les grandes régions métropolitaines japonaises (Keihanshin et Kanto) et américaines (Los Angeles et New York) produisent des brevets en plus grandes quantités. Ceux-ci sont également de meilleure qualité.

Q3 : Est-ce que les inventions dans le secteur photovoltaïque sont davantage créées dans les agglomérations? Et lesquelles? Et pourquoi ?

Les brevets recensés nous indiquent qu'ils proviennent en majorité de grandes régions métropolitaines. Cependant, il ressort de notre analyse que les inventions ne proviennent pas nécessairement de villes qui en font partie. En effet, un grand nombre de brevets était originaire de villes n'appartenant pas à des régions métropolitaines.

Q4 : Y a-t-il une évolution temporelle et géographique dans le secteur photovoltaïque ?

Certes, les données recueillies nous démontrent une tendance indiquant une évolution spatiotemporelle vers l'Asie. Cette évolution temporelle peut être expliquée par le transfert technologique (Rogers, 1995; Baptista, 1999; Niosi et Chabchoub, 2004), la diffusion de la connaissance à l'intra et à l'extra des firmes (Cohen et Levinthal, 1990) ainsi que par l'information contenues dans les brevets (Ernst, 2003). Les systèmes d'innovation jouent également un rôle avec les transferts technologiques qui sont favorisés par leurs réseaux.

Nos résultats nous indiquent que les États-Unis dominent en nombre de brevets émis depuis 1976. Cependant, nous remarquons que depuis le début des années 2000 des

pays asiatiques, comme la Corée du Sud et Taiwan, ont une croissance considérable du nombre total de leurs brevets.

Q5 : Comment un système régional d'innovation se développe-t-il ?

Les données suggèrent que les inventions dans ce secteur se font dans des régions métropolitaines japonaises (Keihanshin et Kanto), américaines (San Francisco, Los Angeles, New York, Boston), coréennes (Séoul), taïwanaises (Taipei-Keelung) et allemandes (Munich).

Q6 : Est-ce que les grandes villes produisent plus de brevets dans le secteur photovoltaïque?

Les données font part que non seulement les grandes villes produisent plus de brevets, mais qu'ils ont aussi tendance à être de meilleure qualité.

Q7 : Quel est le rôle des institutions dans ce processus d'invention?

Notre analyse suggère que les institutions (laboratoires publics et privés, universités et politiques d'innovation) jouent un rôle constant dans le processus d'invention et d'innovation par l'émission de brevets. Ceux-ci, bien qu'ils ne soient pas tous de grande qualité, regroupent ceux de la catégorie gouvernementale reconnue pour être les plus cités de tous les secteurs.

Cependant, la classification des brevets par secteurs d'origine des détenteurs nous a indiqué que les firmes sont majoritaires dans le processus d'invention puisqu'elles émettent le plus grand nombre de brevets.

Les théories de la diversité technologique (Grandstand, Patel et Pavit, 1997), la propension à breveter (Ernst, 1995; Blind, 2009), la volonté d'avoir un portfolio élargi (Hall et al, 1986; Ernst, 1996, 1998; Blind 2009) sont à considérer.

Q8 : Qui sont les détenteurs de brevets photovoltaïques?

Notre analyse trouve que les États-Unis possèdent le plus de brevets. Ils se démarquent de ses successeurs qui sont le Japon, l'Allemagne, Taiwan et la Corée du Sud.

Q9 : Quels secteurs produisent des brevets photovoltaïques?

Les données indiquent que ce sont les firmes qui produisent en grande majorité les brevets photovoltaïques. Les inventeurs individuels sont deuxièmes au classement.

Q10 : Quels secteurs détiennent des brevets photovoltaïques?

Les données montrent que les firmes détiennent majoritairement le plus de brevets.

Q11 : Quelles firmes détiennent les brevets ?

Notre banque de données nous indique que les cinq firmes possédant le plus de brevets sont : Canon Kabushiki Kaisha (Japon), Sharp Kabushiki Kaisha (Japon), Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha (Japon), Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha (Japon), et DuPont (États-Unis).

Q12 : Qui sont les inventeurs ?

Selon nos données, il semble que les inventeurs proviennent dans l'ensemble majoritairement des États-Unis.

Q13 : Quelle est la propension à breveter ? Varie-t-elle selon l'activité industrielle ?

La littérature suggère que les firmes ont une plus grande propension à breveter et nos résultats démontrent la même chose. Cela fait partie des stratégies d'entreprises d'utilisation des brevets afin d'exclure un compétiteur (Ersnt, 2003) ainsi que de la théorie de la diversité technologique (Grandstand, Patel et Pavit, 1997) pour élargir un portfolio. Cohen et al (2000) ont établi que les grandes entreprises ont tendance à breveter davantage, car elles font davantage de la R-D. La propension à breveter dépend du type d'industrie (Ernst, 1995). Nos résultats montrent que la protection par brevet semble jouer un rôle important puisque les grandes firmes possèdent majoritairement les brevets dans cette industrie.

Q14 : La taille des firmes a-t-elle une incidence sur la prise de brevet ?

La majorité des brevets a été obtenue par de grandes firmes comme Canon, Sharp, Mitsubishi, et DuPont. Ce sont de grandes firmes qui poursuivent le développement de la technologie solaire comme BPSolar, Total, ARCO, etc. Dans le secteur des vitres solaires, ce sont encore de grandes firmes comme Corning, St Gobain, Guardian et Pilkington. Par conséquent, la taille de l'entreprise semble avoir une grande incidence sur la propension à breveter dans ce domaine.

Q15 : Quelles stratégies les firmes utilisent-elles pour diversifier leur technologie ?

Certaines entreprises créent de la technologie à l'interne à partir de leur propre laboratoire de R-D (firmes américaines et japonaises). D'autres achètent des entreprises existantes (firmes françaises et chinoises) dans le cadre de gestion de la technologie comme l'ont analysé notamment Ashton et Sen (1988) et Cohen et Levinthal (1990).

Q16 : Est-ce que les citations et le nombre de revendications sont des indicateurs de la qualité des brevets photovoltaïques?

Les données suggèrent que le nombre de revendications et de citations sont peu corrélés entre eux.

Q17 : Est-ce que les brevets dans le secteur photovoltaïque sont de qualité ?

La littérature évalue la valeur technologique et économique d'un brevet par, entre autres, les citations (Narin et al, 1987; Ernst, 1995; Hall et al, 2005; OCDE, 2011). Notre analyse suggère que les gouvernements, les inventeurs individuels et les firmes ont respectivement les meilleurs niveaux de qualité. Les firmes ont un plus grand nombre de citations totales.

Q18 : Est-ce que les brevets académiques dans le secteur photovoltaïque sont plus cités que les autres?

Nos données suggèrent que ce sont les brevets de leurs gouvernements et de leurs laboratoires qui sont les plus cités. Les brevets académiques ne se démarquent pas.

Q19 : Le réseautage entre les firmes a-t-il une incidence sur les citations de ces brevets?

Le réseautage semble avoir une incidence sur les citations des brevets puisque nos données indiquent qu'ils proviennent majoritairement de grandes régions métropolitaines. L'innovation y est stimulée par des échanges de toutes sortes. Les réseaux facilitent d'adoption de nouvelles technologies (Audrescht et Feldman, 2002) ainsi que les échanges volontaires ou involontaires de connaissances (De Bondt, 1996).

En conclusion, nous avons présenté les résumés des analyses et des résultats permettant de répondre aux questions de recherche ainsi qu'aux quatre hypothèses. La littérature démontre que ces concepts sont en lien avec l'innovation dans le secteur de l'énergie solaire. Celle-ci demeure une technologie en évolution dont l'innovation est présentement en effervescence. Les changements climatiques, la nécessité d'une transition énergétique verte pour remplacer les énergies fossiles ainsi que les politiques environnementales et d'innovation des gouvernements favorisent cette industrie. Nos données nous permettent de conclure qu'il y a une évolution spatiotemporelle de la technologie solaire dans le domaine de la propriété intellectuelle. Celle-ci se démarque par la croissance à l'échelle mondiale du nombre de brevets ainsi que par la production d'équipement et d'installations en gigawatt.

5.2 Les limites de l'étude

Le brevet constitue une source objective identifiant les changements technologiques, mais son analyse comporte quelques limites. En effet, ce ne sont pas toutes les inventions qui sont brevetées en raison des coûts, des stratégies d'entreprises, etc. Néanmoins, les brevets fournissent les seules données systématiquement documentées sur l'état des nouvelles connaissances.

Comme mentionné au chapitre III, quelques erreurs de classements ont été détectées dans le site web de l'office des brevets américains (USPTO). Ces inexactitudes ont été corrigées dans notre décompte.

Une autre limite concerne la taille de l'échantillon. Celui-ci est très large avec ses 2868 brevets. Il a permis de montrer l'évolution de cette technologie sur une longue période de temps (37 ans). Nous avons exploré les pays, les firmes, les inventeurs, les citations, et les secteurs. Cependant, un plus petit échantillon de brevets (en nombre et en temps) aurait pu nous permettre une analyse avec plus de profondeur.

5.3 Possibilités de recherches futures

L'activité des brevets photovoltaïque est en pleine effervescence. Il serait intéressant de constater la progression de l'activité de brevets dans la dernière année. Entre autres, voici quelques idées pour compléter l'étude sur l'évolution spatiotemporelle des brevets dans le secteur photovoltaïque :

- Refaire cette étude avec une période temporelle plus restreinte.
- Refaire cette étude avec un espace géographique plus restreint.
- Refaire cette étude en incluant l'origine des inventeurs et l'effet de la co-invention.
- Analyser les données dans le cadre d'un système régional d'innovation donné.
- Analyser plus en profondeur les secteurs d'origines; les subdiviser.
- Explorer de grandes firmes et leur incidence sur la prise des brevets.
- Analyser les effets des investissements publics par rapport aux sommes investies.
- Analyser les stratégies de diversification des firmes dans la prise des brevets.

BIBLIOGRAPHIE

Agrawal, A. et I. M. Cockburn. (2002) « University research, industrial R&D and the Anchor tenant hypothesis. » *NBER Working Paper no. W9212*.

Agrawal, A. et I. M. Cockburn. (2003) « The anchor tenant hypothesis: exploring the role of large, local, R&D-intensive firms in regional innovation systems. » *International Journal of Industrial Organization*. 21: 1227-1253.

Agrawal, A., D. Kapur et J. McHale. (2008) « How do spatial and social proximity influence knowledge flows? Evidence from patent data. » *Journal of Urban Economics*, 64:258-269.

Ashton, W.B. et R.K. Sen. (1988) « Using patent information in technology business planning. » *Research Technology Management*. 31 (6): 42-46.

Audrescht, D. et M. Feldman. (2002) « Localized Knowledge Spillovers: Theory and Evidence. » Présentation au séminaire « Clusters in high technology », Montréal, 35 pages.

Baglieri, D. et F. Cesaroni. (2013) « Capturing the real value of patent analysis for R&D strategies. » *Technology Analysis and Strategic Management*, 25(8): 971-986.

Baptista, R. (1999) « The Diffusion of Process Innovations: A Selective Review. » *International Journal of the Economics of Business*, 6 (1): 107-129.

Becattini, G. (1990) « The Marshallian Industrial District as a Socio-Economic Notion, » in G. Becattini, F. Pyke and W. Sengenberger, 1990, *Industrial Districts and Inter-Firm Co-operation in Italy*, Genève: International Labor Studies, pp. 37-51.

Bernstein, J. et M. Nadiri. (1988) « Inter-industry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries. » *The American Economic Review*. 78: 429-434.

Blind, K., J. Edler, R. Frietsch et U. Schmoch. (2006) « Motives to patent: Empirical evidence from Germany. » *Research Policy*. 35 (5) : 655-672.

Blind, K., K. Cremers et E. Mueller. (2009) « The influence of strategic patenting on companies' patent portfolios » *Research Policy*. 38 (2):428-436

Bourbon, J.-C. (2014) « Fin du bonus pour les panneaux photovoltaïques européens » <http://www.la-croix.com/Actualite/Economie-Entreprises/Economie/Fin-du-bonus-pour-les-panneaux-photovoltaïques-europeens-2014-03-17-1121507> Consultation 20 mars 2014.

Braun, F.G., E. Hooper, R. Wand et P. Zloczynski. (2011) « Holding a Candle to Innovation in concentrating solar power technologies: A Study drawing on patent data. » *Energy Policy*. 39: 2445-2446.

Chabchoub, N. et J. Niosi. (2005) « Explaining the propensity to patent computer software. » *Technovation*. 25 (9): 971-978.

Chesbrough, H. W. (2003) «The era of open innovation». *MIT Sloan Management Review* 44 (3): 35-41.

China Global Trade.Com (2012) <http://www.chinaglobaltrade.com/article/us-china-solar-trade-case-background>. Consulté le 9 mai 2012.

Cohen, W. M. et D. A. Levinthal. (1990) « Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. » *Administrative Science Quarterly*, 35(1): 128-152.

Cohen, W. M., Nelson R.R. et J.P. Walsh. (2000) « Protecting their intellectual assets: appropriability conditions and why u.s. manufacturing firms patent (or not). » National Bureau of Economic Research Working Paper Series N. 7552 <http://www.nber.org/papers/w7552> Consultation: le 1 Janvier 2014.

Cooke, P. (1992) « Regional innovation systems: Competitive regulation in the the new Europe. » *Geoforum*. 23: 365-382.

Cooke, P., M. Gomez Urang et G. Etxebarria. (1997) « Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. » *Research Policy*. 26: 475-491.

De Backer, K., V. Lopez-Bassols et C. Martinez. (2008) « Open innovation in a global perspective – what do existing data tell us? » OECD/OCDE Working paper DSTI/DOC(2008) 4.

De Bondt, R. (1996) « Spillovers and Innovative Activities.» *International Journal of Industrial Organization*. 15: 1-28.

Doloreux, D. (2002) « What we should know about regional systems of innovation.» *Technology in Society*, 24: 243-263.

- Doloreux, D. et P. Bitard. (2005) « Les systèmes régionaux d'innovation : discussion critique. » *Géographie, économie société*. 1 (7) : 21-36.
- Dong, B., G. Xu, X. Luo, Y. Cai et W. Gao. (2012) « A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010. » *Scientometrics*. 93:1101–1117.
- Dosi, G. (1988) « Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. » *Journal of Economic Literature*. 26: 1120–71.
- Dosi, G. (1993) « Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.» *Research Policy*. 22 (2): 102-103.
- Earth Policy Institute. (2013a) « World Solar Photovoltaic Production, 1975-2012.» http://www.earth-policy.org/?/data_center/C23/ Consultation 20 mars 2014.
- Earth Policy Institute. (2013b) « Annual Solar Photovoltaic Production by Country, 1995-2012.» http://www.earth-policy.org/?/data_center/C23/ Consultation 20 mars 2014.
- Earth Policy Institute. (2013c) « Annual Installed Solar Photovoltaic Capacity in Selected Countries and the World, 2000-2012.» http://www.earth-policy.org/?/data_center/C23/ Consultation 20 mars 2014.
- Edquist, C. (1997) « Systems of Innovation Approaches - Their Emergence and Characteristics.» In Edquist, C., ed. *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*,. London: Pinter. p.1-35.
- EIA. (2014) <http://www.eia.gov/> Consultation 18 mars 2014.
- El Chaar, L., L.A. Lamont et N. El Zein. (2011) « Review of photovoltaic technologies» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 2165-2175.
- EPIA. (2009) « Photovoltaic energy: electricity from the sun» Document publié pour le RESTMAC project: Creating Markets for Renewable Energy Sources et le Sixth European Framework Programme for Research” 12: 14.
- EPIA. (2010) *Unlocking the Sunbelt: Potential of Photovoltaics*. 2nd Edition, Brussels, October. 54 p.
- EPIA. (2013) *Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017*. http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/GMO_2013_Final_PDF_01.pdf&t=1386116211&hash=6242a60e7be9affdf7e185a7ba14830461629900 58 pages. Consulté le 19 juin 2013.

EPIA. (2014) *Market Report 2013*. Bruxelles. 5 p.

Ernst, H. (1995) « Patenting strategies in the German mechanical engineering industry and their relationship to company performance. » *Technovation*. 15 (4):225-240.

Ernst, H. (1998) « Patent portfolios for strategic R&D planning ». *Journal of Engineering and technology management* 15 : 279-308.

Ernst, H. (2003) « Patent information for strategic technology management » *World Patent Information*. 25:233-242.

Feldman, M. (2003) « The Locational Dynamics of the U.S. Biotech Industry: Knowledge Externalities and Anchor Hypothesis. » *Industry and Innovation*. 10 (3): 311-328.

Freeman, C. (1987) *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*. Pinter, London. 155 pages.

Freeman, C. (1995) « The 'national system of innovation' in historical perspective. » *Cambridge J. Econ.* 19 : 5-24.

Frois, P. (1997) *Entreprise et écologie*. Paris. Éditions L'Harmattan. 187 pages.

Geels, F.W. (2004) « From sectoral systems of innovation to socio-technocal systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. » *Research Policy*. 33: 897-920.

Granstrand, O., P. Patel et K. Pavit. (1997) « Multi-Technology Corporations: why they have «distributed» rather than «distinctive core» competencies ». *California Management Review* 39 (4): 8-25.

Griliches, Z. (1957) « Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change » *Econometrica* 48:501-22.

Griliches, Z. (1990) « Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. » *Journal of Economic Literature* 28 (4): 1661-1707.

Hall, B., Z. Griliches et J. A. Hausman, (1986) « Patents and R and D: Is there a lag? » *International Economic Review*, 27 (2): 265-283.

- Hall, B et R. Ziedonis. (2001) « The Patent Paradox Revisited: An Empirical Study of Patenting in the U.S. Semiconductor Industry, 1979-1995. » *RAND Journal of Economics*. 32 (1):101-128.
- Heuillard, Y. (2013) « Le solaire photovoltaïque moins cher que le nucléaire. » *dd magazine*. <http://www.ddmagazine.com/2667-Le-solaire-photovoltaïque-moins-cher-que-le-nucléaire.html> Consultation 24 mars 2014.
- Hodgson, G. et T. Knudsen. (2004) « The firm as an interactor: firms as vehicles for habits and routines. » *Journal of Evolutionary Economics* 14: 281-307.
- Huizingh, E.K.R.E. (2011) « Open innovation: State of the art and future perspectives » *Technovation* 31: 2-9.
- IRENA.<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RenewableEnergyJobs.pdf> p. 9 Consulté 5 mai 2012.
- Jaffe, A., M. Trajtenberg, et R. Henderson. (1993) « Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations », *Quarterly Journal of Economics*, 108 (3): 577-598.
- Jang, S-L., S. Lo, et W. A. Chang. (2009) « How do latecomers catch up with forerunner? Analysis of patents and patent citations in the field of flat panel display technologies. » *Scientometrics*. 79 (3): 563-591.
- Johnson, B, C. Edquist, et B-A Lundvall. (2003) « Economic Development and the National System of Innovation Approach ». *First Globelics Conference*, Rio de Janeiro. 23 pages.
- Johnstone, N., I. Hascic et D. Popp. (2010) « Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. » *Environ Resource Econ* 45: 133-155.
- Kammen, D.M. (2009) « The Rise of Renewable Energy. » *Scientific American*. 09: 84-93.
- Karki, M.M.S. (1997) « Patent Citation Analysis: A Policy Analysis Tool. » *World Patent Information* 19 (4): 269-272.
- Klepper, S. (1996) « Entry, exit, growth and innovation over the product life cycle. » *The American Economic Review*, 86 (3): 562-583.

Klepper, S. (1997) « Industry life cycles» *Industry and Corporate Change*, 6 (1): 145-181.

Klepper S. et K. L. Simons. (2000) « Dominance by birthright: Entry of prior radio producers and competitive ramifications in the U.S. television receiver industry. » *Strategic Management Journal*, 21 (10/11): 997-1016.

Klepper, S. et K. L. Simons. (2005) « Industry shakeouts and technological change. » *International Journal of Industrial Organization*, 23 (1-2): 23-43.

Laperche, B. et D. Uzunidis. (2007) « Le système national d'innovation russe en restructuration. » *Innovations*. 2 (26):69-94.

Lloyd, M. (2014) « Apple vs Microsoft- who has the strongest patent portfolio ». <http://www.ambercrite.com/index.php/amberblog/entry/apple-vs-microsoft-vs-google-who-has-the-strongest-patent-portfolio> Consultation 20 mars 2015.

Lukach, R. et J. Plasmans. (2002) « Measuring Knowledge Spillovers Using Patent Citations: Evidence from the Belgian Firm's Data,» CESifo Working Paper Series 754, CESifo Group Munich. [http://www.cesifo-group.de/ifoHome/publications/workingpapers/CESifoWP/CESifoWPdetails?wp_num=754&CESifoWP.search=+](http://www.cesifo-group.de/ifoHome/publications/workingpapers/CESifoWP/CESifoWPdetails?wp_num=754&CESifoWP.search=) Consultation 30 mai 2013.

Lundvall, B-A. (1992) « User-Producer Relationships, National Systems of Innovation and Internationalisation. » In Lundvall, B-A. ed. *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter. 404 pages.

Lundvall, B-A. (2007) « National innovation systems-analytical concept and development tool » *Industry and Innovation* 14 (1):95-119

Magdelaine, C. (2013) « Conflit sur les importations de panneaux solaires chinois en Europe : l'expérience des États-Unis. » *Notre Planète*. <http://www.notre-planete.info/actualites/3768-panneaux-solaires-photovoltaïque-Chine-Europe> Consultation 19 juin 2013.

Malerba, F. (2002) « Sectoral systems of innovation and production». *Research Policy* 31:247-264.

Malerba, F. (2007) « Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to knowledge base, structure and dynamic sector.» *Economics of Innovation and New Technology*, 14 (1-2): 63-82.

Mansfield, E. (1985) « How rapidly does new industrial technology leak out? » *Journal of Industrial Economics* 34 (2) : 217–223.

Mulder, K., D. Ferrer et H. Van Lente (éd.). (2011) *What is a Sustainable Technology?: Perceptions, Paradoxes and Possibilities*. Sheffield. Greenleaf Publishing. 258p.

Murman, J. P. H.E. Aldrich, D. Levinthal et S.G. Winter. (2003) « Evolutionary Thought in Management and Organization Theory at the Beginning of the New Millennium: A Symposium on the State of the Art and Opportunities for Future Research. » *Journal of management inquiry*. 12 (1): 22-40.

Narin, F., E. Noma, et R. Perry. (1987) « Patents as indicators of corporate technological strength. » *Research Policy*. 16 (2-4): 143-155.

Nelson, R. (ed.) (1993) *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford: Oxford University Press. 560 pages.

Nelson, R. (2006) « Evolutionary social science and universal Darwinism » *J Evol Econ* 16:491–510.

Nelson, R. et S. Winter. (1982) *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 437 pages.

Niosi, J. (2005) *Canada's Regional Innovation Systems. The Science-based Industries*. Montréal: McGill-Queen's University Press. 171 pages.

Niosi, J., B. Bellon, P. Saviotti, M. Crow. (1992) « Les systèmes nationaux d'innovation : à la recherche d'un concept utilisable. » *Revue française d'économie*. 7 (1) : 215-250.

Niosi, J. et M. Bourassa. (2008) « L'innovation dans les villes canadiennes. » Institut de la statistique du Québec. *Compendium d'indicateurs de l'activité scientifique et technologique du Québec* : 48-56.

Notre planete.info. (2013) « Conflit sur les importations de panneaux solaires chinois en Europe : l'expérience des États-Unis. » <http://www.notre-planete.info/actualites/3768-panneaux-solaires-photovoltaïque-Chine-Europe>
Consulté le 19 juin 2013.

Nordhaus, W. (1969) « Theory of innovation: An economic theory of technical change. » *American Economic Review*. 59 (2) : 18-28.

Observatoire des énergies renouvelables. (2007) « Le solaire photovoltaïque » *L'ObservER* http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaïque.asp consulté le 5 mai 2012

OCDE. (2008) « Innovation ouverte dans des réseaux mondiaux. » Synthèses, Éditions de l'OCDE. <http://www.oecd.org/publications/syntheses>. Consultation 10 octobre 2013.

OCDE. (2011) « Performance technologique : qualité des brevets », dans Science, technologie et industrie : Tableau de bord de l'OCDE 2011, Éditions OCDE. http://dx.doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2011-67-fr Consultation 31 juillet 2013.

OCDE. (2012) *Redefining "Urban": A New Way to Measure Metropolitan Areas*, OECD Publishing. Paris. 148 p.

Office québécois de la langue française. (2002) « Banque de dépannage linguistique » http://bdl.oqlf.gouv.qc.ca/bdl/gabarit_bdl.asp?t1=1&id=2752 Consultation 1 mai 2014.

Park, J., H. Lee et Y. Park. (2009) « Disembodied knowledge flows among industrial clusters: A patent analysis of the Korean manufacturing sector. » *Technology in Society*. 31 :73-84.

Phys.org (2014) « Researchers report on discovery to make solar power less expensive and more efficient. » <http://phys.org/news/2014-03-discovery-solar-power-expensive-efficient.html> Consulté le 21 mars 2014.

Poissant, Y. et A. C. Vikis (2013) *Survol du potentiel de R-D sur les cellules solaires photovoltaïques au Canada, rapport no 2013-125 (RP-TEC)*, CanmetÉNERGIE, Ressources naturelles Canada, 71 p.

Poissant, Y. et P. Luukkonen. (2014) *National Survey Report of PV Power Applications in Canada* http://cansia.ca/sites/default/files/201409_cansia_2013_pvps_country_report.pdf Consultation 19 mars 2015.

Popp, D., I. Hascic et N. Mehdi. (2011) « Technology and the diffusion of renewable energy. » *Energy Economics*. 33:648-662.

Porter, M. E. (1998) « Clusters and the new economics of competition. » *Havard Business Review*, 76 (6): 77-90.

Porter, M. E. (2003) « The Economic Performance of Regions» *Regional Studies* 37 (6-7): 549-578.

PV Cycle. (2013) <http://www.pvcycle.org/country/france/en/> consultation 30 mars 2014.

République Française, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. (2013) « L'énergie photovoltaïque, comment ça marche ? » <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Comment-ca-marche.html> Consultation 30 mars 2014.

Rogers, E. (1983) *Diffusion of innovations*. New York Free Press. 453 pages.

Safarzynska K. *et al* (2012) « Evolutionary theorizing and modeling of sustainability transitions. » *Research Policy* 41: 1011-1024.

Segerstrom, P.S., T.C.A. Anant et Elias Dinopoulos. (1990) « A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle. » *The American Economic Review*. 5 : 1077-1091.

Solarbuzz. (2014) « Solar PV Industry Targets 100 GW Annual Deployment in 2018, According to NPD Solarbuzz. » <http://www.solarbuzz.com/news/recent-findings/solar-pv-industry-targets-100-gw-annual-deployment-2018-according-npd-solarbuzz> Consultation 24 mars 2014.

Solarbuzz. (2014b) « Top 10 Solar PV Markets Illustrate Shifts in Global Demand» <http://www.solarbuzz.com/resources/blog/2014/03/top-10-solar-pv-markets-illustrate-shifts-in-global-demand> Consultation 24 mars 2014.

Solarbuzz. (2014c) « Top 10 PV Module Suppliers in 2013.» <http://www.solarbuzz.com/resources/articles-and-presentations/top-ten-module-suppliers-in-2013> Consultation 30 mars 2014.

Statistique Canada (2007) « Région métropolitaine de recensement (RMR) et agglomération de recensement (AR) » <http://www12.statcan.ca/census-recensement/2006/ref/dict/geo009-fra.cfm> Consultation 1 septembre 2013.

Timilsina, G. R., L. Kurdgelashvili et P.A. Narbel. (2011) « A Review of Solar Energy Markets, Economics and Policies. » The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team: Policy Research Working Paper 5845. 49 p.

Trajtenberg, M. (1990) « A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations. » *RAND Journal of Economics*. 21(1) : 172-187.

Tseng F.-M., C-H. Hsieh, Y-N. Peng et Y-W Chu. (2011) « Using patent data to analyze trends and the technological strategies of the amorphous silicon thin-fin solar cell industry. » *Technological Forecasting & Social Change*, 78:332-345.

US Department of Energy: Energy Efficiency and Renewable Energy. « The History of Solar» http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf Consulté le 5 mai 2012.

U.S. Energy Information Administration (EIA). (2013) « International Energy Outlook 2013». [www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf). 300 p.Consultation 1 avril 2014.

Van den heuvel, S. T.A. et J. C.J.M Van den bergh. (2009) « Multilevel assessment of diversity, innovation and selection in the solar photovoltaic industry.» *Structural Change and Economic Dynamics*. 20: 50-60.

Vernon, R. (1966) « International investment and international trade in the product cycle. » *Quarterly Journal of Economics*, 80: 190-207.

Wagner, R. P. (2009) « Understanding Patent-Quality Mechanisms. » *University of Pennsylvania Law Review* 157 (6), Symposium: The Foundations of Intellectual Property Reform (June 2009): 2135-2173.

World Commission on Environment and Development. (1987) *Our Common Future*. United Nations Document <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I> Consulté 5 mai 2012.

Zhegu, M. (2007) « La coévolution des industries et des systèmes d'innovation : l'industrie aéronautique. » Thèse de Doctorat, Montréal, UQAM. 383 pages.

Zhang, X., X. Zhao, S. Smith, J. Xu et X. Yu. (2012) « Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 599-617.

Consultés en Wikipedia

« Renewable Energy » consulté le 5 mai 2012.

« Solar cell » consulté le 5 mai 2012.

« List of photovoltaics companies » consulté le 20 mars 2014.