

## **Les activités d'innovation des grandes firmes mondiales dans le domaine de l'énergie propre (1994-2005) : une analyse en termes de transition énergétique**

KANDIL née BEDDEK Fatiha<sup>1</sup> Université d'Oran 2 – Mohamed BenAhmed-

Pr. BOUKLIA-HASSEN Rafik<sup>2</sup> Université d'Oran 2 – Mohamed BenAhmed-

### **Résumé :**

Dans cet article nous décrivons les activités d'innovation des grandes firmes mondiales dans le domaine des énergies propres (décarbonatées) visant à atténuer les effets négatifs du réchauffement climatique. On s'appuie sur la base de données de brevets et les analyses de Laurens *et al.* (2016a). Cette analyse a été menée avant puis après le protocole de Kyoto (1997) de manière à examiner ce que cet événement a changé (1994-2005).

Nous constatons des différences nationales. S'il est clair qu'il y a un engagement plus fort des grandes firmes après Kyoto, les firmes japonaises restent leaders malgré les progrès faits pas les firmes occidentales. Les entreprises américaines semblent plus enclines à investir dans les technologies énergétiques renouvelables alors que les firmes européennes sont plus enfermées (lock-in) dans les technologies traditionnelles (énergie nucléaire et combustion). On met également en évidence la portée des politiques publiques nationales.

**Mots clés :** Innovation, Grandes firmes, Energie propre, Brevet, Protocole de Kyoto.

### **Abstract :**

Within this paper we describe the innovation activities of the large firms in the greentech energy field (decarbonated) aiming to attenuate the negative effects of the global warming. We base our analysis on the patent database and Laurens & Al. (2016a) analysis. This study has been applicated before and after the Kyoto protocol (1997) in order to examine what has changed after this event (1994-2005).

The results show national differences. If it's clear that there is a strongest commitment from the large firms after Kyoto, the japanese firms stay leaders despite the progress of the occidental firms. American firms seems to tend more to invest in the renewable energy

---

<sup>1</sup> Maitre Assistante, Université d'Oran 2, fbeddek@yahoo.fr

<sup>2</sup> Professeur, Université d'Oran 2, bouklia\_hassane@yahoo.fr

technologies, while European firms are more lock-in in the traditional technologies (nuclear and combustion energies). We highlight the national public policies scope.

**Keywords:** Innovation, large firms, clean energy, patent, Kyoto protocol

## Introduction

La lutte contre le réchauffement climatique constitue un impératif crucial pour les peuples de la planète. Il ne peut se faire qu'en jetant les bases d'une économie décarbonatée au niveau mondial, d'une économie qui réduirait drastiquement les émissions des gaz à effet de serre. Les enjeux n'échappent à personne. Toutefois cet impératif nécessite une modification profonde des systèmes technologiques « intenses en carbone » en vigueur<sup>3</sup>. La transition vers des modes *propres* de production d'énergie qu'elle implique impose un engagement important des capacités d'innovation des grandes firmes industrielles mondiales (Aghion *et al.*, 2001 ; 2009). Autant de questions au cœur d'une croissance durable au niveau mondial. C'est pour cette raison que nous portons notre regard sur les activités d'innovation en énergie propre des grandes firmes mondiales.

Dans ce travail on propose une description raisonnée des activités d'innovation des grandes firmes mondiales en matière de technologies énergétiques propres. Par *activités d'innovations* nous entendons à la suite de Patel et Pavitt (1995) simplement les *sources et les tendances du changement technique* telles qu'elles apparaissent à travers un ensemble d'indicateurs. Nous avons choisi ici comme indicateur de mesure de ces activités le brevet qui est de plus en plus utilisé dans la littérature académique théorique et empirique (voir Patel et Pavitt, 1995).

Par *grandes firmes mondiales* nous entendons les firmes qui ont les activités technologiques les plus importantes mesurées par des dépôts de brevets. La base de données que nous utilisons les définit précisément. Il s'agit le plus souvent d'entreprises multinationales. Il est bon de le savoir même si dans ce travail cette dimension multinationale n'est pas vraiment exploitée. Dans les données qu'on décrira ultérieurement ces firmes sont les plus gros investisseurs en recherche-développement (R-D ainsi qu'il est courant d'écrire par la

---

<sup>3</sup> A titre d'exemple l'Union Européenne s'est engagée à réduire de 80 à 95% des gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990 d'ici à 2050. A la COP21 a pris un engagement de réduction plus précise de 40% avant 2030.

suite).

Par technologies énergétiques propres « *greentech technology* » nous entendons les technologies qui ont un impact positif quant à l'émission de gaz à effet de serre et donc participe à la lutte contre le changement climatique. On utilise aussi l'expression de technologies décarbonatées. Il convient de signaler qu'elles ne représentent qu'une partie des innovations qu'on désigne par le vocable d'innovations environnementales. Celles-ci renvoient au concept suggéré par Kemp and Foxon (2007), les innovations environnementales correspondent à la « *production, assimilation or exploitation of product, production process, service or management or business methods that is novel to the organisation (developing or adopting it) and which results, throughout its life cycle, in a reduction of environmental risk, pollution and other negative impacts of resources use (including energy use) compared to relevant alternatives* »<sup>4</sup>.

Il convient de noter que les innovations environnementales comprennent des progrès technologiques, mais aussi organisationnels ou des innovations marketing (voir Horbach *et al.*, 2011). Ainsi dans notre travail on s'intéresse aux activités d'innovations relevant du champ des technologies dédiées à atténuer les effets du réchauffement climatique et donc à réduire la production de gaz à effet de serre (voir ces points Veefkind *et al.*, 2012)<sup>5</sup>.

S'agissant de notre méthodologie, on s'appuie ici sur les travaux de l'équipe de LISIS – IFRIS (Université Paris-Est). On utilise en particulier les études publiées par Laurens *et al.* (2016a) et Laurens *et al.* (2016b). On prendra également appui sur la présentation du professeur Laurens faite à la journée AIMS de Lyon (Septembre 2016). Il importe de préciser que ces recherches prennent appui sur une base de données de brevets relatifs à 946 grandes entreprises mondiales parmi les grands investisseurs en R-D.

Les brevets relatifs aux énergies propres peuvent être isolés grâce au travail de l'office européen des brevets qui a mis une étiquette sur les brevets (y compris rétrospectivement)

---

<sup>4</sup> On oppose parfois le secteur des clean technologies comme la production de chaleur d'origine solaire, les technologies éoliennes ou biocarburant en opposition aux « *greentech* », dites encore « *end-of-pipe* ».

<sup>5</sup> Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique. Les principaux gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère sont : la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, l'ozone

déposés à l'office européen des brevets. La base de données qui nous sert de référent est donc celle utilisée par Laurens *et al.* (2016a) et Laurens *et al.* (2016b). Nous visons à mesurer l'échelle des activités d'innovation dédiées aux énergies propres, à suivre leur évolution sur une période de temps, à rendre compte de leur hétérogénéité.

Le suivi des tendances en matière d'innovation confirme-t-il un engagement de ces grandes firmes en faveur des technologies propres ? Cette interrogation est au cœur du présent travail.

Pourquoi se focaliser sur les grandes firmes ? Parce qu'elles sont grandes et mènent d'importantes recherches dans le domaine des technologies propres. Parce qu'elles contribuent beaucoup à la capacité nationale d'innovation et, qu'en conséquence, elles peuvent avoir un puissant effet d'entraînement sur le reste de l'économie. Mais, en revanche, ces grandes organisations sont peu flexibles. Comme des *super tankers* elles ne peuvent brutalement infléchir leurs trajectoires même si elles reçoivent des incitations financières sérieuses et consistantes. Pour cette raison les politiques nationales visent également à faire naître des start-ups construites sur cette problématique de la décarbonation.

Le plan est le suivant. Deux approches sont retenues dans ce travail de suivi des activités d'innovation en énergie propre des grandes firmes sur une période de 10 ans (1994-2005). On s'intéresse aux premières années d'abord de manière à examiner si la signature du protocole de Kyoto qui a marqué une césure dans le traitement politique au niveau mondial du réchauffement climatique a eu des conséquences sur l'engagement des grandes firmes en matière de technologies énergétiques propres (section 3).

La période de temps couverte par notre étude est de dix années de 1994-2005<sup>6</sup>. Dans cette perspective nous en restons à un niveau agrégé en termes de technologies. Puis nous descendons à un niveau plus fin en distinguant plusieurs catégories de technologies (section 4). Auparavant notre question de recherche est définie (section 1) et notre méthodologie précisée (section 2). Nous présentons dans une dernière section (5) les principaux résultats de manière synthétique en rapport avec la problématique évolutionniste support de cette recherche.

---

<sup>6</sup> On ne dispose pas d'information sur les années les plus récentes. En effet, mettre au point une base de données brevets implique un lourd travail d'identification des déposants et de retraitement des informations pour les attribuer à des firmes qui sont généralement des grands groupes industriels. On pourra avoir des informations sur une période un plus longue dans Laurens *et al.* (2016b).

## **Section 1 : La question de recherche : une problématique évolutionniste de la transition énergétique :**

Nous présentons dans ce paragraphe quelques points de repère permettant de cadrer ce qu'implique et impose une transition énergétique. On peut sommairement la définir par le fait que les agents économiques abandonnent un certain paradigme technologique pour développer d'autres schémas de solution de problèmes de manière à améliorer le niveau de soutenabilité. Une des caractéristiques d'une telle transition est remarquablement décrite par Faber et Frenken (2009) : « *Technological transitions are characterized by the systemic nature of the changes involved, as well as by the large number of heterogeneous agents and institutions, the general large scale of change and longtime horizons. The systemic perspective relates to the existence of strong increasing returns to adoption and scale* ».

Ainsi une des difficultés importantes relatives à cette transition est la possibilité d'effets de *lock-in* bien connus qui rendent plus coûteuses les nouvelles technologies en opposition avec l'ancien paradigme voire qui ne peuvent pas réellement fonctionner à cause des défauts de standardisation comme un appareil prévu pour fonctionner sous un certain voltage (Arthur, 1988 ; 1989).

Une politique qui s'attaque à la transition doit rendre les technologies alternatives plus attractives du point de vue environnemental tout en les débarrassant des contraintes de standards. De plus comme le remarque Faber et Frenken (2009) cette politique doit faire un usage stratégique des opportunités. Une fois le déverrouillage (*lock-out*) effectué d'autres contraintes peuvent naître.

Citons longuement leur argumentaire : « (...) *A second line of thought in policy oriented at technological transitions deals with avoiding a new lock- in into a sub-optimal technological system (...) A strategy aiming to un-lock the incumbent technological system may actually favour the development of specific alternative (sub- optimal) system, even if it is not the policy objective to do so. In order to avoid an early lock- in into a new technology, the preservation of technological diversity can be a useful policy objective, even though few systematic methodologies have been developed to assess empirically or conceptually the value of diversity (...) Preservation of a portfolio of various technologies helps to foster a wide range of technological developments for a while, gaining information about the exact properties and costs of all alternatives* ».

Walker (2000) va plus loin, il nous semble, en défendant la notion de retranchement plus chargée d'institutionnalisme, citons ici Berkhout :

« (...)Walker calls the 'paradox of entrenchment' (...) the innovation and adoption of radical and risky new technological regimes is not possible without commitments (overcoming barriers and creating an economic and institutional context for adoption and a new process of 'locking in'). Innovation requires the channelling of technological choice and the formation of 'trajectories'. Unless governments and commercial organisations are prepared to make heavy commitments to new regimes, defection would be too easy and emergent technological regimes would be too fragile to develop ».

Cette notion de rendements croissants d'adoption est cruciale. Elle résume à elle seule une grande partie des difficultés pour qu'une nouvelle technologie s'impose sur un marché. En effet même si elle est technologiquement supérieure par rapport aux technologies anciennes, elle ne pourra s'imposer que si une masse critique d'adopteurs passe de façon simultanée de l'ancienne à la nouvelle grâce à des formes de coordination (Bruckner *et al.*, 1996).

Ensuite d'autres adopteurs (des *followers*) suivront. Une transition s'amorce alors. Cette approche présuppose que le marché est celui d'un produit homogène. Lorsque le produit n'est pas homogène, lorsque le marché inclut des produits hétérogènes, les différents groupes d'utilisateurs diffèrent quant à l'évaluation qu'ils font des propriétés de la technologie.

Dans ce type de structure une nouvelle technologie peut être introduite dans une niche du marché lorsqu'un groupe d'utilisateurs acceptent de payer une prime pour profiter des propriétés supérieures de la nouvelle technologie. Une fois introduite alors commence un processus d'apprentissage de type *learning by using* : les offreurs proposent des améliorations pour la technologie. Cette dynamique peut autoriser sa diffusion graduelle à d'autres niches (voir notamment Geels, 2002). Deux effets sont ici à l'œuvre : les modifications apportées aux caractéristiques des produits peuvent séduire d'autres groupes d'utilisateurs, les volumes maintenant produits permettent des effets conséquents d'apprentissage et donc des baisses de prix.

Une autre dimension de l'approche évolutionniste capturée par la notion de système

d'innovation (en particulier, mais pas seulement, de système national d'innovation) est la relation d'interdépendance entre les agents qui n'ont pas tous les mêmes fonctions ; entre firmes, firmes et États, Universités et firmes, etc. (voir notamment Edquist, 2004 ; Lundvall, 1992). Cela permet d'incorporer des mécanismes de feedback entre les activités des agents aboutissant à des phénomènes d'apprentissage collectif « *collective learning* » et de processus cumulatifs.

Comme le note Faber et Frenken (2008) : « *In the context of environmental (innovation) policy, national systems also differ significantly with respect to the institutional arrangements and relationships among primary agent groups, as has been shown in a series of studies on the development of wind turbines...* ». Un autre point mérite d'être souligné. Cette notion de système (donc d'interdépendances) s'applique également aux technologies (Carlsson et Stankiewicz, 1991). Lorsque l'on envisage l'évolution des relations interactives entre agents d'un système on tend à mettre en évidence des **co-évolutions** entre agents.

Les auteurs évolutionnistes défendent l'idée que le niveau pertinent d'analyse est le niveau méso-économique. C'est à ce niveau qu'on peut (ré)concilier le développement économique et l'impératif de « soutenabilité » (Berkhout, 2002). C'est à ce niveau que le contexte institutionnel et la coévolution entre technologies, institutions, et politiques publiques prend tout son sens. De manière à cibler ce niveau méso-économique (toujours peu saisissable du point de vue de l'analyse qualitative et quantitative) on va procéder en articulant toujours le niveau des firmes (les grandes firmes) et le niveau national par l'analyse de répartition des activités d'innovation des firmes par nations.

Dans cette problématique la notion de régime prend tout son sens. Citons ici Berkhout (2002:2): « *The greater emphasis on technological regimes has also changed the terms of the analysis of innovation. The nature, rate and direction of change in technological regimes differ from change in discrete technological artefacts. Regimes are composed of stable assemblages of technical artefacts, organised in co-evolving market and regulatory frame works. Because of the interrelated and interlocking nature of technological regimes, change is both slower and tends to be more cumulative* ». Ce qu'il nous faudra montrer est comment un régime technologique tourné vers les énergies propres peut émerger et non simplement de nouveaux procédés techniques.

Il s'ensuit qu'une problématique de la transition implique du temps qui détermine des effets

d'apprentissage de type technologiques ou productif, qui sont résumés dans le terme de rendement croissant d'adoption (Arthur, 1988). Elle impose de lever (progressivement) les incertitudes sur les prix et les standards. Dans cette optique un grand moment d'acceptation mondial de la nécessité d'une transition vers des modes soutenables de production/consommation d'énergie est essentiel.

Il ne faudrait pas interpréter cette idée de moment critique comme le moment d'une bifurcation du système<sup>7</sup>. Pertinente pour les sciences physiques, elle l'est peu pour les systèmes sociaux. Telle est la perspective de recherche que nous proposons pour « lire » les données et proposer des analyses dans ce document.

## **Section 2 : Méthodologie de l'étude**

Notre approche est quantitative. Nous avons eu recours à une base de données de brevets déjà achevée. Les données ont été extraites de la base Patstat database (pour les éléments relatifs à la construction de la base de données nous renvoyons le lecteur à Laurens *et al.*, 2016a). L'échantillon comprend 946 firmes ainsi distribuées selon les continents de la façon suivante : Etats-Unis (34 %), Asie (27,2 %), Europe (35,7 %) (Table 1).

Cette base de données possède les caractéristiques suivantes. Entre 1994 et 2005 les firmes de l'échantillon ont déposé 3 590 310 brevets dont 72 565 relèvent du domaine de l'énergie propre grandement concentrés dans le sous champ des batteries et des bio-carburants<sup>8</sup>. Il doit être noté que les firmes japonaises représentent 23 % du total de base, alors que leur nombre de brevets énergie propre s'élèvent à 55 % du total mondial. Cette contribution des firmes japonaises est la conséquence d'un biais reflété dans l'hétérogénéité des pratiques des offices de brevets. Ainsi au Japon Patent Office pendant très longtemps un brevet devait avoir une seule revendication (claim). Protéger une invention ayant plusieurs revendications nécessitait de déposer autant de brevets. Cela gonfle bien évidemment le nombre de brevets appartenant aux entreprises japonaises. Ce

---

<sup>7</sup> En physique ou en mathématique dans des systèmes dynamiques une bifurcation intervient lorsqu'un petit changement d'un paramètre produit un changement majeur dans l'organisation du système.

<sup>8</sup> Laurens *et al.* (2016) notent : « Among the overall firm priority patent portfolios, we retrieve energy cleantech patents from the Y02E subclass of the CPC classification. It covers technologies dealing with the reduction of GHG emission, related to energy generation, transmission or distribution (Veefkind, 2012) and includes *Technologies with contribution to GHG emissions mitigation* (energy storage (batteries), fuel cells, hydrogen technology), *Renewable energy sources* (photovoltaic, wind, thermal solar, hydro, oceanic and geothermal energies), *Technologies for the production of fuel of non-fossil origin* (biofuel from energy using wastes), *Combustion technologies with mitigation potential* (Combined Heat and Power...); *Nuclear Energy* and *Technologies for efficient electrical power generation, transmission or distribution.* »

n'était pas la convention retenue par les autres offices nationaux de brevets. La pratique japonaise a évolué maintenant. Remarquons que la tendance générale (tous les offices nationaux confondus) est à « gonfler » le nombre de brevets, plus de 200 par office n'est pas un cas isolé.

L'analyse quantitative de Laurens *et al.* (2016a) prend appui sur le calcul de plusieurs indicateurs permettant de vérifier le suivi dans le temps de l'engagement des grandes firmes mondiales dans le domaine de la recherche en énergie propre : 1) le nombre de firmes réalisant des innovations dans ce champ, 2) le poids de ces activités « propres » dans l'ensemble de leur activité d'innovation (part relative de brevets « propres »), 3) leur spécialisation en termes de production technologique mesurée dans un indicateur équivalent à celui des avantages technologiques révélés (on renvoie aux descriptions fournies par Laurens *et al.*, 2016a).

### **Section 3 : L'effet Kyoto : une comparaison des activités d'innovation en énergie propre entre deux périodes 1994-1996 et 2003-2005**

Pourquoi se focaliser sur Kyoto ? Il est certain que la conférence tenue en Décembre 1997 constitue la première manifestation d'une prise de conscience mondiale de la nécessaire lutte contre le réchauffement climatique. Elle a donné un signal aux organisations industrielles. Celles-ci ont-elles reçu le message ? Est-ce qu'elles ont modifié durablement leur approche des technologies énergétiques propres ? Les innovations dans ce domaine ont-elles sensiblement progressé ?

Nous commençons nos investigations par interroger la base de données du LISIS. Deux régressions ont été calculées. La première est relative aux brevets associés aux innovations du champ des technologies propres entre les mêmes deux périodes (avant Kyoto 1994-96 et après Kyoto 2003-05), la seconde lie le nombre de brevets associés aux technologies autres que celles des technologies propres pour les deux périodes. Formellement nous avons :

$P_{ic}(t)$  le niveau des brevets de la firme  $i$  dans les technologies propres pour la période 1994-96 et  $P_{ic}(t+1)$  pour la période d'après Kyoto (2003-05)

$P_{id}(t)$  le niveau des brevets de la firme  $i$  dans les technologies non propres pour la période 1994-96 et  $P_{id}(t+1)$  pour la période d'après Kyoto (2003-05)

De manière à vérifier si les activités d'innovation des firmes sont stables, autrement si les

firmes déposant beaucoup de brevets d'un certain type dans la première période continuent à déposer également beaucoup de brevets du même type dans la période suivante (le même raisonnement peut être tenu pour celles qui en déposent peu), on calcule les coefficients de corrélation linéaire entre  $P_{ic}(t)$  et  $P_{ic}(t+1)$  d'une part (relation 1) et entre  $P_{id}(t)$  et  $P_{id}(t+1)$  d'autre part (relation 2). Donc en quelque sorte on teste qu'on est bien dans une logique de path dependence.

On trouve les résultats suivants (pour  $n=946$ ):

Relation 1  $P_{ic}(t+1) = 1,1805 P_{ic}(t) - 0,9539$  avec  $R^2 = 0,9135$

Relation 2  $P_{id}(t+1) = 1,0252 P_{id}(t) + 13,853$  avec  $R^2 = 0,9854$

S'agissant des coefficients corrélations ils sont voisins de 1. Ce qui témoigne d'une très grande stabilité concernant le volume des activités technologiques des firmes : les premiers restent dans les premiers, les derniers dans le groupe des derniers. Une seconde information est également donnée : le coefficient directeur est supérieur à 1 dans les deux régressions (et très significatif puisque le  $R^2$  est extrêmement élevé). Ce qui veut dire qu'en moyenne chaque firme dépose un peu plus de brevets pour chacune des deux catégories technologiques la période suivante. Il y a un autre effet qui est en plus mesuré par ces coefficients On peut également voir que ce coefficient est plus élevé dans la relation 1 (1,1805 contre 1,0252), ce qui veut simplement dire que s'agissant des technologies propres la croissance d'une période à l'autre (avant et après Kyoto) est plus forte que celle pour les brevets. Cela tend à mettre en évidence un effet Kyoto : une variation plus importante des inventions dans le domaine des technologies propres. Autrement dit la part de ces dernières dans le total des inventions progressent après Kyoto.

Les grandes firmes de l'échantillon contribuent pour 60 % environ du total de la capacité mondiale d'innovation dans le champ des énergies propres. Ce pourcentage est une moyenne qui recoupe des situations très différentes selon les pays. Dans certains pays (comme le Japon) cette activité est réalisée exclusivement par les grandes firmes, pour d'autres (Etats- Unis et Europe) la part des grandes firmes varie entre 25 et 33 %.

**Tableau 1. Distribution des entreprises et des brevets en énergie propre (1994-2005).**

<b>Pays des entreprises</b>	<b>Nombre d'entreprises (%)</b>	<b>Distribution des brevets énergie propre (%)</b>
États-Unis	34,00	15,24
Japon	23,20	55,28
Allemagne	9,20	9,73
Royaume-Uni	6,20	0,78
France	5,30	2,28
Suisse	2,90	0,44
Suède	2,90	0,44
Pays-Bas	2,50	0,59
Finlande	1,90	0,19
Corée	1,50	5,64
Belgique	1,30	0,13
Canada	1,20	1,44
Danemark	1,20	0,27
Italie	1,20	0,47
Taiwan	1,20	0,99
Autriche	0,50	0,24
Norvège	0,50	0,20
Chine	0,40	5,18
Brésil	0,30	0,41
Total	100,0	100,0

Dans la période avant Kyoto 706 524 brevets étaient demandés ; 11 445 dans le domaine des énergies propres (soit 16 %). Après Kyoto ces chiffres passent rétrospectivement à 882 895 et 20 273 (soit 23 %). Il y a donc bien une croissance absolue et relative des activités technologiques relevant des énergies propres avant et après Kyoto. On peut donc avancer qu'au niveau des grandes firmes qui nourrissent une très grande partie de la R-D au niveau mondial dans ce champ technologique, la base de connaissances s'élargit. Regardons maintenant ce qui se passe à un niveau plus désagrégé. Le sous champ technologique « *Energy storage, fuel cells and hydrogen technologies* » concentré à lui seul 62 % des brevets avant Kyoto, il en reçoit pratiquement 75 % après. L'autre plus important sous champ celui des énergies renouvelables voit son volume relatif décroître 20 % to 16 %. La part des autres sous champs est également en diminution. Celui des

technologies de l'énergie nucléaire de 8 à 1 %<sup>9</sup>. Il marque un recul sérieux des efforts de recherche dans ce domaine. Recul également pour les brevets inscrits dans le champ des technologies accroissant l'efficacité de la production d'électricité (4 % à 1 %). Les activités technologiques qui relèvent du secteur « carburant d'origine non fossile » sont stables (autour de 2 %).

La progression absolue et relative des activités technologiques dans le domaine des énergies propres se fait de façon non homothétique (voir tableau 2). Des technologies sont dominantes, d'autres plus marginales, certaines régressent et d'autres progressent.

Une des caractéristiques de l'après Kyoto est l'entrée de grandes entreprises dans le domaine des énergies propres. Le tableau 2 permet de voir que 36 % des 946 entreprises de l'échantillon sous observation avant Kyoto brevetaient dans le domaine des énergies propres. Cette part passe à 46 % quelques 10 ans plus tard dans la période post-Kyoto. Cette progression est plus prononcée en Europe (forte en Allemagne, Royaume-Uni, France, Suisse) qu'aux Etats-Unis et en Asie. On ne peut manquer de remarquer le cas spécial des grandes firmes japonaises, l'essentiel des activités technologiques dans ce champ est concentré dans les grandes firmes.

---

<sup>9</sup> Les technologies de production d'électricité d'origine nucléaire sont « propres » en ce sens qu'elles ne produisent pas de gaz à effet de serre.

**Tableau 2: Part des grandes entreprises actives dans le domaine des énergies propres avant et après Kyoto (%)**

Pays	Part des grandes entreprises dans le dépôt de brevets « énergie propre »	
	1994-1996	2003-2005
États-Unis	27	32
Japon	70	77
Allemagne	29	44
Royaume-Uni	19	27
France	36	46
Suisse	22	44
Suède	11	26
Pays Bas	25	33
Finlande	22	33
Corée	57	86
Belgique	8	17
Canada	27	27
Danemark	27	27
Italie	45	55
Taiwan	9	82
Total	36	46

*Source : Laurens et al. (2016a).*

Nous changeons ici de perspective puisque nous examinons la part des activités technologiques en énergie propre au sein de chaque firme. Remarquons en premier lieu le poids de ces activités au sein des firmes japonaises. Le biais noté précédemment quant à leur dépôt de brevets ne joue pas ici puisque nous nous raisonnons en parts. Viennent ensuite les firmes de la France, de la Belgique et de l'Italie. Cette part est faible aux États-Unis et dans les pays nordiques. Au total pour l'ensemble des firmes de l'échantillon cette part progresse de 44 % après Kyoto. Il y a des pays où la progression est très faible, États-Unis et Allemagne sont dans ce cas. D'autres pays voient une progression remarquable de cette part Japon, France, Belgique. Les firmes canadiennes sont atypiques car elles investissent beaucoup moins dans le domaine technologique des énergies propres après Kyoto.

S'agissant de la spécialisation dans les énergies propres seules les firmes japonaises ont une spécialisation forte et efficiente sur les deux périodes. Elle est de plus croissante entre ces 2

dernières. Les firmes des Pays-Bas, Belgique, Danemark ont vu leur spécialisation s'accroître après Kyoto. C'est aussi le cas des firmes françaises avec une spécialisation très forte (indice supérieur à 1). Les firmes américaines, allemandes, britanniques ont des niveaux de spécialisation faibles. Les firmes de Corée et Taiwan ont également des niveaux faibles de spécialisation.

Quelques premières conclusions. Les politiques publiques en faveur du changement climatique menées dans chaque pays constituent aussi des signaux à destination des consommateurs (voire l'ensemble des agents privés). Les politiques décidées par les Etats ont également des effets directs sur les choix des consommateurs. En cela ils ont des effets sur la dynamique des marchés de nouveaux produits ou de produits à énergie propre ou à basse consommation d'énergie (Reinhardt, 2000).

**Tableau 3: Part des brevets et indice de spécialisation dans les énergies propres avant et après Kyoto dans le portefeuille de brevets des firmes (classement par pays)**

Pays	Part des brevets relevant des énergies propres (%)		Indicateurs de spécialisation dans les énergies propres des firmes	
	1994-1996	2003-2005	1994-1996	2003-2005
Etats-Unis	1,01	1,14	0,62	0,50
Japon	1,82	3,08	1,13	1,34
Allemagne	1,48	1,51	0,91	0,66
Royaume-Uni	0,64	0,87	0,40	0,38
France	1,43	2,59	0,88	1,13
Suisse	2,88	1,08	1,78	0,47
Suède	0,71	0,56	0,44	0,24
Pays Bas	0,54	1,36	0,33	0,59
Finlande	0,70	0,36	0,43	0,16
Corée	0,40	0,57	0,25	0,25
Belgique	0,13	2,58	0,08	1,12
Canada	5,09	2,19	3,14	0,95
Danemark	0,82	1,40	0,51	0,61
Italie	2,24	2,14	1,38	0,93
Taiwan	0,29	0,48	0,18	0,21
<b>Total</b>	<b>1,62</b>	<b>2,30</b>		

Source : Reconstitué à partir de Laurens *et al.* (2016a). Par construction il n'y a pas de total pour l'indice de spécialisation.

Que peut-on retenir de notre analyse ? En tout premier lieu il convient de remarquer que les firmes du secteur énergétique (au sens large) sont naturellement plus sensibles à cet impératif (Deegan and Gordon, 1996). Ce qui est confirmé par les traitements économétriques (Laurens *et al.*, 2016b). Rien d'exceptionnel à ce constat. Les résultats tendent à montrer que les réponses des grandes entreprises devant l'enjeu climatique varient selon les pays (dimension qui a été privilégiée ici) et sans doute aussi selon les entreprises. Ceci rejoint les conclusions de Falkner (2010). En général les pays européens ont montré une capacité de réaction à investir en R-D dans les technologies énergétiques propres. Avant comme après Kyoto les firmes américaines sont également actives dans le domaine des énergies propres (voir tableau 3 la part de leurs brevets en ce domaine). En termes de spécialisation elles apparaissent toutefois moins spécialisées après Kyoto mais cela est un effet lié à la construction de cet indicateur, malgré une progression de la part des brevets, si le reste du monde enregistre une progression de cette part plus importante encore, alors l'indicateur de spécialisation diminue.

La montée certaine des brevets énergie propre après Kyoto a fait dire à Parnick et Wilder (2007) que la « *clean tech revolution* » est déjà en marche. Les grandes entreprises comme Intel, General Electric, Toyota, Sharp, Total, Chevron, Daimler annoncent d'importants investissements dans ces technologies par investissement en R-D et rachats de start-ups (Laurens *et al.*, 2016a). Des firmes européennes sont clairement des leaders dans ce champ (ABB, Siemens, Schneider Electric).

#### **Section 4 : Une analyse fine des spécialisations des grandes firmes dans le domaine des technologies énergétiques propres**

Le tableau 4 donne l'évolution des spécialisations technologiques des firmes pour 4 grandes familles de production propre d'énergie : énergies renouvelables (solaire et éoliennes notamment), combustion, carburants non fossiles, « Batteries, piles à combustibles<sup>10</sup>, hydrogène ».

---

<sup>10</sup> Une pile à combustible est une pile dans laquelle la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple dihydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que le dioxygène de l'air.

**Tableau 4: La spécialisation des firmes dans les sous domaines des énergies propres**

Pays	Énergies Renouvelable		Technologies De Combustion		Carburants non fossiles <sup>11</sup>		Batteries, piles à combustibles	
	94_96	03_05	94_96	03_05	94_96	03_05	94_96	03_05
Etats-Unis	0.54	1.23	1.95	1.78	0.24	0.33	0.93	0.95
Japon	1.09	1.03	0.61	0.73	1.12	1.10	1.04	1.01
Allemagne	0.71	0.65	3.75	1.90	0.80	0.68	0.61	1.03
Royaume-Uni	1.20	2.98	6.44	4.92	1.04	0.00	0.54	0.51
France	0.42	0.70	4.57	4.03	0.31	0.23	0.51	0.85
Suisse	0.43	1.20	6.61	0.74	0.23	1.69	0.22	0.48
Suède	0.00	3.37	3.24	10.31	0.00	0.00	1.23	0.24
Pays-Bas	2.07	1.09	2.10	1.05	0.00	0.60	0.75	1.01
Finlande	0.34	1.09	6.36	2.32	3.24	10.60	0.96	0.65
Corée	0.80	0.45	0.00	2.04	0.00	0.00	1.24	1.06

Source : Laurens *et al.*, (2016 a).

Ce tableau révèle que les firmes japonaises ont très tôt (avant Kyoto) eu un rôle de leader dans les sous domaines des énergies renouvelables, des technologies de combustion, des batteries et de piles à combustible (*fuel cell*)<sup>12</sup>. Elles ont conservé ce leadership après Kyoto parfois elles l'ont renforcé. Des entreprises d'autres pays ont un impact non négligeable en termes d'activité technologique (entreprises de France, Italie, Belgique, Canada). On perçoit une réelle de-spécialisation dans le domaine de la Combustion pour des firmes de certains pays européens (Allemagne, Royaume-Uni, Suisse, Pays-Bas, Finlande).

Un autre trait important est la forte progression de certains pays (en fait de leurs grandes firmes) dans les énergies renouvelables: Royaume-Uni et une série de petits pays comme la Suisse, Suède, Finlande). L'indicateur de spécialisation dans ce sous domaine progresse également en France et en Allemagne bien que leur indice reste encore inférieur à 1 (ce qui témoigne d'une sous-spécialisation). Des progressions en termes de spécialisation se font également pour les technologies de batteries (voitures électriques ?) et piles à combustibles en Allemagne, France, Suisse et Pays-Bas. C'est aussi le cas des Etats-Unis.

<sup>11</sup> Dont les bio-carburants.

<sup>12</sup> On ne commentera pas dans ce travail les données relatives à l'énergie nucléaire car bien que produisant pratiquement pas de gaz à effets de serre, son classement dans le domaine des énergies propre est fortement controversé.

Avant le protocole de Kyoto, les grandes firmes américaines et européennes avaient leurs programmes d'activités technologiques focalisés autour des questions de Combustion dans lesquelles les firmes asiatiques ne sont pas spécialisées.

S'agissant maintenant des grands pays asiatiques. Pour les firmes japonaises leurs spécialisations technologiques en énergies renouvelables et carburant non fossiles restent pratiquement inchangées avant et après Kyoto. Pour les firmes coréennes leurs investissements dans les technologies de combustion font que leur spécialisation devient très forte en ce domaine.

### **Section 5 : Mise en perspective des résultats**

Ce texte essaye de faire le point sur la contribution des grandes firmes à la production d'innovations relevant des technologies énergétiques propres avant et après la signature du protocole de Kyoto. On a surtout exploré la dimension nationale des firmes (leur localisation). Nos principaux résultats peuvent être ainsi résumés (voir tableau 5) :

1. Une des conclusions parmi les plus importantes est qu'on assiste bien à une montée de l'engagement des grandes firmes mondiales en matière de technologies énergétiques propres après Kyoto. Cela affecte bien tous les secteurs technologiques relevant de l'énergie propre, c'est-à-dire offrant une production d'énergie sans gaz à effet de serre. Certains auteurs ont noté toutefois que cet engagement n'était pas à la hauteur des enjeux ou resté trop faible compte tenu précisément de l'urgence de la situation (Veugelers, 2011 ; 2014).
2. Une autre question mérite d'être posée : ce progrès des activités d'innovation tournées vers la lutte contre le changement climatique n'aurait pas été manifeste sans la signature du protocole de Kyoto (qui fut, on le sait, non ratifié par de grandes nations comme les États-Unis). Cette assertion est peut être vraie; la prise de conscience des impacts négatifs du réchauffement climatique a été de toute façon réelle et progressive y compris dans l'esprit des managers. Aussi les investissements en recherche en faveur des technologies propres auraient sans nul doute été accrus. Au niveau où ils se trouvent en 2005 ? Cela n'est pas certain. Dans notre esprit le protocole signé à Kyoto marque la reconnaissance planétaire de l'enjeu climatique. Il peut être équivalent à ce qu'on a appelé une grande

convention. À savoir la reconnaissance par les parties prenantes mondiales (États, organismes publics nationaux et internationaux, entreprises...) qu'il y a une difficulté au niveau planétaire et qu'il a un accord pour dessiner des lignes de solutions qui s'imposent aux acteurs<sup>13</sup>.

3. Etudier les grands firmes présentait pour nous l'intérêt de savoir si en tant que force motrice du changement technique elles auraient un rôle d'entraînement pour rompre l'effet d'enfermement dans les technologies carbonatées (effet dit de lock in voir Arthur, 1988) et construire une autre trajectoire technologique<sup>14</sup>. Ceci n'est pas contradictoire avec la réaffirmation de l'importance des politiques publiques qui doivent jouer un rôle de stimulant en donnant des orientations réglementaires et fournissant des incitations financières pour le démarrage de la « *green innovation machine* » (Aghion and Veugelers, 2009). Toutefois il doit être noté que dans ce texte nous ne proposons pas un descriptif des politiques publiques visant à promouvoir les technologies propres via l'encouragement à la recherche ou via le soutien à la demande. Il est donc difficile de répondre avec précision à la question de savoir comment et sur quelle échelle, les firmes ont répondu aux modifications de la réglementation et aux incitations financières nouvelles mises en œuvre. Elles sont différentes selon les pays.
4. On a remarqué en accord avec l'approche évolutionniste du changement technique l'existence d'avances pour certaines firmes et de retards pour d'autres (*leads and lags in technological activity*). Ce qui confirme le travail de Popp *et al.* (2011). Par exemple beaucoup de firmes européennes continuent à investir lourdement dans les technologies énergétiques traditionnelles « carbonatées » dans le secteur du transport alors que les firmes américaines investissent dans les technologies relatives aux énergies renouvelables.
5. Notre analyse conclue au leadership des firmes japonaises dans le domaine des technologies propres (Laurens *et al.*, 2016a). Ce résultat n'est pas lié aux biais relatifs à l'état du brevet comme indicateur d'innovation. Ce temps d'avance y compris

---

<sup>13</sup> Un autre exemple est la grande convention de plein emploi au temps de la croissance fordienne d'après-guerre dans les pays industriels dominants.

<sup>14</sup> Ce rôle de leader a été mis en exergue par des travaux menés à l'OCDE (voir par exemple Kalamova *et al.*, 2011 ; Corsatea, 2014).

avant Kyoto dans les technologies énergétiques renouvelables, les bio- carburants, les batteries, les piles à combustibles, doit être mis en rapport avec la très importante politique des programmes nationaux R-D visant à contourner la dépendance des produits pétroliers de façon à maintenir la compétitivité (y compris extérieure) du Japon. Ainsi que le remarque Laurens *et al.* (2016a) : « *In this perspective, firm technological greentech capacity fulfilled national strategic objective and built a dominating position in the new and promising international market of energy greentech* ». Outre le choix stratégique de coller aux priorités nationales en termes d'indépendance (toutefois relative) énergétique, a dominé un autre motif; améliorer les positions des firmes japonaises dans la compétition technologique et industrielle mondiale sur des produits d'avenir (la voiture électrique est de ce point de vue emblématique). Ces résultats sont en phase avec l'intuition Popp *et al.* (2011) selon laquelle la source la plus importante des différences entre pays découle des différences des/dans les politiques environnementales.

6. Au total et en accord avec l'approche évolutionniste, les firmes ont débuté suite au protocole de Kyoto un processus d'apprentissage technologique dans le domaine des énergies propres.

7. Le cas des firmes américaines et européennes, les firmes *followers* en quelque sorte, montre qu'elles sont plus enfermées (*lock-in*) dans des champs technologiques d'avant Kyoto, énergie nucléaire et combustion. Ce qui fait qu'au bout du compte un groupe de firmes de grands pays industriels européens (France, Allemagne, Suisse, Suède) était fortement spécialisé en énergie nucléaire, combustion, efficacité électrique<sup>15</sup>. Mais ces firmes sont très sous spécialisées dans les énergies renouvelables (à l'exception des Pays-Bas). Ici l'effet de *lock-in* joue entièrement. Ce retard mis par des firmes européennes et américaines à investir lourdement dans les activités d'innovation tournées vers les énergies propres pourrait à l'avenir leur être très préjudiciable (Acemoglu *et al.* (2012). Les firmes américaines voient leur niveau de spécialisation décroître dans la période de l'après Kyoto<sup>16</sup>. Les firmes japonaises auront une avance durable.

---

<sup>15</sup> La présence d'ABB joue ici à plein.

<sup>16</sup> La situation des firmes américaines a nourri beaucoup de débats. Par exemple, Laurens *et al.* (2016a) remarque : « Our findings, showing that US firms have taken on the issues of renewable energy before most of those from EU countries, contradict Cogan (2006) who states that in the mid-2000s American firms addressing climate change at the governance level were catching up with their international competitors. They

8. Les résultats concernant les firmes européennes n'a cessé d'intriguer. Le fait que le virage de la transition énergétique n'a pas été pris rapidement serait imputable aux défauts d'outils efficaces de politique publique et de coordination au niveau européen au niveau du secteur énergétique (voir Aghion et Veugelers, 2009) à la différence de ce qui s'est fait aux Etats-Unis et au Japon (Wiesenthal et al., 2012). Arguments avancés pour expliquer le retard américain (Laurens *et al.*, 2016a).
9. En moyenne les firmes européennes expriment une tendance plus forte à la diversification que les firmes américaines.

Le message essentiel est qu'émerge bien un nouveau régime technologique (au sens de Berkhout, 2002) fondé sur les technologies d'énergie propres (décarbonatées) pouvant répondre au défi de plus en plus pressant du réchauffement climatique. Nous avons essayé de saisir le « grand moment » de cette transition, le protocole de Kyoto ; o ù s e jouent les visions des managers, des Etats, des utilisateurs, construisant des anticipations concernant les investissements technologiques futurs. Les effets de lock-in s'avèrent manifestes dans des technologies anciennes comme le nucléaire et empêchent les firmes de certains pays de se mettre sur les énergies renouvelables (le cas de la France est ici exemplaire). Le protocole de Kyoto a constitué un signal ouvrant une période de réglementation plus drastique déclenchant une vague d'innovations environnementales (Borghesi *et al.*, 2015). Dans la même veine Nicolli et Vona (2014) avancent que la ratification a produit un cadre pour les politiques publiques plus stable et plus cohérent qui a favorisé la transition.

---

are, however, in accordance with the situation depicted by Falkner (2010) where many large US companies (Ford, Chrysler, General Motors, Texaco) started to align their strategies at the end of the 1990s by taking into consideration the signature of the Kyoto protocol despite the official opposition of the US government. This overall evolution of US large firms could suggest that large firms are less sensitive to the fluctuating regional political signals in terms of engagement of the government fostering local technological choice and more prone to investigate new technological sectors as soon as they detect international market opportunities ».

**Table 5. Les activités d'innovation en énergie propre des grandes firmes : Synthèse par pays concernant les évolutions avant/après Kyoto**

	<b>Évolution du nombre de firmes</b>	<b>Part des énergies propres dans les portefeuilles de brevets</b>	<b>Niveau et évolution des spécialisations</b>	<b>Commentaires</b>
Japon	<b>Faible progression</b> (10 %)	<b>Forte progression</b> (70 %) à partir d'un part élevée	Forte progression à partir d'un niveau très élevé	Pays leader à évolution rapide vers les technologies propres
Etats-Unis	<b>Faible progression</b> (10 %)	<b>Faible progression</b> (3 %)	Franc recul de l'indicateur de spécialisation	Grand pays mais dont les firmes restent <i>followers</i>
Grands pays européens	<b>Très forte progression :</b> plus de 30 % (excepté pour l'Italie)	<b>Grande variété d'évolution</b> Recul en Italie, Stagnation en Allemagne, progression au R-U, très forte progression en France (80 %)	<b>Stabilité globale</b> recouvrant des évolutions contrastées ; décroissance (All., It.), stabilité (R-U), croissance (Fr)	Évolution contrastée. Les grandes firmes de ces pays semblent avoir du mal à sortir des technologies anciennes ou nucléaires
Petits pays européens	<b>Grande variété de situations</b> Suède : 150 % Danemark : constance	<b>Évolution très Contrastée</b> Très fort recul en Suède et en Finlande. Très forte progression au Danemark (75 %)	<b>En décroissance</b> sauf pour le Danemark	Le Danemark tire bien son épingle du jeu par rapport aux autres pays scandinaves

En guise de conclusion notre projet était d'examiner si les grandes firmes mondiales mais pas nécessairement spécialisées dans les secteurs de production d'énergie, s'étaient plus fortement engagées sur la voie d'une transition énergétique économe en gaz à effet de serre dans la période d'après Kyoto. La réponse est sans ambiguïté oui. Leur engagement est croissant dans leurs activités d'innovation en énergie propre. Ces résultats généraux impliquent néanmoins une grande variété de situations. En termes de portée pour l'analyse économique outre le fait qu'on montre la pertinence de l'approche évolutionniste, on a souligné que les grands moments où se dénouent des accords internationaux dans le domaine de l'environnement ont également une portée forte en termes de construction des anticipations des grandes firmes mondiales.

## Références :

- Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, and David Hemous. (2012) The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review* 102(1): 131-66
- Aghion P., Harris C., Howitt P., Vickers J. (2001) Competition, imitation and growth with step-by-step innovation. *The review of Economic Studies* 68: 467-492
- Aghion P., Veugelers R., Serre C. (2009) Cold start for the green innovation machine. Bruegel Policy contribution N° 2009/12
- Arthur W.B. (1988), « Self-reinforcing mechanisms in economics », in P. Anderson, K.J.
- Arrow and D. Pines (éds), *The Economy as an evolving complex system*, Addison-Wesley, Reading (Mass.) pp. 9-29.
- Arthur W.B. (1989), « Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events », *The economic journal*, vol. 99, n°394, pp. 116-131.E.
- Berkhout F., (2002), Technological regimes, path dependency and the environment *Global. Environmental Change* 12 (2002) 1–4
- Borghesi S., Cainelli G., Mazzanti, M., (2015) Linking emission trading to environmental innovation: Evidence from the Italian manufacturing industry. *Research Policy* 44(3): 669-683
- Bruckner, W. Ebeling, M.A. JiménezMontaño, A. Scharnhorst, (1996), Nonlinear stochastic effects of substitution—an evolutionary approach, *J. Evol. Econ.* 6, 1–30.
- Carlsson B., R. Stankiewicz, On the nature, functions and composition of technological systems, *J. Evol. Econ.* 1 (1991) 93–118.
- Cogan, D.G. (2006) *Corporate Governance and Climate Change: Making the Connection*. Published by CERES 2006, Boston, MA
- Corsatea T.D. (2014) Technological capabilities for innovation activities across Europe: Evidence from wind, solar and bioenergy technologies. *Renewable and Sustainable Energy*

Reviews 37: 469–479

Deegan C., Gordon B. (1996) A study of the environmental disclosure policies of Australian corporations, *Accounting and Business Research* 26, 187-199

Edquist C., (2004), Systems of innovation, perspectives and challenges, in: D.C.M.J.

Fagerberg, R.R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.

Faber A. et K. Frencken (2009), Models in evolutionary economics and environmental policy: Towards an evolutionary environmental economics. *Technological Forecasting and Social Change* 76 (4), 462-470

Falkner R. (2010) *Business and Global Climate Governance: A Neo-Pluralist Perspective in Business and global governance*, Chapter 5, published by Routledge, Taylor & Francis Group

Geels F., (2002), Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study, *Res. Policy* 31; 1257–1274.

Horbach J., Rammer C., Rennings K. (2011) Determinants of Eco-innovations by Type of Environmental Impact: The Role of Regulatory Push/Pull, Technology Push and Market Pull, *ZEW Discussion Paper N°11-027*

Kalamova M, Kaminker C, Johnstone N (2011) Sources of Finance, Investment Policies and Plant Entry in the Renewable Energy Sector, *OECD Working Papers* 37 [doi.org/10.1787/5kg7068011hb-en](https://doi.org/10.1787/5kg7068011hb-en)

Kemp R. and Foxon T. (2007) ‘Typology of eco-innovation’, European Project ‘Measuring eco-innovation’ (Call FP6-2005-SSP-5A, Area B, 1.6, Task 1)

Laurens, P., C. Le Bas, A. Schoen, and S. Lhuillery. (2016a). “Technological Contribution of MNEs to the Growth of Energy-Greentech Sector in the Early Post-Kyoto Period.” *Environmental Economics and Policy Studies* 18: 169–191.

Laurens, P., C. Le Bas, A. Schoen, and S. Lhuillery. (2016b), Investments of MNEs in energy greentech : does their commitment progress over time ?. *Présentation à la*

conference AIMS *Innovation environnementale et développement durable*. Lyon, 15-16 Septembre 2016

Lundvall B.A., (1992), *National systems of innovation - towards a theory of innovation and interactive learning*, Pinter publishers, London.

Nicolli F. and Vona F. (2014) *Heterogeneous policies, heterogeneous technologies : the case of renewable energy*. Sciences Po publications 2014-15, Sciences Po

Parnick R., Wilder C. (2007) *The Clean Tech Revolution: The next big growth and investment opportunity* published by Harper Collins

Patel, P., Pavitt, K., (1995). *Patterns of technological activity: their measurement and interpretation*. In: Stoneman, P. (Ed.), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Blackwell, Oxford, pp. 14–51.

Popp D., Hascic I., Medhi N. (2011) *Technology and the diffusion of renewable energy*. *Energy Economics* 33: 648–662

Reinhardt, F.L. (2000) *Global Climate Change and BP Amoco*. Harvard Business School Case Study 9: 700-106

Veefkind V. Hurtado-Albir J., Angelucci S., Karachalios K., Thumm N. (2012) *A new EPO classification scheme for climate change mitigation technologies*. *World Patent Information* 34: 106-111

Veugelers R. (2011). *Which instruments to induce clean innovating*. *Research Policy* 41: 1770-1778

Veugelers R. (2014) *What Innovation policies for ecological transition? Powering the green innovation machine*. Working Paper n°73. Dec. WWFOREUROPE

Walker, W.B., 2000. *Entrapment in large technical systems: institutional commitment and power relations*. *Research Policy* 29, 833–846.

Wiesenthal T., Leduc G., Haegeman K., Schwarz (2012) *H.G. Bottom-up estimation of industrial and public R-D investment by technology in support of policy-making: The case of selected low-carbon energy technologies*. *Research Policy* 41: 116-131.