

**LIBERALISATION ET DEPOTS DE BREVETS VERTS
DES UTILITES ELECTRIQUES EN EUROPE**

OFCE

N° 2010-21

OCTOBRE 2010

Evens Salies
OFCE/DRIC

Lionel Nesta
OFCE/DRIC

Libéralisation et dépôts de brevets verts des utilités électriques en Europe

Evans Salies* et Lionel Nesta[⊗]

Résumé

Les réformes qui ont conduit à la libéralisation des marchés de l'énergie ont considérablement influencé le comportement d'innovation des utilités électriques dans certains pays. Aux Etats-Unis, elles ont provoqué une diminution de l'investissement en R&D environnementale de ces entreprises, mais aussi des dépôts de brevets des équipementiers. En ce qui concerne l'Europe, l'existence d'une influence ou pas de ces réformes sur les dépôts de brevets verts n'a pas été clairement démontrée. L'objet de cet article est précisément de répondre à cette question à partir d'un échantillon des principales utilités électriques ayant déposé leurs brevets à l'Office Européen des Brevets sur la période 1980—2005.

* Auteur à contacter: Observatoire Français des Conjonctures Economiques, Sciences Po, 250 rue Albert Einstein, 06560 Valbonne, France. Tel. +33(0)493954152, E-mail: evens.salies@ofce.sciences-po.fr.

[⊗] Observatoire Français des Conjonctures Economiques, Sciences Po, 250 rue Albert Einstein, 06560 Valbonne, France. Tel. +33(0)493954152, E-mail: evens.salies@ofce.sciences-po.fr.

1. Introduction

Le rôle joué par l'énergie électrique dans la croissance des pays est si important que les dépenses d'innovation des utilités électriques ont, jusqu'à présent, été orientées par les gouvernements. La libéralisation des secteurs de l'énergie électrique dans le monde s'est cependant accompagnée d'une baisse de ces investissements à commencer par ceux en recherche et développement (R&D). C'est ce que l'on a observé dès le début des années 1980 aux États-Unis (Margolis et Kammen, 1999; Sanyal et Cohen, 2009), au Royaume-Uni (Jamash et Pollitt, 2008) et plus tard dans d'autres pays européens (Salies, 2010). Cette situation est alarmante dans la mesure où les utilités électriques sont par ailleurs priées d'accroître à la fois l'efficacité énergétique de leurs parcs de production, et de substituer des sources énergies renouvelables aux combustibles fossiles dans la production d'électricité (Commission des Communautés européennes, 2007).

La littérature empirique s'est naturellement emparée de la question de la relation entre innovation et réformes dans le secteur de l'énergie électrique. A partir d'un échantillon de plusieurs pays européens (Allemagne, Suisse et Pays-Bas), Markard et alii (2004) montrent que la libéralisation a conduit à une modification importante du comportement d'innovation dans ce secteur. Beaucoup de producteurs d'électricité sont, par exemple, entrés dans une phase de restructuration organisationnelle, qui comprend le « spin off » d'unités de recherche. Nous pouvons par exemple mentionner le cas d'EDF Energies Nouvelles, filiale à 100% de la société EDF. Dans une étude antérieure aux États-Unis, de nombreux cadres des départements R&D affirmaient déjà que leurs entreprises avaient substitué des projets de R&D visant à un avantage concurrentiel à court terme aux projets de plus long-terme relatifs à des technologies de pointe (GAO, 1996). A titre d'exemple, les recherches sur les technologies de charbon propre ont été négligées au profit de recherches dans les centrales thermiques à cycle combiné au cours de la période connue sous le nom de « dash for gas ».

Un peu plus tard, Sanyal (2007, p. 337) observe une coupe significative dans les dépenses de R&D dites « d'intérêt public » des utilités électriques (il s'agit notamment des recherches sur le réchauffement climatique). En effet, ce type de recherche ne confère ni de réduction de coûts à court terme, ni n'améliore l'efficacité énergétique des centrales. La principale raison soutenue empiriquement est l'incertitude sur la valeur des recettes futures à cause d'une concurrence accrue (Sanyal et Cohen 2008; Sanyal, 2007 et Margolis et Kammen, 1999). Jamash et Pollitt (2008) arrivent à des conclusions similaires dans le cas de la Grande-Bretagne concernant le rôle désincitatif de la libéralisation sur l'effort de recherche des producteurs d'électricité. Cette conjecture dans le cas des principales utilités électriques en Europe est vérifiée dans Salies (2010) où l'on peut observer qu'entre 1980 et 2007, l'évolution des dépenses de R&D suit, avec quelques années de retard, la tendance signalée dans Sanyal et Cohen (2009) et Sanyal (2007) dans le cas des entreprises américaines.

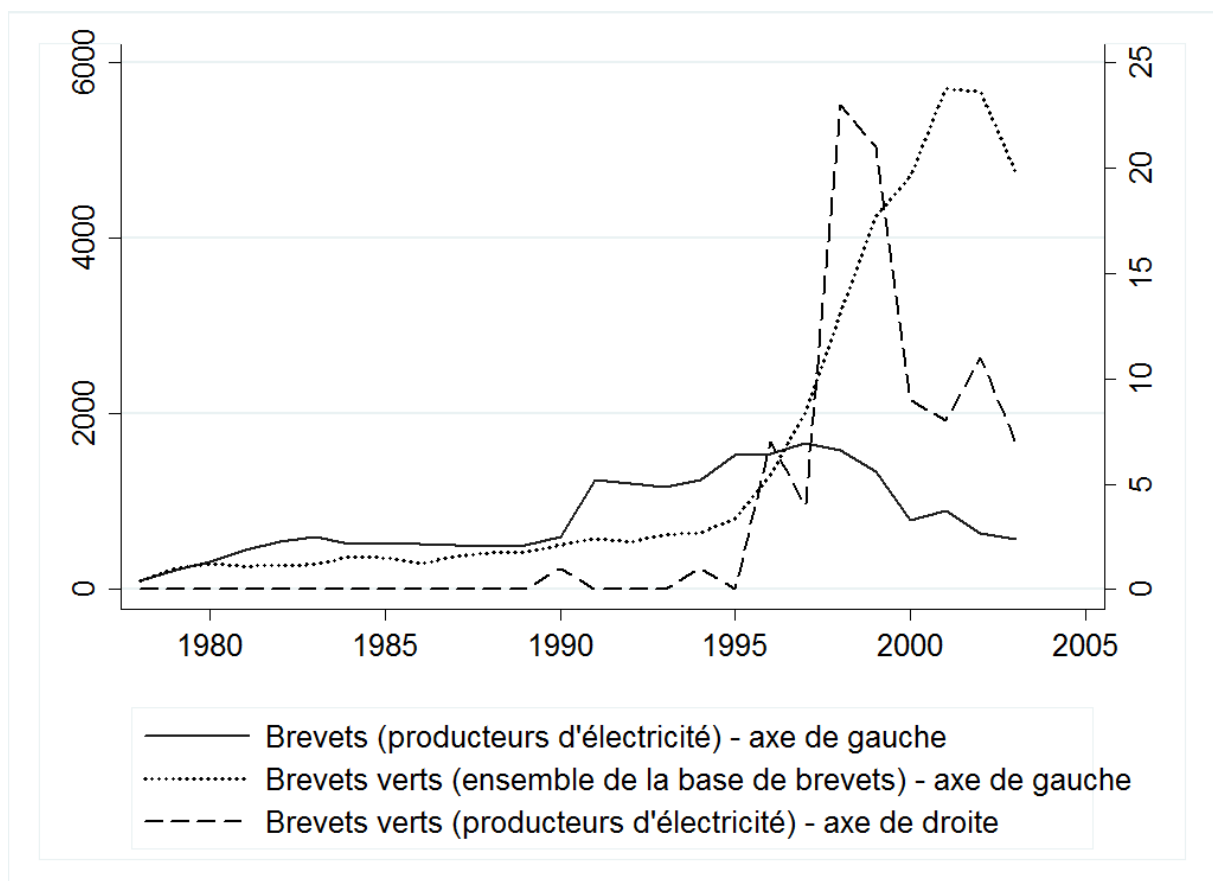
Une autre raison importante est liée au démantèlement des capacités de production. En effet, puisqu'une fraction de la R&D est liée à l'activité de production, les cessions de centrales induites par ce démantèlement entraînent la perte d'une base de clientèle relativement stable (Jolink et Niesten, 2008). Celle-ci se traduit par une baisse mécanique du chiffre d'affaires, et par conséquent des investissements de R&D. Une autre raison évoquée aux États-Unis concerne la réduction globale des financements publics, plus particulièrement en faveur de la R&D dans les domaines de l'environnement, mais aussi du nucléaire et des énergies fossiles (voir GAO 1996, p. 5). Une dernière raison, bien connue des économistes, est liée à la présence d'externalités positives de connaissances dans le secteur de l'énergie électrique. En effet, les bénéfices induits par des investissements en R&D liée à

l'environnement vont au-delà de ce secteur (Horbach 2008, p. 165). Cela tend à limiter le degré de participation du secteur privé (Jamasp et Pollitt 2008, p. 998).

La libéralisation a également affecté l'innovation par les équipementiers du secteur de l'énergie électrique. Jamasp et Pollitt (2009), qui examinent l'activité de soumission de brevets en Grande-Bretagne, soulignent le rôle croissant des équipementiers. Dans le cas des Etats-Unis, Sanyal et Gosh (2008) montrent l'existence d'un effet négatif des réformes sur les dépôts de brevets par les équipementiers aux Etats-Unis, observant une diminution entre 1990 et 2000 de ces dépôts.

S'appuyant sur l'idée largement répandue dans la littérature que les technologies dans le secteur de l'énergie électrique sont essentiellement fournies par les équipementiers (Sanyal et Gosh, 2008, p. 2-3), ces auteurs ne s'intéressent pas aux soumissions de brevets des utilités électriques. Cette approche masque pourtant la réalité selon laquelle en Europe, les utilités électriques mettent en œuvre des programmes de recherche importants et déposent des brevets, comme montre le graphique ci-dessous.

Graphique 1: Soumissions de brevets (utilités électriques et ensemble), 1978–2003.



Malgré une évolution des soumissions de brevets assez similaire à celle des dépenses de R&D (une hausse suivie d'un retour de tendance), l'impact de la libéralisation sur la soumission de brevets au niveau des utilités électriques en Europe reste à démontrer. Comme cela a été suggéré dans la littérature, il est probable que les utilités électriques ont réduit leurs dépenses de R&D pour se concentrer davantage sur le brevetage de leurs efforts de recherche passés.

Par exemple, l'intensité de la R&D¹ d'Eon a diminué d'environ 24,5% après l'apparition de la loi annonçant la libéralisation du secteur de l'énergie en Allemagne (l'Acte sur l'Offre d'Electricité et de Gas de 1998) tandis que le nombre de soumissions de brevets a augmenté de 125%.

Plusieurs facteurs justifient l'intérêt qu'ont les utilités électriques à innover plutôt que de s'approprier l'innovation exclusivement auprès d'équipementiers. Nous pouvons en citer quelques-uns.

Le premier facteur est lié au degré élevé de concentration du secteur. Les utilités électriques sont très intégrées verticalement, de la production jusqu'à la commercialisation. Certaines furent des monopoles régionaux ou nationaux (une seule ou plusieurs entreprises sont sous propriété du gouvernement et désignées comme « monopoles naturels »). Par conséquent, cela leur conférait une sorte de droit de préemption sur l'utilisation de leurs propres innovations, voire de celles fournies par les équipementiers. Pour chaque entreprise, le risque d'imitation était limité à une zone d'activité bien précise, généralement celle du monopole, alors que les économies d'échelle pouvaient être gigantesques (Horbach 2008, p. 165). Ce droit de préemption réduit le risque d'imitation et permet aux utilités électriques de profiter d'économies d'échelle associées à leurs innovations.

De plus, pour un bien homogène comme l'électricité, il est assez facile d'augmenter les marges par une réduction des coûts que permettent les innovations de procédé. Cette incitation à augmenter les marges par la réduction des coûts résulte du fait que les prix de détail de l'électricité sont fortement réglementés (bien que dans une moindre mesure depuis la vague de libéralisation des marchés), garantissant ainsi un niveau de revenus. D'autre part, elle est renforcée par le fait que les grands groupes de l'électricité ont une base de clientèle dont les coûts de migration vers les concurrents sont très élevés (Salies, 2005). Cet attachement, existant même plusieurs années après que les marchés de détail ont été ouverts à la concurrence, rend les opérateurs historiques disposés à prendre le risque d'échouer certains coûts inhérents aux activités de R&D en vue de soumettre des brevets.

Malgré cette capacité à innover des utilités électriques, il n'est pas impossible que les réformes aient eu un effet négatif sur leurs soumissions de brevets, plus particulièrement sur celles en relation avec l'innovation environnementale. Il s'agit de l'hypothèse principale que nous souhaitons tester. Le plan se présente comme suit. La section 2 définit l'innovation environnementale (ci après, IE) dans le secteur de l'énergie électrique. Plus de détails sur ce type d'innovations peuvent être trouvés dans Arundel et Kemp (2009), Jamasb et Pollitt (2009, 2008) et Sanyal (2007). Nous présentons ensuite le modèle économétrique ainsi que les données qui serviront à tester notre hypothèse (section 3). Puis, nous commentons les résultats (section 4) avant de conclure (section 5).

2. Définition et évolution de l'innovation environnementale

La recherche des utilités électriques (EDF en France, E.ON en Allemagne, etc.) peut être séparée en deux types de projets, environnementaux et non-environnementaux. La R&D environnementale est faite tant en amont qu'en aval du secteur. Il s'agit de recherches orientées vers des sujets d'intérêt public tels que le réchauffement climatique ou qui, plus généralement, visent à réduire les dommages environnementaux. Lorsqu'elle vise le long-terme, L'IE concerne la micro-cogénération, les piles à combustible, les systèmes de turbines marémotrice, la production à partir de l'énergie solaire et la gazéification de la biomasse. D'autres applications portent sur les conséquences locales du changement climatique, la

¹ Dans cet article, l'intensité de la R&D d'une entreprise pour une année est le ratio entre les dépenses de R&D et le chiffre d'affaires tels que reportés dans le compte de résultat de l'entreprise.

biodiversité et la contamination de l'eau suite au stockage de déchets radioactifs dans le cas d'entreprises telles qu'EDF. A court terme, l'objectif de l'IE est d'utiliser l'énergie de manière plus efficiente. Il s'agit d'améliorer ou de développer des centrales au charbon avec captage du dioxyde de carbone, de développer la construction de centrales alimentées en ressources énergétiques renouvelables, d'accroître l'efficacité énergétique des appareils électroménagers pour les petits consommateurs, d'améliorer les performances d'appareils tels que les pompes à chaleur. Il s'agit aussi de développer des compteurs dits intelligents afin de permettre aux consommateurs d'avoir un meilleur contrôle sur leur demande d'énergie. L'IE peut également prendre la forme de partenariats avec d'autres industries. Nous pensons au développement de véhicules électriques et hybrides en partenariat avec l'industrie automobile.

Nous devons admettre comme Horbach (2008, p. 163) qu'il est difficile de s'entendre sur une définition de l'IE, tout simplement parce que la distinction entre projets environnementaux et non environnementaux n'est pas si triviale. Chaque utilité électrique peut avoir sa propre opinion sur le fait qu'un projet de R&D vise s'inscrire dans le cadre d'une IE ou pas. Par exemple, en ce qui concerne l'innovation dans la fission nucléaire, EDF estime que ses recherches sur les réacteurs de nouvelle génération font partie des IE. C'est en tout cas ce qui transparaît dans ses rapports annuels. Pour éviter toute confusion, les économistes ont à leur disposition un ensemble de classes technologiques correspondant à de l'IE. Cette classification a notamment été établie par David Popp (voir Johnstone et alii, 2008).

Le tableau 1 ci-dessous montre l'évolution par entreprise de la soumission de brevets en général, ainsi que des brevets verts, avant et après l'apparition du premier texte de loi annonçant la libéralisation des marchés de l'énergie. La date de cette loi varie par pays comme le montre le tableau 1.

Tableau 1: Soumissions de brevets par les utilités électriques avant et après la réforme

Utilité	Année de la première loi	Tous les brevets ¹			Brevets verts ²
		Avant	Après	Variation (%)	Après
AEM	1999		0,333		0
ASM	1999		1,400		0
Bewag	1998	0,250	0	-100	0
EDF	2000	20	14	-30	1,166
Edison	1999	0,600	1,571	161,904	0,142
Enbw	1998	2	1,250	-37,500	0,125
Enel	1999	3,625	1,571	-56,650	0
Eon	1998	0,167	0,375	125	0
Evn	1998	0,250	0	-100	0
Fortum	1995		6,700		1,800
Hafslund	1990		0,200		0
Iberdrola	1994		0,667		0
Innogy	1989		3		0,714
Int. Power	1989		0,363		0
London E.	1989		0,272		0
Meta	1999		0,333		0
Nesa	1996		0,428		0
Powergen	1989	0,250	0,176	-29,411	0
Red Electrica de E.	1994		0,333		0
RWE	1998	3,800	1,750	-53,947	0,250
Sydkraft	1995	0,461	1,090	136,363	0
TXU	1989		0,250		0
Union Fenosa	1994		0,428		0
Vattenfall	1995	6,400	4,090	-36,079	0,090

Notes:

1. Cette variable est le nombre moyen de brevets soumis dans le temps. Un '0' dans la colonne 'Après' signifie que l'entreprise n'a pas soumis de brevet après la date de la loi de libéralisation du secteur. Une case vide dans les colonnes 'Avant' et 'Variation' signifie que nous n'avons pas de données sur les brevets disponibles avant la date.

2. Cette variable est le nombre moyen de brevets verts soumis après la date de la loi. Un '0' dans la colonne 'Après' signifie que l'entreprise n'a pas soumis de brevet après la date de la loi.

A part trois utilités sur les 24 (Edison, Eon et Sydkraft), le nombre annuel moyen de tous les brevets soumis a diminué après l'apparition de la loi. Ces chiffres doivent être considérés avec prudence car les données de brevets ne sont pas disponibles pour environ la moitié des entreprises avant la date de la loi. Pour ces entreprises, il est donc impossible d'étudier l'effet de la libéralisation des marchés sur l'innovation.

Comme indiqué dans Salies (2010 ; voir Jamasb et Pollitt, 2008 pour une référence antérieure), les utilités électriques dépensent peu en R&D. En fait, sur la période 1980—2007, 10 utilités sur les 36 de notre échantillon d'origine ne dépensent pas du tout en R&D (une utilité ne reporte la R&D que sur une année). En termes de pourcentage, ces dépenses représentent au plus 2% du chiffre d'affaires. EDF, par exemple, a dépensé environ 0,5% de son chiffre d'affaires en 2000 (1,11% pour Eon en 1999, tandis que Hafslund avec près de 5,5% au milieu des années 1990 a le plus haut pourcentage). La part chez les équipementiers est plus élevée en moyenne (3,5% pour Areva, 2% pour Vestas). Par rapport à d'autres industries (médicaments et instruments médicaux, technologies de l'information et de la communication, aviation et aérospatiale), les pourcentages observés dans le secteur de l'énergie électrique sont faibles.²

Selon Deufeilley et Furtado (2000), l'explication est que le rôle des utilités électriques est plus celui de l'adoption de technologies innovantes de génération de l'électricité, que celui de la création de ces technologies.³ Autrement dit, elles consacrent moins de fonds à des recherches qui sont plus spécifiques aux constructeurs d'équipements. Cela fut conjecturé par GAO (1996, p. 9) selon qui, en réponse à la libéralisation des marchés de l'électricité, les équipementiers s'empareraient du développement de nouveaux produits, confinant ainsi les utilités électriques dans le cœur de métier. Nous pensons cependant qu'une étude de la soumission de brevets par les utilités électriques, dans les énergies renouvelables notamment, reste pertinente afin de mieux appréhender le comportement d'innovation dans le secteur de l'énergie électrique en Europe.

3. Modèle, données et hypothèses principales

Dans cette section, nous présentons notre modèle économétrique et notre choix des déterminants potentiels de la décision de soumettre des brevets pour un échantillon d'utilités électriques européennes sur la période 1980—2005. Notre approche est différente de celle de Sanyal et Gosh (2008) qui utilisent un modèle de type *difference-in-difference*. Contrairement à ces auteurs, nous aurions à estimer autant de coefficients associés au modèle *difference-in-difference* qu'il y a de pays. Étant donné le nombre important de données manquantes dans notre échantillon, le faible nombre d'utilités qui reportent leurs dépenses de R&D et, surtout,

² L'absence de valeurs a pour cause les règles comptables elles-mêmes. En effet, nous ne considérons pas les dépenses de R&D capitalisées qui figurent au poste des actifs incorporels. Il s'agit de montants élevés tels que les coûts de développement. Ceux-ci sont disponibles dans des bases de données que nous n'avions pas au moment de cette étude.

³ Traditionnellement, les équipementiers qui opèrent en amont du secteur entreprenaient des projets de recherche en collaboration avec les utilités électriques : les partenariats EDF / Areva ou E.ON / Alstom / Siemens. Ces partenariats faisaient partie intégrante des politiques énergétiques gouvernementales. Le but étant de favoriser la recherche coopérative afin de partager le coût de certains projets de R&D, ainsi que d'éviter des redondances de projets. Par exemple, le projet commun EDF-Areva pour la construction d'un réacteur à eau pressurisée, l'EPR.

le petit nombre de brevets verts soumis chaque année, nous ne suivons pas leur approche.⁴ Néanmoins, notre modèle s'appuie sur des données observées au niveau de la firme, ce qui a pour avantage que nous pouvons tenir pleinement compte de l'influence de variables propres aux utilités électriques sur leur comportement d'innovation. Malgré le faible nombre d'utilités traitées dans cette étude, il est bon de noter que six de nos entreprises (EDF, Enel, Eon, RWE, Vattenfall et Fortum) couvrent à elles seules environ 69,5% de la production des 10 plus gros producteurs d'électricité en 2003 (voir Eurostat, 2005). Et parmi les 10 plus grosses entreprises en termes de chiffre d'affaires, elles représentent une part de 61%.⁵ Il est important de noter que nous ne tenons pas compte de la structure de contrôle entre entreprises du secteur suite à des opérations de fusions, acquisitions et de prises de participations. Ainsi, contrairement à Sanyal et Gosh (2008), nous ne comptabilisons pas les brevets d'une utilité affiliée avec ceux de la société parente. Par exemple, les brevets de London Electricity sont comptabilisés dans cette entreprise, et non chez EDF qui fit acquisition du groupe London Energy en 2003.

3.1 Fonction de production de connaissances

Nos données de brevets proviennent de l'Office Européen des Brevets (OEB), dont la version que nous possédons contient tous les brevets attribués en Europe durant la période 1978—2005. Rappelons qu'un brevet est un titre juridique qui protège une invention technique pour une période limitée. Il donne au propriétaire le droit d'empêcher des tiers d'exploiter l'invention dans le pays dans lequel elle a été accordée. La variable dépendante est Y_{ict} , le nombre de brevets soumis à l'OEB par l'utilité i durant l'année t . Ce nombre est répertorié dans la base « Espace Access » de l'OEB. L'indice c dénote le pays où l'utilité électrique est entreprise historique. C'est donc le lieu où elle réalisait l'essentiel de son activité de production d'électricité avant l'introduction des réformes.

La nature discrète de la variable Y_{ict} impose l'utilisation d'un modèle de comptage binomial négatif (un Poisson modifié) afin de tenir compte aussi du caractère sur-dispersé de Y_{ict} . Le modèle s'écrit comme suit :

$$\Pr(Y_{ict} = y_i | M_i) = \frac{e^{(-\lambda_i M_i)} (\lambda_i M_i)^{y_i}}{y_i!} \quad (1)$$

Le modèle de Poisson modifié est de type NEGBIN II qui comprend un terme d'erreur autorisant la valeur prédite du nombre de brevets soumis de varier en fonction de la distribution même de ce terme d'erreur. Il s'agit d'une erreur composée comportant un effet fixe propre à l'utilité, M_i , de sorte que λ_i s'écrit $\lambda_i = e^{(\mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} + M_i)}$ dans l'équation (1), où \mathbf{X}_i est le vecteur des variables explicatives. Celui-ci inclut deux mesures de connaissance à disposition de l'entreprise ainsi qu'un ensemble de variables de contrôle au niveau de l'utilité et du pays. Le vecteur $\boldsymbol{\beta}$ contient l'ensemble des paramètres à estimer. La fonction de production de connaissance est :

⁴ La spécification de Sanyal et Gosh (2008) permet une prise en compte assez fine d'un impact éventuel de la déréglementation sur le comportement d'innovation. Dans une version de leur modèle semblable à la nôtre, ils se concentrent sur le nombre de brevets délivrés à chaque équipementier. Il faut noter cependant que le cas américain est plus simple que le cas Européen car il n'existe qu'un premier texte de loi, donc qu'une seule date correspondant aux réformes.

⁵ Ces chiffres sont à prendre avec précaution dans la mesure où certaines de nos entreprises ne figurent pas dans le document d'Eurostat. Il s'agit par exemple de London Electricity, acquise par le groupe EDF en 2003.

$$Y_{ict} = f(K_{ict-1}, D_{ict-1}, \mathbf{Z}_{t-1}), \quad (2)$$

où \mathbf{Z} est le vecteur des variables de contrôle.

Dans la lignée des études précédentes (Nesta et Saviotti, 2005), nous contrôlons pour l'existence d'économies d'échelle et d'envergure liées à la production de connaissances. Les économies d'échelle sont modélisées à travers la variable *capital de connaissance* (K dans le modèle) de la firme, alors que les économies d'envergure sont mesurées par le degré de *diversification technologique* (la variable D dans le modèle). Ces variables dépendent du portefeuille de brevets soumis par la firme. La signification de la première variable est que « un stock de brevets plus élevé reflète un plus grand nombre d'*inputs* à la disposition de la firme qui, par conséquent, est plus susceptible de trouver de meilleures inventions » (ibid, pp. 18—19). Le capital de savoirs est mesuré en utilisant la méthode dite de l'inventaire permanent. Cette méthode consiste à calculer un stock cumulé des demandes de brevets en appliquant un taux d'obsolescence des connaissances de 15% par an : $E_{it} = y_{it} + (1 - \delta) \cdot E_{it-1}$, où y_{it} est le nombre de brevets soumis par l'utilité i durant l'année t et δ représente le taux d'obsolescence. Sanyal et Gosh (2008) utilisent également cette méthode.

La construction de la deuxième variable constitue un des apports originaux de cette étude. Elle s'appuie sur l'ensemble des classes technologiques de chaque brevet. Cette information s'avère être essentielle lorsque l'on veut faire jouer un rôle à la diversité de connaissance sur l'activité d'invention. Afin de construire une mesure de diversité technologique, nous cumulons le nombre de soumissions de brevets de l'utilité i durant l'année t faisant appel à la classe technologique k . Le cumul est effectué sur un nombre d'années égal à cinq afin de compenser l'effet d'un changement drastique dans la stratégie d'apprentissage de l'entreprise. Ce lissage suppose également qu'il existe une certaine inertie dans l'ensemble des compétences technologiques de l'entreprise. Formellement, $K_{itk} = \sum_{\tau=0}^4 y_{ikt-\tau}$. La variable de diversification est calculée par une mesure d'entropie de la distribution des brevets sur l'ensemble des classes technologiques qui rentrent dans tous les brevets de l'entreprise : $D_{it} = -\sum_k p_{itk} \ln(p_{itk})$ où $p_{itk} = K_{itk} / \sum_k K_{itk}$. Nous choisissons un niveau de précision de six caractères alphanumériques pour les classes technologiques. A ce niveau, on recense 12709 technologies différentes, dont 2003 (soit 15,8%) sont exploitées par nos utilités électriques.

3.2 Les variables explicatives

L'innovation appréhendée par le nombre de brevets est souvent considérée comme une bonne alternative aux dépenses de R&D, bien que les deux soient des métriques de l'innovation dans la littérature. De ce point de vue, il est possible que certaines variables connues pour influencer l'effort de R&D influencent aussi la propension à breveter (avec éventuellement un certain décalage dans le temps). Comme le montre l'équation (2), toutes les variables explicatives sont prises avec un retard d'une année afin, notamment, de minimiser le risque de relation mécanique entre la variable dépendante et K . Cela réduit également le risque d'endogénéité des variables explicatives. Notons que les découvertes d'une année résultant d'efforts de recherches passés – et de manière plus marginale, des efforts courants – notre décision de ne considérer qu'un seul retard pour ces variables peut paraître assez restrictive. Cette spécification est néanmoins courante dans la littérature. De plus, notre mesure de variété est déjà construite à partir d'observations s'étalant sur plusieurs années.

A part K , D et la variable liée aux réformes, les autres variables proviennent de diverses sources (Datastream, Eurostat et l'Agence Internationale de l'Energie). Les variables relatives aux comptes des entreprises proviennent de la base Thomson Financial qui adopte la classification numérique Worldscope. Les variables de cette base sont mesurées en termes réel

(en euros de l'année 2000). Nous utilisons pour cela le déflateur du produit intérieur de brut de chaque pays dans laquelle la firme publie ses comptes.

Taille de la firme et R&D

Dans la mesure où nous comparons la propension à breveter entre des firmes de taille différente, il est important de contrôler pour cet effet, source d'hétérogénéité durable dans le temps. Dans la lignée du travail de Wilder et Stansell (1974), l'effet combiné de la taille et des réformes sur l'activité d'innovation des utilities électriques a été mis en évidence dans plusieurs papiers. Sanyal (2007) et Sanyal et Cohen (2009) sont les articles les plus récents sur ce sujet dans le cas des États-Unis. Dans le cas des utilities électriques européennes, le rôle de la taille a été clairement établi par Salies (2010) qui, contrairement aux deux études susmentionnées, teste explicitement l'hypothèse dite « Schumpétérienne » (une démonstration de l'avantage des grandes entreprises en termes d'innovation) en reprenant le modèle de Cohen et Klepper (1996). Outre les actifs intangibles, nous augmentons la fonction de production des dépenses de R&D ($wc1201$) desquelles découlent la plupart des innovations. Nous nous attendons à ce que cette variable ait un effet positif sur la propension à breveter.

Réformes de la libéralisation

La variable approchant des réformes que nous utiliserons dans le présent document ne diffère pas de celles employées dans les modèles où l'innovation est mesurée soit en termes de brevets, soit à partir des dépenses de R&D (Sanyal, 2007 ; Sanyal et Gosh, 2008 ; Sanyal et Cohen, 2009 et Salies, 2010). Le test de l'effet des réformes s'appuie sur une variable muette qui change de valeur l'année où la réforme apparaît. Cette variable prend la valeur « 1 » à partir de l'année de promulgation de la loi annonçant la réforme. En France, il s'agit par exemple de la loi No. 2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. Salies (2010) trouve une élasticité de -135%, ce qui est considérable mais assez cohérent à la vue des chiffres de réduction de la R&D qui figurent dans le tableau 1. Nous nous attendons à ce que cette variable ait également un effet négatif sur la propension des utilities électriques à innover en général. Concernant cette propension dans les brevets verts, la littérature suggère un effet négatif.

Opportunités technologiques

En complément des précédentes variables, nous incluons une variable d'opportunité technologique. Son rôle est de saisir l'influence des politiques nationales d'innovation, ainsi que de facteurs culturels sur la propension à breveter des utilities électriques dans chaque pays. Nous suivons Johnstone et al (2008) qui s'appuient sur les demandes annuelles de brevet (par année de priorité) à l'OEB, dans chaque pays, divisé par le produit intérieur brut nominal. Cette variable saisit également la contribution, en termes d'innovation, d'entreprises en amont (équipementiers et fournisseurs d'équipements de recherche) appartenant au secteur de l'énergie électrique mais aussi en dehors de celui-ci (chimie, métallurgie, mécanique, physique, etc.). Cette variable devrait être positivement liée au nombre annuel de soumissions de brevets, car un niveau d'opportunités technologiques plus élevé doit bénéficier aux innovateurs en général, et aux utilities électriques en particulier. Notons, comme le soulignent Nelson et Wolf (1997, p. 213), que les innovations faites en amont peuvent préempter ou rentrer en compétition avec celles des utilities électriques (plus il y a de recherche faite en amont, moins il y en a de faite en interne), diminuant ainsi l'influence potentielle de la variable mesurant les opportunités technologiques.

Mix énergétique

La prise en compte du mix énergétique utilisé dans la production d'électricité dans chaque pays est motivée par le travail de Sanyal (2007). Cet auteur constate que les utilités électriques d'un Etat américain dans lequel la part du charbon dans la production d'électricité est majoritaire dépensent plus en R&D environnementale. Nous utilisons une variable tirée des statistiques de l'Agence Internationale de l'Energie, à savoir la part de la production thermique classique nette (électricité produite à partir de pétrole, charbon et gaz) divisée par la production nette tirée de l'hydroélectricité et de ressources renouvelables.⁶ Salies (2010) utilise cette variable et trouve que celle-ci a un effet positif sur les dépenses de R&D des utilités électriques, tous domaines confondus. Nous devrions donc trouver la même chose en ce qui concerne les demandes de soumissions de brevets verts. L'idée est que dans un pays dont la part relative d'énergie propre dans la production d'électricité est plus élevée, a moins besoin de générer de brevets verts. Ou, dit autrement, les utilités qui produisent de l'électricité majoritairement à partir de sources d'énergie fossiles aussi celles qui sont davantage incitées à déposer des brevets verts, toutes choses étant égales par ailleurs.

Le rôle de la demande

Nous considérons finalement le rôle de l'accroissement de la demande des pays, car celui-ci est synonyme de suppléments de recettes, voire de profits, pour les utilités électriques. Nous pouvons citer Johnstone et alii (2008, p. 11) qui affirment que « un secteur de l'électricité en croissance devrait renforcer les incitations à innover en matière de technologies dans le domaine des énergies renouvelables ». Johnstone et alii (2008) saisissent un effet du côté de la demande en utilisant comme variable la consommation d'électricité. Etant donné que consommation d'électricité et production évoluent de manière concomitante (soulignons que l'électricité est produite et délivrée au moment précis où elle est demandée), nous pourrions utiliser la production d'électricité (au lieu de consommation). Etant donné que nous nous servons déjà de cette variable dans la mesure de la variables de mix énergétique (cf. paragraphe précédent), nous préférons adopter la stratégie de Sanyal (2007) qui utilise le produit brut mesuré au niveau de chaque Etat américain. L'auteur s'appuie sur l'idée que le degré de sensibilité à la question environnementale et la capacité à mener des actions collectives en faveur de l'environnement étant plus élevés dans les régions plus riches, cette capacité devrait se retrouver dans le comportement d'innovation des utilités électriques de ces régions. Notre variable est le produit intérieur brut au prix du marché par habitant. Nous nous attendons bien sûr à ce que cette variable ait un effet positif sur la soumission de brevets, en général et dans le domaine des énergies renouvelables.

4. Résultats

Les résultats de l'estimation de l'équation (1) sont présentés dans le tableau 2. Une première observation surprenante est que les réformes n'ont pas d'effet sur les soumissions de brevet en général, c'est-à-dire, lorsque l'on considère l'ensemble des brevets. En revanche, les réformes ont un effet significativement positif (négatif) dans l'équation des brevets verts (autres que verts). Soulignons que dans le cas des brevets autres que verts, le coefficient de $-0,321$ multipliant la variable réforme est une semi-élasticité qui correspond à une baisse de 28%. Ce résultat est difficile à interpréter dans la mesure où il est contraire à ceux trouvés dans le cas

⁶ La production nette exclut l'énergie consommée par les unités de production.

américain par Sanyal et Gosh (2008), pour les équipementiers et Sanyal (2007) qui ne considère que la R&D environnementale des utilités électriques. Ce résultat n'est pas incompatible avec l'évolution de la part des sources d'énergies renouvelables (hors hydroélectricité) différente en Europe par rapport aux Etats-Unis d'Amérique. Bien que le décollage soit un peu plus tardif en Europe (juste après la première directive européenne sur les marchés de l'énergie de 1992 à l'origine des vagues de libéralisation), la part mentionnée ci-dessus dépasse celle aux Etats-Unis de l'année 2000. Or cette date correspond précisément à la date médiane des réformes.

Tableau 2: Coefficients estimés du modèle pour le nombre de soumissions de brevets

Variables	Tous (1)		Autres (2)		Verts (3)	
Réforme	-0.171 (0.175)		-0.321 (0.176)	*	4.225 (1.431)	***
R&D	0.132 (0.070)	*	0.105 (0.070)		0.624 (0.344)	*
Capital de connaissances	0.917 (0.198)	***	0.903 (0.199)	***	1.714 (0.812)	**
Diversité	-0.371 (0.228)		-0.338 (0.229)		-1.276 (0.911)	
Opportunités Tech.	0.511 (0.226)	**	0.409 (0.225)	*	1.666 (0.935)	*
Mix énergétique	-0.060 (0.021)	***	-0.056 (0.020)	***	-0.019 (0.0614)	
Demande	-1.875 (0.635)	***	-1.748 (0.626)	***	-3.607 (4.288)	
Constante	15.592 (6.144)	**	14.822 (6.051)	**	34.32 (1797.884)	
Nombre d'observations	193		193		193	

Note:

La variable dépendante est le nombre annuel total de brevets soumis (colonne « Tous »), le nombre de brevets autres que dans le domaine des énergies renouvelables (colonne « Autres »), et la différence entre les deux (colonne « Verts »). Ces trois équations ont été estimées avec un effet-firme aléatoire. '***', '**', '*' signifie que le coefficient estimé est significativement différent de zéro au seuil de 1%, 5% et 10%, respectivement. Entre parenthèses se trouvent les erreurs types.

Il semblerait donc que, au niveau des utilités électriques en Europe, les réformes ont été favorables en termes de soumission de brevets dans le domaine des énergies renouvelables. Ce résultat ne s'oppose pas à ceux de Sanyal et Gosh (2010) et de Sanyal (2007) au Etats-Unis puisque dans le premier papier les auteurs considèrent un échantillon d'équipementiers. Dans le second, l'auteur s'intéresse bien aux utilités électriques mais la variable d'innovation est la R&D environnementale, non les soumissions de brevets. La plus faible concurrence que l'on observe en Europe dans le secteur de l'énergie électrique, essentiellement dû au fait que de nombreux pays ont retardé l'ouverture de leur secteur, pourrait être la principale raison expliquant notre résultat.

L'ampleur du coefficient estimé devant la variable R&D est faible (colonne 1) et pas significatif dans le cas des brevets autres que verts (colonne 2). En revanche, ce coefficient,

proche de 0,6 est significatif dans l'équation des brevets verts (colonne 3). Il montre un certain avantage pour les firmes qui font plus de R&D.

Pour ce qui concerne l'hypothèse Schumpetérienne, le coefficient devant la variable de capital de connaissance est égale à l'unité (colonnes 1 et 2), et significativement au-dessus de cette valeur dans le cas de l'équation des brevets verts. Ce résultat confirme celui de Johnstone et alii (2008) pour des observations de brevets au niveau firme, bien que dans ce papier, l'auteur étudie l'occurrence de classes technologiques vertes au niveau de pays. L'avantage de taille est donc présent pour les activités de recherche liée à l'environnement.

La variable de diversité technologique n'est significative dans aucune des équations. Dans l'équation pour l'ensemble des brevets, la probabilité critique vaut 0,161, ce qui suggère que les utilités électriques qui innovent sont plutôt celles dont la spécialité dans certaines classes technologiques est plus grande (faibles diversification technologique).

Il n'est pas surprenant de constater que la variable opportunités technologiques a un effet positif dans toutes les équations. Ainsi plus un pays innove, plus il offre un environnement riche en connaissance qui soutiennent les activités d'innovation dans des industries particulières. Ce résultat est cohérent avec celui de Salies (2010) lorsque l'innovation est mesurée par les dépenses de R&D.

Le coefficient devant la variable mesurant le mix énergétique est, au contraire de notre hypothèse, négatif pour les colonnes 1 et 2. Le résultat de l'équation pour les brevets verts n'est pas surprenant pour un pays comme la France où la production d'électricité provient majoritairement de centrales nucléaires et hydroélectriques qui, elles, n'émettent pas de CO₂. Le besoin d'innover dans le domaine des énergies propres est moins grand dans ce type de pays. En revanche, concernant l'équation des brevets autres que verts, la seule interprétation que nous pouvons donner est que, sur la période couverte par l'échantillon, la part *relative* de la production à partir de ressources énergétiques polluantes suit une tendance opposée à celle du nombre annuel de soumissions de brevets dans ces énergies.⁷

Les résultats concernant le rôle de la demande sont similaires, avec un coefficient négatif dans les deux premières équations et non significatif dans l'équation des brevets verts.⁸ Nous pouvons adopter l'argument suggéré par Johnstone et alii (2008) pour comprendre l'absence d'effet dans cette dernière équation. Notons auparavant que ces auteurs utilisent la consommation d'électricité comme variable de demande et qu'ils s'intéressent à l'innovation dans différentes classes technologiques vertes. Ces auteurs ne trouvent un effet de la variable de demande que pour l'une de ces classes. Leur argument est que les politiques visant à promouvoir l'utilisation de ressources renouvelables sont souvent menées en parallèle de celles visant à accroître l'efficacité énergétique en réponse à l'augmentation de la demande. L'accroissement de l'efficacité des centrales existantes permet, en effet, d'augmenter leur taux d'utilisation. Concernant le signe négatif du coefficient dans les deux autres équations, nous pouvons donner une autre interprétation qui vient d'ailleurs renforcer la précédente. L'innovation dans le domaine de la production d'électricité serait davantage le fruit d'efforts des pays moins riches qui essaient de rattraper les plus riches.

5. Conclusion et extensions

Cet article montre que dans le cas de l'Europe, les réformes visant à libéraliser le secteur de l'énergie électrique ont eu un effet asymétrique sur l'innovation. L'innovation

⁷ Notons qu'étant donné que les soumissions de brevets verts ne sont pas affectées par la variable de mix énergétique, le résultat pour l'équation dans laquelle tous les brevets sont agrégés reflète celui de l'équation des brevets autres que verts (les deux coefficients sont presque identiques, -0,060 et -0,056).

⁸ Notons que Sanyal et Gosh (2008) ne trouvent pas d'effet du PIB sur l'innovation des équipementiers.

environnementale a bénéficié de la libéralisation des marchés de l'énergie, alors que les autres activités de recherches ont pâti de celle-ci. Ce résultat peut s'expliquer d'une part par le fait que l'innovation environnementale s'est faite au détriment de l'innovation dans le domaine de la production à partir d'énergies fossiles (y compris le nucléaire).

Parmi les extensions possibles de notre modèle, il serait intéressant d'élargir l'échantillon aux équipementiers du secteur, nous permettant ainsi de travailler avec un plus grand nombre de brevets. Toujours en suivant ces auteurs, nous pourrions également inclure un indice du prix relatif des énergies fossiles pour tester l'hypothèse d'innovation induite (*Price-induced innovation*) dans le domaine des énergies vertes. L'idée est qu'une augmentation de ce prix pourrait avoir accru l'incitation à innover dans ce domaine. Il serait également intéressant, sinon nécessaire, d'envisager d'incorporer une variable des dépenses gouvernementales en matière de R&D environnementale, voire des subventions dans ce domaine en faveur des utilités électriques. En suivant l'approche de Johnstone et alii (2008), nous pourrions dans un premier temps considérer le rôle des différentes politiques gouvernementales visant à encourager l'innovation dans le domaine des énergies renouvelables.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une recherche financée par le Conseil Français de l'Energie, contrat CFE – 52. Une version antérieure fut présentée à la journée d'études « Du marché électrique décentralisé à l'oligopole vertical – Enjeux pour les politiques de concurrence et la régulation sectorielle », organisée le 9 novembre 2009 par le GREDEG – CNRS, l'OFCE et le Gis LARSEN, avec le soutien du Conseil Français de l'Energie. Nous remercions les participants à cette journée pour leurs commentaires.

Bibliographie

- Arundel, A., Kemp, R., 2009, Measuring eco-innovation, United Nations University Working Paper Series, No. 2009-017.
- Blacconière, W., Johnson, M., Johnson, M., 2000, Market valuation and deregulation of electric utilities, *Journal of Accounting and Economics*, Vol. 29, No. 2, pp. 231–260.
- Cohen, W., Klepper, S., 1996, A reprise of size and R&D, *Economic Journal*, Vol. 106, No. 437, pp. 925–951.
- Commission of the European Communities, 2007, IP/07/1215: Commission launches public consultation on sustainable consumption and production and sustainable industrial policy, <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1215&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>, dernier accès: octobre 2009.
- Defeuilley, C. 1999, Competition and public service obligations: regulatory rules and industry games, *Annals of Public and Cooperative Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 25–48.
- Del Monte, A., Papagni, E., 2003, R&D and the growth of firms: empirical analysis of a panel of Italian firms, *Research Policy*, Vol. 32, No. 6, pp. 1003–1014
- Dhrymes, P., Kurz, M., 1964, On the dividend policy of electric utilities, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 46, No. 1, pp. 76–81.
- Eurostaf, 2005, Les stratégies de développement des compagnies européennes d'électricité, Vol. 1, Analyses et Conclusions, Collection Perspectives stratégiques et financières.
- General Accounting Office, 1996, Changes in electricity-related R&D funding, GAO/RCED-96-203 Federal Research, <http://www.gao.gov/archive/1996/rc96203.pdf>, dernier accès: octobre 2009.
- Hall, B., Foray, D., Mairesse, J., 2007, Pitfalls in estimating the returns to corporate R&D using accounting data, First Conference on Knowledge for Growth, October 8–9, 16pp.

- Horbach, J., 2008, Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources, *Research Policy*, Vol. 37, No. 1, pp. 163–173.
- Jamasb, T., Pollitt, M., 2009, Electricity sector liberalisation and innovation: an analysis of the UK patenting activities. Document de travail CWPE 0902 & EPRG 0901.
- Jamasb, T., Pollitt, M., 2008, Liberalisation and R&D in network industries: the case of the electricity industry, *Research Policy*, Vol. 37, No. 6–7, pp. 995–1008.
- Johnstone, N., Hascic, I., Popp, D., 2008, January, Renewable energy policies and technological innovation: evidence on patent counts. Document de travail du NBER, No. 13760.
- Jolink, A., Niesten, E., 2007, Governance transformation through regulations in the electricity sector: the Dutch case, *International Review of Applied Economics*, Vol. 22, No. 4, pp. 499–508.
- Margolis, R., Kammen, D., 1999, Underinvestment: the energy technology and R&D policy challenge, *Science, Energy—Viewpoint*, No. 285, pp. 690–692.
- Markard, J., Truffer, B., Imboden, D., 2004, The impacts of market liberalization on innovation processes in the electricity sector, *Energy & Environment*, Vol. 15, No. 2, pp. 201–214.
- Nelson, R., Wolff, E., 1997, Factors behind cross-industry differences in technical progress, *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 8, No. 2, pp. 205–220.
- Nesta, L., Saviotti, P., 2005, Coherence of the knowledge base and the firm's innovative performance: evidence from the U.S. pharmaceutical industry, *Journal of Industrial Economics*, Vol. 53, No. 1, pp. 123–142.
- Salies, E., 2010, A test of the Schumpeterian hypothesis in a panel of European electric utilities, Edward Elgar, in *Innovation, Economic Growth and the Firm: Theory and Evidence of Industrial Dynamics*, Gaffard, J.-L., Salies, E. (éd.).
- Salies, E., 2010, A measure of switching costs in the GB electricity retail market. Document de travail du GRJM, No. 2005-9.
- Sanyal, P., 2007, The effect of deregulation on environmental research by electric utilities, *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 31, No. 3, pp. 335–353.
- Sanyal, P., Cohen, L.R., 2009, Powering progress: restructuring, competition, and R&D in the U.S. electric utility industry, *Energy Journal*, Vol. 30, No. 2, pp. 41–80.
- Sanyal, P., Gosh, S., 2010, Product market competition and upstream innovation: theory and evidence from the US electricity market deregulation, *Review of Economics and Statistics*, à paraître.
- Wilder, R.P., Stansell, S.R., 1974, Determinants of research and development activity by electric utilities, *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 646–650.