

**CREDEN**

*CAHIERS DE RECHERCHE*

**DEREGULATION ET R&D DANS LE SECTEUR  
ENERGETIQUE EUROPEEN**

Olivier GROSSE

Benoît SEVI

Cahier N° 05.07.59

vendredi 8 juillet 2005

*Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie  
CREDEN - Equipe du LASER*

Université de Montpellier I  
Faculté des Sciences Economiques -C.S. 79606  
34960 Montpellier Cedex 2, France  
Tel. : 33 (0)4 67 15 83 74  
Fax. : 33 (0)4 67 15 84 04  
e-mail : benoit.sevi@univ-montp1.fr

# Dérégulation et R&D dans le secteur énergétique européen

**Olivier GROSSE**

CRIEF-TEIR, Faculté de Sciences Economiques, 93 avenue du Recteur Pineau, BP 623, 86022 Poitiers cedex, France. Phone: +33 5 49 45 48 14. Email: olivier.grosse@univ-poitiers.fr

**Benoît SÉVI**

LASER-CREDEN, Faculté de Sciences Economiques, Av. de la Mer, Site de Richter, CS 79606, 34960 Montpellier cedex 2, France. Phone: +33 4 67 15 83 74. Email: benoit.sevi@univ-montp1.fr

**Résumé :** On ne peut douter du caractère nécessairement innovant de l'activité énergétique aujourd'hui, en réponse à la question de plus en plus d'actualité du *développement durable*. Le protocole de Kyoto (1997) a accentué cette contrainte en fixant des objectifs chiffrés de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Or depuis le milieu des années 1980, on assiste à une baisse très sensible, plus encore en Europe, des budgets publics alloués à la R&D énergétique. Dans le même temps, la dérégulation des activités de réseau au niveau européen, et la restructuration des secteurs de l'énergie qui s'en est suivie, a amené les entreprises à réduire significativement leurs investissements en R&D. Associée à la hausse des dépôts de brevets, la baisse des budgets privés marquerait la restructuration de l'activité de R&D du secteur vers des projets appliqués et de plus court terme (Dooley, *Energy Policy* 26, 1998).

Quelles peuvent être les conséquences de l'évolution des efforts privés et publics de R&D dans le secteur énergétique sur la production de nouvelles connaissances techniques ? Les gouvernements ont-ils réagi à cette restructuration de la R&D par la mise en place de mesures incitatives spécifiques ? Nous soutiendrons que la restructuration de la R&D énergétique privée, même si elle peut accroître l'efficacité de l'activité de R&D à court terme, risque à long terme de ralentir la production de nouvelles connaissances techniques. Nous étudierons si des mesures incitatives spécifiques, destinées à corriger la tendance actuelle de la R&D énergétique, ont été mises en place par les principaux pays européens.

**Mots-clés:** Dérégulation, Budgets de R&D, Brevets, Politique Publique d'Innovation, Connaissances Technologiques, Gaz, Électricité.

**Classification JEL:** O30, P43, Q48.

Nous tenons à remercier Yannick Payen de la Salle et Jacques Percebois, ainsi que les participants au séminaire du CRIEF (Université de Poitiers) pour leurs commentaires pertinents. Toute erreur ou omission serait bien sûr de notre fait.

# 1 Introduction

Sur l'exemple anglo-saxon, les secteurs énergétiques anciennement régulés des pays européens durent être ouverts à la concurrence suite aux directives européennes de décembre 1996<sup>1</sup> pour l'électricité et de juin 1998<sup>2</sup> pour le gaz<sup>3</sup>. L'impact négatif sur l'incitation à investir, que semble provoquer la déréglementation des marchés de l'électricité et du gaz, fut uniquement étudié à partir de la comparaison des niveaux d'investissements tangibles (principalement en capacité de génération)<sup>4</sup>. Mais l'étude des conséquences de la dérégulation sur les investissements en R&D fut délaissée à quelques exceptions près<sup>5</sup>.

La production de nouvelles connaissances dans le domaine énergétique est aujourd'hui un sujet d'autant plus sensible que la communauté internationale toute entière est confrontée au double défi d'une croissance soutenue de la demande d'énergie sous une contrainte de développement durable, autrement dit de *croissance soutenable* de la consommation d'énergie. La question du réchauffement climatique en elle-même nécessite, en vertu du principe de précaution<sup>6</sup>, de réduire le niveau des émissions de gaz à effet de serre (GES) dont la branche énergétique est en grande partie la source. Les objectifs que les États se sont fixés individuellement ou collectivement, lors de la manifestation de Kyoto (1997), rendent indispensable le recours à des procédés non encore à ce jour économiquement exploitables, ou tout simplement non encore matures techniquement.

Dans cette perspective, comment, durant les quinze dernières années, ont évolué les efforts privés et publics de R&D dans le secteur énergétique ? Une analyse des rapports financiers des principales entreprises concernées montre que les investissements privés en R&D furent réduits à des fins d'amélioration de la rentabilité à court terme des firmes. En effet, pour nombre d'experts, le futur marché européen de l'énergie devrait s'apparenter dans quelques années à un oligopole à 4 ou 5 acteurs. Dans cette optique, la rentabilité des entreprises est primordiale afin de séduire les investisseurs, lever des liquidités et ainsi acquérir, par des phases successives de croissance externe, la *taille critique*<sup>7</sup> souhaitable. La question se pose alors des conséquences à long terme sur la production de connais-

---

<sup>1</sup>Directive 96/92/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 décembre 1996 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité.

<sup>2</sup>Directive 98/30/CE du Parlement Européen et du Conseil du 22 juin 1998 concernant des règles communes pour le marché intérieur du gaz naturel.

<sup>3</sup>Percebois [49] et Polo et Scarpa [52] développent les principales questions attenantes au processus de dérégulation. Polo et Scarpa [52] fournissent notamment l'état d'avancement selon les pays à la fin 2003. A noter que les deux directives initiales ont été récemment actualisées en raison du retard pris par certains pays dans le processus d'ouverture. Les nouvelles directives 2003/54/EC et 2003/55/EC du 26 juin 2003 respectivement pour l'électricité et le gaz fixent au 1er juillet 2004 l'ouverture totale aux consommateurs industriels, et au 1er juillet 2007 l'ouverture totale aux consommateurs individuels pour tous les pays de l'Union.

<sup>4</sup>Averch et Johnson [2] ont montré qu'un monopole a intérêt à développer une capacité de production excédentaire, notamment pour se prémunir de nouvelles entrées sur le marché. La libéralisation et les privatisations qui s'ensuivent – Newbery [47] discute les deux phénomènes – doivent permettre de juguler ce phénomène. Mais se pose alors le problème de l'incitation à l'investissement dans un contexte dérégulé (voir Bushnell et Stoft [8], Biglaiser et Chin-To [3] et Kirsch et Rajesh [33] parmi d'autres, et plus récemment Finon *et al.* [21].) où les firmes sont soumises à des incertitudes multiples.

<sup>5</sup>Dooley [14] et Margolis et Kammen [40] font exception.

<sup>6</sup>Pour une formalisation économique, voir Gollier *et al.* [24], Treich [60] et Gollier et Treich [25].

<sup>7</sup>Augmenter la taille de l'entreprise permet de réduire la probabilité d'être absorbé par un concurrent. C'est une phase de "prédation" ou stratégie de croissance externe.

sances technologiques d'un désengagement même temporaire du secteur privé dans l'activité de R&D énergétique. De surcroît, les budgets publics de R&D furent réduits sur la même période d'observation. Si l'on considère les dépenses publiques et privées de R&D comme étant complémentaires, quels types de mesures incitatives nationales ou internationales pourraient permettre d'endiguer le recul des efforts privés et publics de R&D dans le secteur énergétique ? Le délaissement de la part du décideur public de la R&D énergétique ne risque-t-il pas d'accentuer ou au contraire de renouveler la régionalisation de la R&D énergétique en Europe ?

Dans la section 2, nous revenons sur la nécessité de la R&D dans le secteur énergétique du fait de la contrainte de développement durable, et relevons les spécificités de l'innovation dans le secteur. La section 3 traite de la restructuration de la R&D privée dans le secteur énergétique, consécutive à la déréglementation, et marquée par la réduction des budgets privés de R&D et l'augmentation des dépôts de brevets. En fin de section, nous proposons une analyse des conséquences potentielles à court et surtout à long terme de la baisse des budgets de R&D sur la production de connaissances technologiques. Le principal risque identifié serait que les entreprises du secteur favorisent les stratégies d'exploitation de leurs ressources et connaissances existantes au détriment des stratégies d'exploration de nouvelles opportunités technologiques, accentuant ainsi les phénomènes de *lock-in* technologiques. Dans la section 4, nous rappelons que la question de la substituabilité ou complémentarité des dépenses publiques et privées de R&D reste posée. Nous constatons ensuite la baisse généralisée des budgets publics de R&D énergétique, et étudions l'évolution des politiques publiques d'incitation dans le secteur. Nous nous interrogeons enfin sur l'accentuation ou le renouvellement possibles de la régionalisation de la R&D énergétique qui pourrait découler des nouvelles politiques publiques d'incitation mises en œuvre. La section 5 conclut.

## 2 Nécessité et spécificités de l'innovation dans le domaine de l'énergie

La nécessité de l'innovation dans le secteur de l'énergie provient essentiellement de la contrainte de développement durable. Les spécificités de l'innovation dans le secteur énergétique tiennent à la concomitance d'innovations de procédés incrémentales et radicales.

### 2.1 La problématique du développement durable dans le secteur de l'énergie et ses conséquences en termes de choix technologique

En 1997, un nombre significatif de nations, auquel se sont malheureusement exclus quelques grands pollueurs<sup>8</sup> (États-Unis, Chine, Australie) ont ratifié en 1997 le protocole de Kyoto. Ces nations se sont

---

<sup>8</sup>Le protocole de Kyoto, initié en 1997, permet aux pays d'adhérer de façon progressive, c'est à dire quand ils le souhaitent et à des degrés divers. On dresse un état des lieux concernant ce traité en classant les pays selon 5 catégories, caractérisant leur niveau d'implication : (1) La signature, (2) L'accession, (3) L'approbation, (4) L'acceptation et (5) La

engagées à satisfaire à un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (voir tableau 1) en rapport avec leur niveau d'émissions de 1990. Certains pays peu émetteurs peuvent donc augmenter significativement leurs émissions (25% pour la Grèce par exemple). Si de tels engagements traduisent la bonne volonté de la grande majorité des pays industrialisés, les objectifs risquent de ne pas être atteints dans certains cas. La quantité d'émissions liées à la combustion des ressources fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel) représente environ 80% du total des émissions de gaz à effet de serre. Le secteur énergétique doit donc occuper une place centrale dans la réflexion concernant le développement durable, et les efforts de R&D dans ce secteur apparaissent comme déterminants.

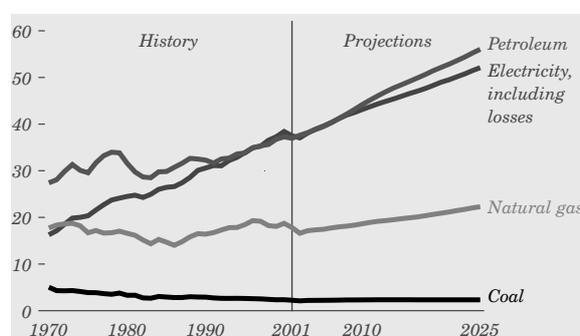
**Table 1**

Objectifs à l'horizon 2008-2012 pour les pays de l'AIE

Pays	Engagement	Pays	Engagement	Pays	Engagement
Allemagne	-21%	Finlande	0%	Luxembourg	-28%
Autriche	-13%	France	0%	Pays-Bas	-6%
Belgique	-7,5%	Grèce	+25%	Portugal	+27%
Danemark	-21%	Irlande	+13%	Suède	+4%
Espagne	+15%	Italie	-6,5%	Royaume-Uni	-12,5%

Source : Agence Internationale de l'Énergie, 2002

Outre d'être nécessaires dans la perspective du développement durable sur lequel le protocole de Kyoto met l'accent, des choix technologiques audacieux sont également indispensables si l'on souhaite assurer une sécurité acceptable de l'approvisionnement en énergie d'un ensemble de plus en plus large d'individus. Les records atteints fin 2004 sur les marchés *spot* pétroliers de Londres et de New York<sup>9</sup> ont démontré les insuffisances de l'offre sur un marché en pleine croissance.



Source : DOE-EIA

**Figure 1**

Prévisions de l'évolution de la consommation mondiale d'énergie selon les types d'énergie

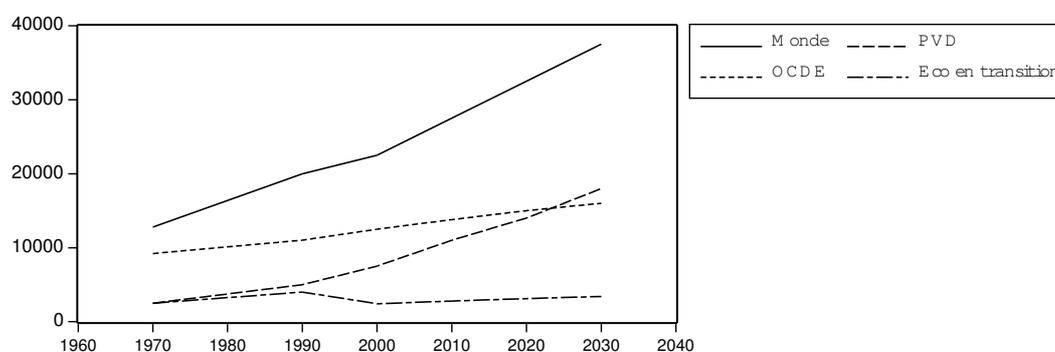
ratification ; seule cette dernière ayant réellement une valeur. Les États-Unis ont signé le traité le 12/11/1998 mais ne se sont plus engagés dès lors. De même pour l'Australie, qui a signé pourtant dès le 24/04/1998. La Chine a signé le 29/05/1998 et approuvé le 30/08/2002, mais pas encore ratifié ; c'est ce qu'a fait très récemment la Russie (17,4% des émissions des pays signataires à l'heure actuelle) le 18/11/2004, après avoir signé presque 6 ans plus tôt, le 11/03/1999.

<sup>9</sup>Le prix du baril de Brent a atteint 51,94 US\$ à Londres le 27 octobre 2004, et le prix du baril de WTI 55,67 US\$ à New-York le 22 octobre de la même année.

Les projections concernant le niveau de consommation mondiale d'énergie (voir graphique 1) laissent présager de tensions à venir encore plus fortes sur les marchés énergétiques. Le désajustement entre offre et demande ne pourra alors être comblé qu'à un prix élevé, ce qui écartera notamment de l'accès à l'énergie un nombre encore plus élevé d'individus.

Les niveaux d'émissions de dioxyde de carbone correspondant à ces prévisions sur l'évolution de la consommation est illustrée dans le graphique 2.

Selon l'UNESCO, environ 2 milliards d'individus n'ont pas encore un accès régulier à l'électricité. Même si sa production est polluante, l'énergie électrique est reconnue comme un facteur de développement et d'hygiène incontournable, en raison notamment de ses applications dans les domaines alimentaire et médical. La communauté internationale est donc confrontée à un dilemme *accessibilité-pollution* qui rend indispensable le recours à des technologies nouvelles moins polluantes de production énergétique de masse, mais également aux nouvelles technologies concernant la maîtrise de la consommation, le stockage et le transport d'énergie.



Source : OCDE/AIE 2002, Paris

**Figure 2**

Prévisions de l'évolution du niveau d'émissions de dioxyde de carbone (émissions liées à l'énergie)

Les politiques de R&D énergétique ne doivent donc pas se limiter à proposer des solutions afin de garantir une offre énergétique suffisante face à la croissance de l'économie mondiale<sup>10</sup>. Elles doivent également intégrer une dimension sanitaire au sens large, en ce qu'elles engagent la responsabilité des décideurs quant à l'évolution de l'état de notre planète, et une dimension géopolitique en ce qu'elles doivent permettre de réduire – ou du moins ne pas aggraver – la fracture Nord-Sud en termes d'accès à l'énergie.

<sup>10</sup>Wiener [62] compare le défi technologique de la réduction des émissions de GES aux plus grandes questions technologiques de l'après-guerre (nucléaire, vols supersoniques, additifs alimentaires, etc...). Mais dans le cas des GES apparaît une obligation de résultat.

## 2.2 La diversité et les spécificités du changement technologique dans le secteur énergétique

Au cours des dernières décennies, le changement des technologies de l'énergie s'est manifesté dans l'ensemble des étapes de la chaîne d'exploration et de transformation des diverses sources d'énergie en services énergétiques : exploration, extraction et transport des ressources fossiles, exploitation des sources d'énergie renouvelables, conversion des sources primaires en sources d'énergie secondaire, et conversion des sources secondaires en services énergétiques. *Les produits des marchés de l'énergie ayant peu évolué, les innovations ont avant tout concerné les procédés.* L'appréhension en termes de régimes technologiques entrepreneurial ou routinier<sup>11</sup> (voir Winter [64]) est contrariée par le mélange d'innovations radicales et incrémentales<sup>12</sup> selon les filières et les étapes de transformation des ressources énergétiques en services énergétiques. Par exemple, alors que les innovations de procédé furent de nature incrémentale dans les filières du charbon minéral et de l'uranium, on assista au renouvellement complet des procédés d'exploration-production dans l'industrie pétrolière et gazière entre la fin des années 60 et les années 80. Autre exemple, concernant les technologies d'exploitation des ressources renouvelables, les innovations furent pour la plupart incrémentales, reposant sur des trajectoires anciennes (géothermie, hydroélectricité, chauffage solaire, aérogénérateurs). Néanmoins quelques innovations radicales sont à noter (telles que l'usine marémotrice de la Rance). Des exemples similaires sont également disponibles concernant la conversion des sources d'énergie primaires en sources secondaires puis en services énergétiques<sup>13</sup>.

La section 2 a permis de souligner la nécessité de la R&D énergétique, en particulier du fait de la contrainte de développement durable. Les sections suivantes vont révéler le délaissement de la R&D dans le secteur de l'énergie par le secteur privé, mais également par le secteur public.

## 3 Les conséquences de la déréglementation du secteur énergétique sur l'activité d'innovation des firmes européennes

Pour les industries énergétiques de réseau, consécutivement à la déréglementation du secteur, la rationalisation de la R&D privée est marquée par une réduction sensible des budgets privés de R&D et par une hausse concomitante, elle aussi significative, des dépôts de brevets dans ce domaine. Les conséquences potentielles à long terme de cette rationalisation de la R&D privée sur la production de connaissances technologiques sont envisagées en fin de section.

---

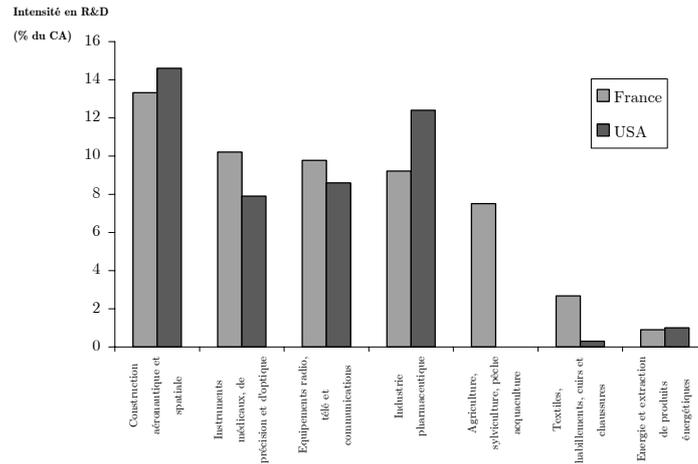
<sup>11</sup>Les deux régimes technologiques identifiés par S.G. Winter (1984) s'appuient sur les deux grands modèles schumpeteriens de l'entreprise capitaliste innovante : le régime entrepreneurial renvoie aux innovations radicales créées par l'entrepreneur et mises en oeuvre par ce dernier dans de petites entreprises (Schumpeter, 1935). Le régime routinier renvoie au processus routinier d'innovations (incrémentales) des grandes entreprises oligopolistiques, organisé dans des services de R&D (Schumpeter 1951).

<sup>12</sup>Pour une définition de ces deux concepts, voir Freeman [22].

<sup>13</sup>Pour une revue des principaux changements technologiques dans le secteur de l'énergie, voir Martin [41].

### 3.1 La baisse des budgets privés de R&D dans le secteur énergétique

Au préalable de l'analyse des effets de la déréglementation du secteur énergétique sur les efforts de R&D des firmes du secteur, il convient de rappeler que les principaux secteurs de l'économie montrent des niveaux de dépenses en R&D très différents, comme le montre le graphique 3. Le secteur énergétique est un des secteurs pour lequel la part des dépenses de R&D dans le chiffre d'affaire est la plus faible, il semble par conséquent appartenir aux secteurs de basse ou moyenne technologie<sup>14</sup>.



Source : NSF [50] et [51] et Ministère de l'Industrie (SESSI)

**Figure 3**

Niveaux de R&D selon les types d'industries en pourcentage du chiffre d'affaires pour la France et les États-Unis (2003)

La théorie économique ne dit pas si l'intensité technologique d'un secteur conditionne ou non les effets sur le niveau de R&D en cas d'intensification de la concurrence<sup>15</sup>. Cependant les politiques de libéralisation, et subséquemment les choix de régulation mis en place, semblent avoir une influence non seulement sur la structure de l'industrie (cf. Geroski [23]) mais aussi sur le niveau d'engagement des agents en termes de politique d'innovation. Considérant que le secteur énergétique est un secteur de moyenne technologie<sup>16</sup>, Margolis et Kammen [40] insistent sur le fait que la grande faiblesse des dépenses de R&D dans le chiffre

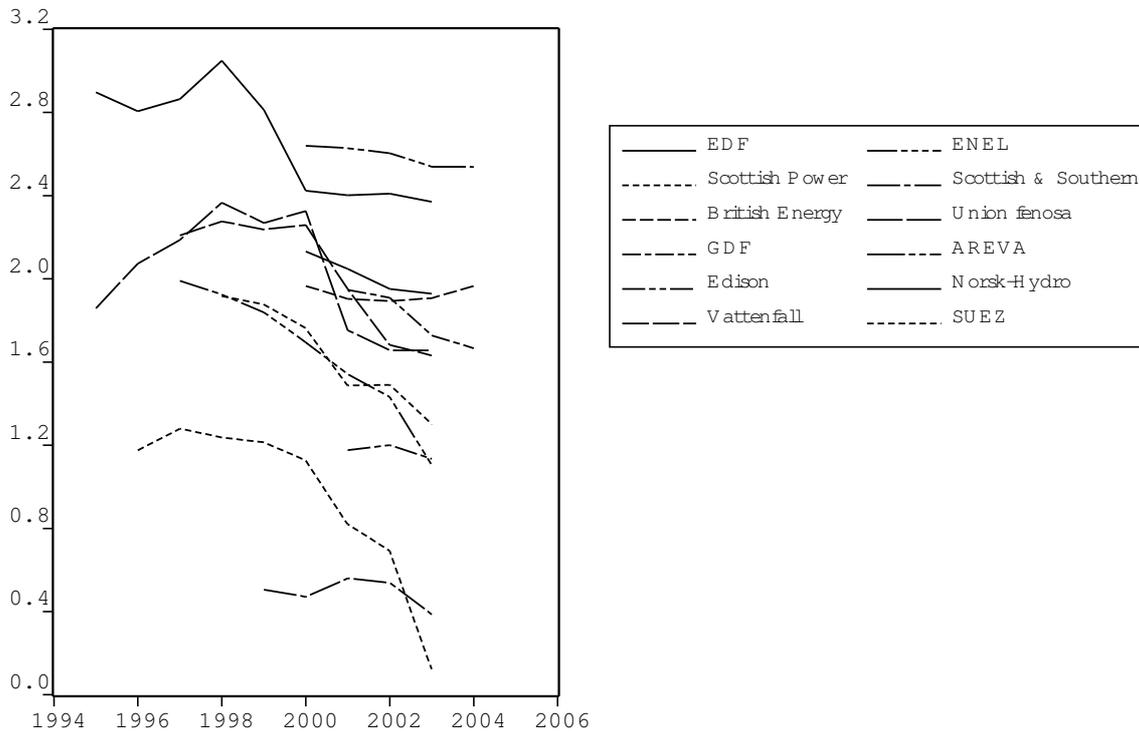
<sup>14</sup>La *National Science Foundation* [51] classe les activités en 4 catégories : les industries à haute technologie (spatial, aviation, pharmaceutique, informatique, instruments de précision médicaux et optiques) avec une part du CA en R&D entre 8 et 14%, les industries à moyennement haute technologie (machines électriques, moteurs, chimie, rail) qui consacrent entre 2 et 4% du CA à la recherche, les industries à moyennement basse technologie (coke, plastiques, métaux basiques,...) dont l'énergie fait partie avec environ 1% du CA pour la R&D et les industries basses technologies (bois, papier, tabacs, textiles, cuirs, imprimerie,...). Margolis et Kammen [40] considèrent l'énergie comme une activité à moyennement haute technologie, mais qui n'investirait pas assez dans la recherche. Les chiffres semblent la rattacher plutôt à la catégorie inférieure (moyennement basse technologie). Toutefois, les catégories n'étant pas, comme nous l'avons précisé, strictement définies, ce point de vue est discutable.

<sup>15</sup>Voir Griffith [27] notamment, ou Reinganum [53] et Cohen et Levin [9] pour des revues de la littérature. On peut cependant citer des études empiriques qui vont dans le sens d'une stimulation de la R&D par la concurrence (Geroski [23] et Blundell et al. [6] entre autres).

<sup>16</sup>"Since technology plays such a critical role in finding, transforming and exploiting energy, especially in an environmentally sound manner, we would expect the energy sector to be at least some where in the middle" (Margolis et Kammen [40] p.580).

d'affaire rend compte du sous-investissement en R&D dans ce secteur. N'étant pas un secteur de haute technologie, la concurrence que se livrent les entreprises du secteur énergétique ne semble donc pas être de nature très "schumpeterienne". Dans cette perspective, l'intensification de la concurrence produite par la déréglementation du secteur énergétique risque moins de stimuler la capacité d'innovation des entreprises du secteur, que de les inciter à rechercher la maîtrise des coûts de gestion, donc à réduire leurs dépenses de R&D comme le soutient Dooley [14].

### 3.1.1 La réduction des budgets de R&D des principales entreprises énergétiques européennes



**Figure 4**  
Evolution de l'intensité technologique des principales sociétés européennes (hors pétrole)

Nous avons réuni dans le tableau 2 les budgets de R&D et l'intensité technologique<sup>17</sup> des principales entreprises énergétiques européennes (hors pétrole)<sup>18</sup>. Dans la quasi-totalité des cas, les budgets alloués à la R&D sont en chute très nette, à la fois en valeur absolue mais aussi et surtout rapportés au chiffre

<sup>17</sup>C'est-à-dire le ratio [Budget de R&D / Chiffre d'affaires] de l'entreprise.

<sup>18</sup>Nous n'avons pas retenu les deux géants européens de l'énergie que sont Eon et RWE. Tout d'abord ces entreprises ont participé à un nombre significatif de fusions-acquisitions sur la période considérée. En outre elles sont des producteurs multi-services (électricité, gaz, eau, déchets, numérique, chimie,...). Une analyse de leurs budgets de R&D dans le domaine énergétique (leur activité de base) nécessiterait de disposer de la répartition précise de leur budget de R&D, qui n'est pas disponible à notre connaissance.

**Table 2**

Budgets de R&amp;D, chiffres d'affaires et intensité technologique des principales sociétés énergétiques européennes (hors pétrole)

Société	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995
<b>EDF</b>										
R&D (m€)		381	432	454	466					
CA (m€)		44919	48359	40716	34424	32042	29494			
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,84</b>	<b>0,89</b>	<b>1,12</b>	<b>1,35</b>					
<b>Scottish Power</b>										
R&D (m£)	0,2	0,7	3,1	4,2	5,5	5,3	5,4	5,6	3,4	
CA (m£)	5000	5274	6314	6349	4115	3242	3128	2941	2271	
ratio (R&D/CA) (%)	<b>0,004</b>	<b>0,013</b>	<b>0,049</b>	<b>0,066</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>	
<b>British Energy</b>										
R&D (m£)	14	15	16	17	19					
CA (m£)	1516	1862	2049	2124	2058					
ratio (R&D/CA) (%)	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	<b>0,92</b>					
<b>GDF</b>										
R&D (m€)	44(S1)	89	118	127						
CA (m€)	9503(S1)	16647	14546	14357	11211					
ratio (R&D/CA) (%)	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>	<b>0,81</b>	<b>0,88</b>						
<b>Edison</b>										
R&D (m€)		7	7	6						
CA (m€)		5141	4418	4000	2397	1468	1314	1303		
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,14</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>						
<b>Vattenfall</b>										
R&D (mSEK)		478	486	616	574	479	527	460		
CA (mSEK)		111935	101025	69003	31695	27754	27957	28458		
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>0,89</b>	<b>1,81</b>	<b>1,73</b>	<b>1,89</b>	<b>1,62</b>		
<b>Enel</b>										
R&D (m€puis MLir 2000)		40	81	100	240	280	350	410		
CA (m€puis MLir 2000)		31317	29977	28781	48618	40584	41711,9	41918,3		
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,13</b>	<b>0,27</b>	<b>0,44</b>	<b>0,49</b>	<b>0,69</b>	<b>0,84</b>	<b>0,98</b>		
<b>Scottish and Southern</b>										
R&D (m£)		1	1,4	1,3	0,9	0,9				
CA (m£)		4113,6	4056	3585,6	3047,9	2809,2				
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>				
<b>Union Fenosa</b>										
R&D (m€puis MPes 2000)		25,1	26,4	30,8	12,473	9,505	7,117	5,423	4,005	2,501
CA (m€puis MPes 2000)		5560	5831	5442	590,0	512,6	306,8	352,6	339,0	346,9
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,45</b>	<b>0,45</b>	<b>0,57</b>	<b>2,11</b>	<b>1,85</b>	<b>2,32</b>	<b>1,54</b>	<b>1,18</b>	<b>0,72</b>
<b>Areva (ex CEA)</b>										
R&D (m€)	184(S1)	285	332	377	394					
CA (m€)	5339(S1)	8255	8265	8902	9041					
ratio (R&D/CA) (%)	<b>3,4463</b>	<b>3,4525</b>	<b>4,0169</b>	<b>4,2350</b>	<b>4,3579</b>					
<b>Suez</b>										
R&D (m€)		79	126	130	200	191,3	172,9			
CA (m€)		39622	40784	42359,2	34617	25441	20948			
ratio (R&D/CA) (%)		<b>0,20</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,58</b>	<b>0,75</b>	<b>0,83</b>			
<b>Norsk-Hydro</b>										
R&D (mNOK)		850	815	796	898	1043	1044	868	767	703
CA (mNOK)		36264	31745	31534	33840	16092	9330	11875	12010	8917
ratio (R&D/CA) (%)		<b>2,34</b>	<b>2,57</b>	<b>2,52</b>	<b>2,65</b>	<b>6,48</b>	<b>11,19</b>	<b>7,31</b>	<b>6,39</b>	<b>7,88</b>

1. Pour Enel, les budgets 2003 et 2004 intègrent une part liée aux dépenses publicitaires. Calculée sur le budget 2002, cette part représente environ 20% du budget total R&D plus publicité.
2. Pour les entreprises britanniques, les bilans échouant en mars, l'année  $i$  représente les comptes allant de mars de l'année  $i - 1$  à mars de l'année  $i$ .
3. Pour GDF et Areva, S1 signifie que l'on ne dispose que du premier semestre de l'année 2004. Dans ce cas le ratio est effectué comme pour une année complète, sans tenir compte des biais qui pourraient en résulter.

Source : Compte-rendus annuels financiers des entreprises, 2005

d'affaire<sup>19</sup>, comme l'illustre le graphique 4.

Dans certains cas, les budgets sont devenus si minimes (cf. Scottish Power avec 0,004%) que l'on peut considérer l'activité de R&D comme quasiment inexistante. On observe ensuite plusieurs producteurs (EDF, Norsk-Hydro, Vattenfall) pour lesquels les budgets ont été maintenus constants – en valeur nominale néanmoins – alors que les chiffres d'affaires furent multipliés par 3, 4 ou 5. Enfin, pour le reste des producteurs examinés (la majorité), les budgets de R&D ont sensiblement baissé en dépit de chiffres d'affaires globalement en hausse. Dans certains cas (Enel, Eon), la chute brutale du budget de R&D s'explique principalement par l'externalisation de l'activité de recherche-développement. Enel s'est séparé de son département Enel R&D qui appartient désormais au CESI<sup>20</sup> dont elle détient, directement ou par l'intermédiaire de ses filiales, environ 40% du capital. Le CESI réalise aujourd'hui l'ensemble de la recherche système pour l'Italie<sup>21</sup>, même si Enel a conservé sa filiale Conphoebus dédiée à la recherche spécifique concernant les énergies renouvelables (avec un budget de 4,22 millions d'euros). Le géant Eon s'est quant à lui séparé en 2002 de sa filiale dédiée à la recherche, Degussa, afin de dégager les liquidités nécessaires à l'acquisition de Ruhrgas (All.) et de Powergen (R.U.). Rationaliser ou plutôt restreindre l'activité de R&D ne semble pas aujourd'hui être l'exception mais bien la règle. Les motifs de cette ré-orientation des politiques technologiques peuvent se résumer en trois points :

- Favoriser des politiques de croissance externe (nombreuses fusions-acquisitions dans le domaine de l'énergie en Europe ces dernières années);
- Augmenter la compétitivité dans le cadre d'une concurrence en prix afin de maintenir voire d'augmenter les parts de marché;
- Fournir un signal positif aux investisseurs pour pouvoir lever des fonds sur les marchés de capitaux.

Ce dernier point amène d'ailleurs les producteurs à faire valoir ouvertement leurs restrictions budgétaires concernant la recherche-développement plutôt que de les dissimuler. Dans la totalité des rapports financiers annuels des entreprises figurant dans le tableau 2, on annonce se concentrer majoritairement voire uniquement sur la R&D appliquée ou commerciale. Le rapport de Laborelec fournit un exemple représentatif à ce sujet :

En 2003, la libéralisation du marché a atteint son régime de croisière.[...] Nous avons observé l'évolution des besoins de nos partenaires, et nous nous sommes réorganisés en conséquence.[...] Dorénavant, nous en tiendrons compte lorsqu'il s'agira de choisir nos axes de recherche et de développer de nouveaux services.[...] Notre souci de maximiser la valeur ajoutée pour nos clients fut l'un des moteurs de notre réorganisation interne.[...] [ainsi que d'] adapte[r] notre stratégie en conséquence et réajuste[r] notre portefeuille de projets de recherche.[...] Dans le contexte économique actuel, la recherche à long terme est soumise à une pression croissante. Pour l'instant, la plupart des entreprises concentrent leurs efforts sur des projets à court terme, dont le rendement

<sup>19</sup>La prise en compte de ce ratio permet de ne pas tenir compte des effets liés à l'inflation et donc de ne pas transformer les données en euros constants.

<sup>20</sup>*Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano Giacinto Motta SpA.*

<sup>21</sup>Voir les développements à ce sujet dans la section 4.

doit être évident d'emblée.[...] Notre ambition prioritaire est d'offrir à nos clients la chaîne de valeur la plus complète possible<sup>22</sup>.

Pour EDF, le plus important producteur d'électricité européen à ce jour, le budget de R&D était en 1991 de 439 millions d'euros (en nominal), contre seulement 381 millions d'euros en 2003. Même si l'abandon d'activités liées au nucléaire peut expliquer en partie cette chute, elle montre (d'autant plus en valeur rapportée au chiffre d'affaires) un désengagement volontaire de l'activité de R&D énergétique de la part de l'entreprise<sup>23</sup>. Il faut noter toutefois que la majorité du budget de R&D est encore dédiée à l'élaboration de solutions de retraitement des déchets et effluents radioactifs (32,1% en 2002) et non aux développements des nouvelles technologies (seulement 2,6% pour EDF en 2002).

### 3.1.2 La réduction des budgets de R&D énergétique : un premier trait de la rationalisation de l'activité d'innovation

L'analyse de l'évolution des budgets de R&D des principales entreprises européennes semble donc confirmer le premier trait de la restructuration de la R&D consécutive de la déréglementation du secteur américain de l'énergie : l'intensification de la concurrence induite par la déréglementation du secteur européen de l'énergie conduit les entreprises à réduire leur budget de R&D dans une perspective globale de réduction de coûts et de gains d'efficience (Cf. Dooley [14]). C'est une conséquence commune à la dérégulation et à la privatisation d'entreprise<sup>24</sup>, qui ont parfois lieu de concert. La déréglementation du secteur de l'énergie encourage les entreprises à se livrer une concurrence en prix<sup>25</sup>, afin d'établir et de renforcer à court terme leur position sur les marchés. Dans ce cadre, la réduction des budgets de R&D serait plus conséquente dans les industries de basse technologie au sein desquelles la concurrence est peu "schumpeterienne" (Cf. Munari *et al.* [45]), que dans les industries de haute technologie. Dans cette perspective de concurrence en prix, la déréglementation du secteur semble favorable aux consommateurs intermédiaires et finals (du moins à court terme) en ce qu'elle favorise l'émergence de services énergétiques plus "orientés clients", donc plus efficaces<sup>26</sup>, et celle de marchés segmentés plus ciblés élargissant la gamme de choix des demandeurs.

Du côté des entreprises offreuses, la réduction des budgets de R&D (*i.e.* de l'échelle (*scale*) de la R&D) constitue un des premiers aspects d'une rationalisation de la R&D privée. En premier lieu, elle semble s'inscrire dans une logique d'élimination des gaspillages de ressources et de projets de R&D non rentables<sup>27</sup>. En cela, elle est positive pour l'entreprise (et pour la collectivité), à court et long termes, de par sa participation à l'amélioration de l'allocation de ses ressources et à l'augmentation de la rentabilité

<sup>22</sup>Rapport d'activité Laborelec 2003, p 2-3.

<sup>23</sup>EDF a cependant développé ces dernières années des partenariats avec le CNRS notamment (création du laboratoire CISEL pour la filière photovoltaïque) ou avec l'université de Karlsruhe pour la création de l'*European Institute for Energy Research (EiFER)*.

<sup>24</sup>Cf. Munari [44] ou Munari *et al.* pour la privatisation d'entreprises, ou bien encore [61] pour une référence plus générale.

<sup>25</sup>Et de différenciation-produit.

<sup>26</sup>Cf. l'apparition de "super utilities", services énergétiques délivrant des combinaisons de gaz naturel, d'électricité, d'eau, d'eaux usées...

<sup>27</sup>Cf. Dooley [14], p.550 ; Munari [44], p.227, Munari *et al.* [45], p.35, p.48.

de chaque unité monétaire investie en R&D (cf. effets 1A et 1B du graphique 11). En second lieu, la réduction des budgets privés de R&D peut provenir de l’externalisation d’activités de R&D éloignées des activités de base (*core business*) de l’entreprise et susceptibles d’être réalisées de façon plus efficace par des firmes spécialisées<sup>28</sup>. L’abandon de telles activités est positive pour l’entreprise et la collectivité, en ce que celui-ci participe à une organisation “cognitive” plus cohérente de l’industrie (au sens de Dosi, Teece et Winter [19]<sup>29</sup>). Cependant, comme le souligne Munari [44] à propos des privatisations d’entreprises du secteur énergétique, la question cruciale est de savoir si la réduction des budgets privés de R&D répond totalement à cette logique d’élimination d’inefficiences, ou la dépasse en impliquant un resserrement des éventails de projets de R&D vers des projets plus proches des compétences foncières des entreprises et à échéance réduite, d’où des conséquences potentiellement négatives à court terme pour la collectivité (cf. effet 2B du graphique 11). Si tel est le cas, les conséquences à long terme pour l’entreprise et la collectivité risquent d’être négatives (cf. effet 2C du graphique 11).

La section suivante va permettre de vérifier si le second trait de la restructuration de la R&D énergétique privée identifié par Dooley [14] – à savoir l’augmentation des dépôts de brevet – est confirmée dans le cas de déréglementation européenne.

## 3.2 L’augmentation des dépôts de brevets

Alors que les budgets de R&D sont considérés comme l’un des principaux inputs du processus d’innovation, les dépôts de brevets sont habituellement analysés afin de rendre compte de l’output de ce processus. Les insuffisances d’une telle approche furent soulignées notamment par Hall *et al.* [29] et Griliches [28]. Une difficulté supplémentaire sera évoquée dans la section suivante, celle du manque d’uniformité des méthodes de décompte du nombre de brevets déposés.

### 3.2.1 La hausse des dépôts de brevets à l’USPTO et à l’OEB

L’étude de l’évolution du nombre de brevets déposés dans le domaine énergétique est confrontée à un problème de méthodologie. Si l’on reprend celle utilisée par Margolis et Kammen [40]<sup>30</sup> pour l’USPTO<sup>31</sup> et une recherche par classe *ipc*<sup>32</sup> à l’Office Européen des Brevets [48], les tendances observées sont très

<sup>28</sup>Pour une analyse de l’externalisation d’activités comme étape ultime de l’approfondissement de la division du travail, voir Stigler [57].

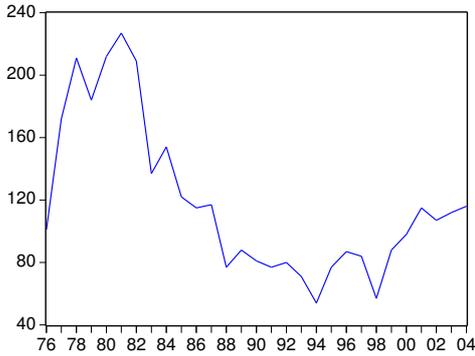
<sup>29</sup>Cf. effets 2A du graphique 11.

<sup>30</sup>Précisément, la recherche s’effectue à partir de la combinaison de mots-clés suivante : (*oil or (natural and gas) or coal or photovoltaic or hydroelectric or hydropower or nuclear or geothermal or solar or wind*) and (*electricity or electrification or electrify or electrically or electric or electrical or energy or power or generation or generating or generate or generator or turbine*).

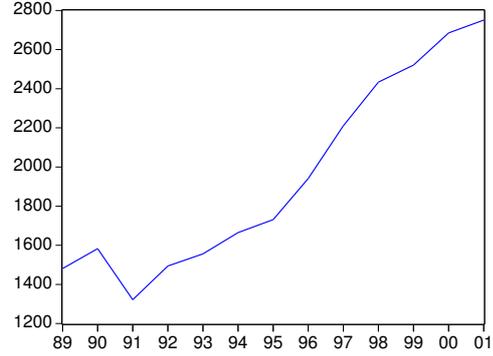
<sup>31</sup>Office Nord-Américain des brevets.

<sup>32</sup>Classification internationale des brevets. On retient précisément les classes c10(Industries du pétrole, du gaz ou du coke ; gaz de synthèse contenant de l’oxyde de carbone ; combustibles ; tourbes), f17(Stockage ou distribution des gaz ou des liquides), f21(Éclairage), f22(Production de vapeur), f23(Appareils à combustion ; procédés de combustion), f24(Chauffage ; fourneaux ; ventilation), f25(Réfrigération ou refroidissement ; systèmes combinés de chauffage et de réfrigération ; systèmes à pompes à chaleur ; fabrication ou emmagasinage de la glace ; liquéfaction ou solidification des gaz), f28(Échangeurs de chaleur en général), g21(Physique nucléaire ; Technique nucléaire), h02(Production, conversion,

différentes (voir graphiques 5 et 6 suivants respectivement).

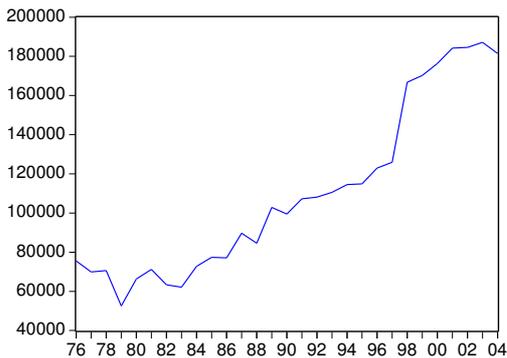


**Figure 5**  
Nombre total de brevets typés “énergie” déposés sur l’USPTO 1976-2001

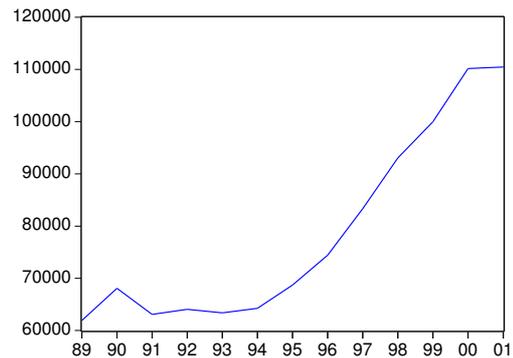


**Figure 6**  
Brevets typés “énergie et efficacité énergétique” déposés sur l’OEB par l’ue8 1989-2001

Margolis et Kammen [40] ont mis en relation l’évolution des budgets de R&D et celle du nombre de brevets déposés à l’USPTO. La forte corrélation obtenue doit être interprétée avec beaucoup de prudence, puisque leur recherche par mots-clés ne prend pas en compte les innovations liées à l’efficacité énergétique, aux technologies du futur (hydrogène et fusion nucléaire) et au stockage notamment. Le problème inverse apparaît dans la recherche par classe à l’Office Européen des Brevets, où le nombre de brevets retenus est vraisemblablement trop important. Le nombre de brevets véritablement et uniquement liés à l’énergie semble selon nous se situer dans l’intervalle des résultats des deux types de recherche effectuées<sup>33</sup>. Outre le nombre de brevets obtenus, beaucoup plus élevé pour l’OEB du fait du type de recherche effectuée, les différences concernant les tendances – plutôt à la hausse pour l’OEB et à la baisse pour l’USPTO – posent des problèmes d’interprétation lorsqu’elles sont mises en perspective avec les tendances globales observées provenant de ces mêmes offices. Les graphiques 7 et 8 illustrent les tendances concernant le nombre global de brevets déposés.



**Figure 7**  
Nombre total de brevets déposés sur l’USPTO 1976-2001



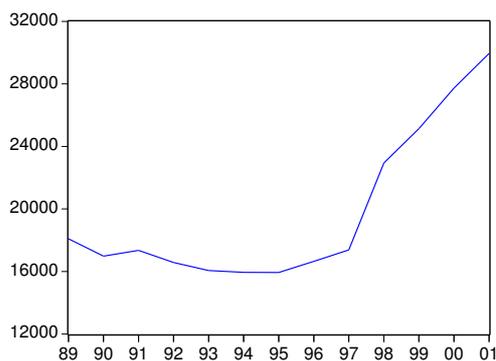
**Figure 8**  
Nombre total de brevets déposés sur l’OEB 1989-2001

ou distribution de l’énergie électrique.

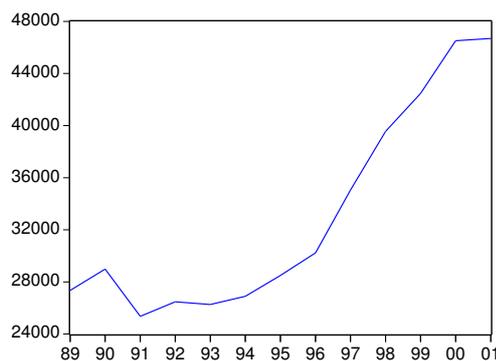
<sup>33</sup>Cependant le moteur de recherche de l’USPTO ne permet de recherches par classes, et celui de l’OEB ne dispose pas de moteur de recherche par mots-clés. Ce manque d’harmonisation ne permet donc pas de comparaisons pertinentes.

On remarque une très forte corrélation du nombre de brevets déposés dans les deux organismes<sup>34</sup>. On remarque aussi une augmentation très sensible du nombre de brevets déposés aux alentours de 1997-1998. Cette hausse est si brutale qu'on peut difficilement l'attribuer à une augmentation aussi conséquente du nombre d'innovation. Elle semble plutôt être le fruit d'une nouvelle stratégie des acteurs en termes de propriété intellectuelle.

Si l'on considère maintenant la tendance des dépôts de brevets pour les 8 pays européens sélectionnés (voir graphiques 9 et 10), là encore la relation est forte<sup>35</sup>. Cela rend compte de la forte interdépendance des dépôts de brevets dans les deux organismes.



**Figure 9**  
Nombre de brevets déposés sur l'USPTO par l'UE8  
1976-2001



**Figure 10**  
Nombre total de brevets déposés sur l'OEB par l'UE8  
1989-2001

### 3.2.2 L'augmentation des dépôts de brevets : un second trait de la rationalisation de l'activité d'innovation

Outre de réduire leurs budgets de R&D, la déréglementation des industries énergétiques de réseau, de par le nouveau contexte concurrentiel qu'elle implique, semble inciter les entreprises à modifier la composition de leur portefeuille de projets d'innovation (i.e. l'envergure (*scope*) de la R&D) : Les projets à moyen et long terme sont délaissés au profit de projets à plus court terme, moins risqués (Cf. Dooley [14])<sup>36</sup>. La pression concurrentielle accentuée, associée à la pression des actionnaires quant à la valorisation financière de l'entreprise, poussent les firmes à rechercher la rentabilité à court terme de leurs activités de R&D. Ce second aspect de la rationalisation de la R&D privée se traduit également par des projets de R&D plus appliqués au détriment de la recherche fondamentale non immédiatement rentable (Voir le cas de Laborelec par exemple).

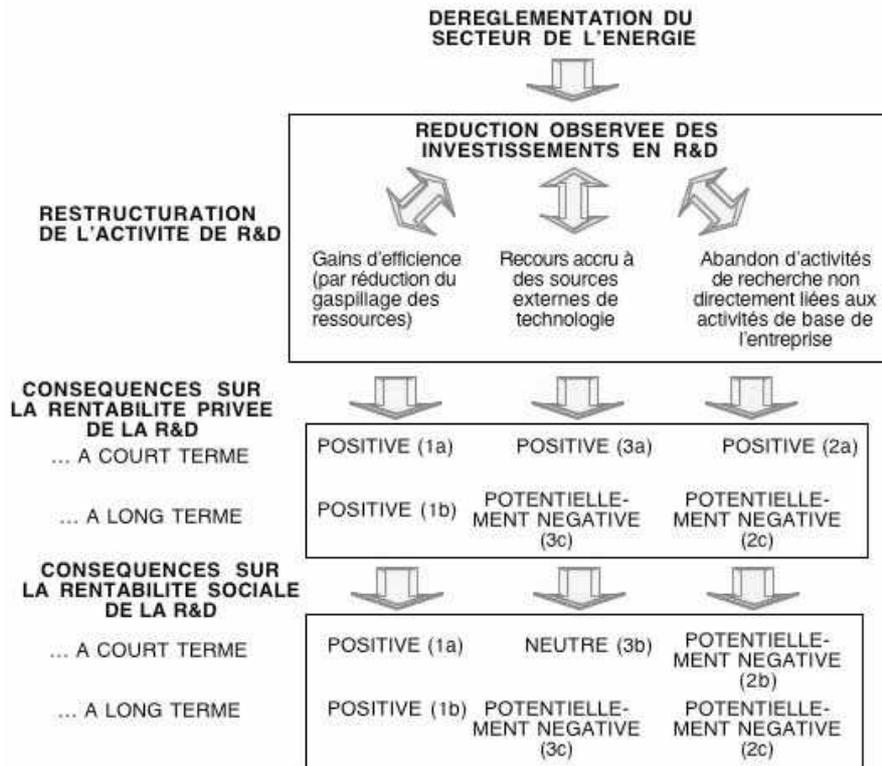
De plus, alors que dans le secteur énergétique le changement technologique prend depuis les dernières

<sup>34</sup>Une régression du nombre total de brevets déposés sur l'OEB par rapport au nombre total de brevets déposés sur l'USPTO sur la période 1989-2001 donne un  $R^2$  de 0,94, significatif au seuil de 1%.

<sup>35</sup>Une régression du nombre de brevets déposés sur l'OEB par les 8 pays sélectionnés sur le nombre total de brevets déposés sur l'USPTO par ces mêmes pays, sur la période 1989-2001 donne un  $R^2$  de 0,90, significatif au seuil de 1%.

<sup>36</sup>La modification de la composition des portefeuilles de R&D vers des projets appliqués et à plus court terme est une seconde conséquence commune avec la privatisation d'entreprises (Cf. Munari [44]).

décennies habituellement la forme d'innovations de procédés (Martin [41]), la déréglementation du secteur mène les entreprises à investir dans des projets de R&D "orientés produits" afin de fidéliser la clientèle et d'augmenter leurs parts de marché. Par ailleurs, la recherche de rentabilité à court terme de la R&D conduit les firmes à réduire, voire mettre un terme à leurs participations à des organisations de coopération et collaboration en R&D<sup>37</sup>, et de se limiter à la R&D interne ('in-house') mieux ciblée (Dooley [14]) ; cependant, les sources externes de R&D permettent de combler la R&D complémentaire qu'elles ont délaissée (R&D éloignées de leurs activités de base et R&D de long terme).



**Figure 11**

Les conséquences potentielles de la déréglementation du secteur de l'énergie sur la rentabilité de la R&D

Enfin, toujours dans l'optique de rentabilité à court terme des activités de R&D, la forte augmentation des dépôts de brevets observée à la fin des années 90 peut-être interprétée comme rendant compte de la participation des entreprises à une "course aux brevets" afin de protéger les bénéfices économiques des innovations technologiques. Cette accentuation des dépôts de brevets est en outre à associer à l'existence de rétributions des dirigeants en fonction du nombre de brevets déposés (Cf. Munari [44]).

A court terme, les effets sur la rentabilité privée des firmes sont positifs (cf. effet 3A du graphique 11), même si privilégier la R&D "in-house" est susceptible de générer des "doublons" (Munari *et al.* [45])<sup>38</sup>. A long terme, l'évolution de la composition du portefeuille d'activités de R&D des firmes risque d'induire des conséquences négatives sur la rentabilité privée et sociale de la R&D (cf. conséquences

<sup>37</sup>Cela, même si, selon Munari *et al.* [45], la participation à des consortiums de recherche permet pourtant de répartir les risques inhérents à la R&D, de mettre en commun des ressources, et d'accélérer l'innovation.

<sup>38</sup>D'où l'effet considéré comme neutre à court terme pour la collectivité (effet 3B du graphique 11).

3C du graphique 11). L'analyse de Dooley [14], concernant cette fois l'évolution des dépôts de brevets, semble donc être également confirmée dans le cadre de la déréglementation du secteur européen de l'énergie.

Consécutives de la déréglementation du secteur européen de l'énergie, la restructuration de la R&D privée vers des projets plus appliqués et de plus court terme semble permettre d'accroître l'efficacité de la R&D à court terme. Cependant, les effets à long terme sur la production des connaissances technologiques risquent d'être négatives.

### 3.3 Les conséquences dynamiques de la rationalisation de la R&D au sein de la firme : l'exploitation au détriment de l'exploration ?

Même en considérant que la restructuration de la R&D est temporaire (le temps que les firmes du secteur assoient leurs parts de marché au cours du processus de déréglementation), le retard de R&D peut avoir des conséquences négatives durables à long terme. En particulier, la restructuration de la R&D pourrait limiter la capacité des firmes à s'extraire d'un *lock-in* au sein d'une trajectoire technologique donnée<sup>39</sup>.

L'accumulation des connaissances des firmes peut être appréhendée, selon March [39], par le biais des stratégies d'exploitation et d'exploration qu'elles mettent en oeuvre. Interne à la firme, le dilemme exploration versus exploitation, peut être exprimé comme suit : la survie à court terme de la firme implique l'exploitation efficiente de ses ressources et de ses connaissances existantes dans une perspective de rentabilisation des opportunités déjà exploitées, alors que sa survie à long terme implique l'exploration de nouvelles opportunités technologiques et le développement de nouvelles compétences technologiques. Selon March [39], l'amélioration de la technologie de production de la firme (donc de son stock de connaissances et de capacités technologiques) renvoie à la logique d'exploitation. L'apprentissage est un moyen de parvenir à ces améliorations de technologie, par des innovations incrémentales au sein de la trajectoire technologique de la firme<sup>40</sup>. Quant aux stratégies d'exploration, le caractère inédit des nouvelles bases de connaissances qui en sont issues implique que les innovations radicales auxquelles elles donnent lieu dépassent le phénomène d'apprentissage, en renvoyant aux ruptures paradigmatiques<sup>41</sup>. En cas d'innovation radicale, le nouveau paradigme technologique afférent constitue initialement la base de connaissances spécifiques de la nouvelle technologie de la firme (Dosi [15],[18]).

En premier lieu, en recherchant l'élimination des inefficiences et la rentabilisation à court terme des ac-

---

<sup>39</sup>Cf. effets 2C et 3C du graphique 11.

<sup>40</sup>Une typologie des formes d'apprentissage est proposée par Malerba [37] : le "*learning by doing*" (Arrow [1]), le "*learning by using*" (Rosenberg [55]) renvoyant à l'utilisation répétée de facteurs de production, le "*learning by searching*" (Nelson et Winter [46] et Dosi [17]) résultant principalement des activités de R&D, et le "*learning by interacting*" faisant référence aux interactions de la firme avec des sources amont (fournisseurs) ou aval (utilisateurs) de connaissances et à d'éventuelles relations de coopération inter-firmes. La nature incrémentale des innovations issues de l'apprentissage ne permettent pas un changement de trajectoire technologique, excepté peut être le cas du "*learning by searching*" qui, par son essence même, est à la frontière entre le changement continu et les ruptures paradigmatiques.

<sup>41</sup>Dans la réalisation de leurs activités d'innovation, les firmes développent des modèles et de procédures de résolution des problèmes. Ils sont appelés "paradigmes technologiques" (Dosi [15]) en ce qu'ils intègrent la base de connaissances spécifique à une technologie donnée (Dosi [18]).

tivités de recherche, la rationalisation de la R&D s’inscrit logiquement dans les stratégies d’exploitation des firmes. La modification des portefeuilles de R&D vers des projets à court terme, centrés sur les activités de base des firmes, et plus orientés clients, semble confirmer le délaissement des stratégies d’exploration. Privilégier les stratégies d’exploitation au détriment des stratégies d’exploration est susceptible de limiter la capacité des firmes à innover de façon radicale, donc à changer de paradigme et de trajectoire technologique. En particulier, la restructuration de la R&D vers des projets de court terme moins risqués et centrés sur les activités de base des firmes, semble s’opposer à deux traits caractéristiques de la première phase de rupture paradigmatique pendant laquelle de nouveaux principes techniques émergent et sont sélectionnés<sup>42</sup> : la nécessaire non aversion au risque des firmes et la diversité des solutions technologiques susceptibles d’être sélectionnées. Sans compter que l’émergence d’un nouveau paradigme technologique au sein d’une firme prend du temps, comme l’ont montré Metcalfe et Boden [42] ; ce qui semble être difficilement compatible avec la réduction des horizons temporels des projets de R&D. En définitive, le délaissement des stratégies d’exploration risque de limiter l’apparition de bases de connaissances inédites que représentent les nouveaux paradigmes et nouvelles trajectoires technologiques. En tarissant une des principales sources de connaissances nouvelles des firmes, la restructuration de la R&D risque de réduire le rendement privé, puis social, de la R&D à long terme.

En second lieu, même si les paradigmes technologiques des firmes leur offrent des possibilités variées d’exploration (et structurent ainsi leur stratégie de diversification), les directions dans lesquelles les firmes explorent sont contraintes par la technologie qui les caractérise, par leur “trajectoire technologique” (Dosi [15], [17], [18]). Ainsi, la capacité amoindrie des firmes à développer de nouveaux paradigmes technologiques, donc à changer de trajectoire technologique, limiterait leur capacité à repérer et exploiter de nouvelles opportunités. La moindre diversification des portefeuilles de R&D due à leur recentrage vers les activités de base de la firme, ne ferait qu’accentuer le phénomène en réduisant le champ “cognitif” des opportunités technologiques repérables par celle-ci, donc sa capacité à les exploiter<sup>43</sup>. En effet, même si “les connaissances technologiques ne meurent pas” (Martin [41], p.54), les routines de la firme, difficilement codifiables, doivent être constamment mises en pratique afin qu’elles conservent une performance élevée (Teece [58], Nelson et Winter [46]) ; il en est de même pour les compétences foncières de la firme, sinon les firmes “oublient en arrêtant de faire”<sup>44</sup> (Loasby [35], pp. 254-255). En définitive, dans une perspective de création de ressources, la restructuration de la R&D pourrait en conséquence accentuer les phénomènes de *lock-in* et de *dépendance de sentier*, même si le recentrage des projets de R&D peut permettre la captation d’économies d’échelle dynamiques (approfondissement de la division de la connaissance).

Après avoir étudié la restructuration de la R&D privée du secteur énergétique suite à sa déréglementation, il convient de s’interroger sur la possible compensation du recul des efforts privés de R&D par des efforts de R&D publique sur la même période d’observation. Nous constaterons bien au contraire que le recul de la R&D privée du secteur est accompagné de celui de la R&D publique.

---

<sup>42</sup>Phase dite pré-paradigmatique. Voir Dosi [17], Willinger et Zuscovitch [63].

<sup>43</sup>Voir Munari [44] p.229.

<sup>44</sup>“forget by not doing”.

## 4 Baisse des budgets publics de R&D et politiques d'innovation énergétique

Au préalable de l'étude de l'évolution des budgets publics de R&D énergétique, il convient de rappeler que la question de la complémentarité ou de la substituabilité des dépenses publiques et privées de R&D reste posée. L'analyse de l'évolution des budgets publics de R&D énergétique constate leur baisse généralisée dans les principaux pays de l'AIE de 1985 à 2001. Enfin, il convient, dans un dernier temps, d'examiner si des mesures spécifiques de politique publique furent prises afin de contrer la tendance aux délaissements privé et public de la R&D énergétique, et de proposer de telles mesures dans le cas contraire.

### 4.1 Complémentarité ou substituabilité des dépenses publiques et privées de R&D dans le secteur énergétique ?

La controverse concernant la complémentarité ou substituabilité des R&D publique et privée peut être résumée par les deux points de vue opposés présentés par Mansfield et Switzer ([38], pp. 562-563). Certains analystes considèrent que le soutien public à la R&D "évince" la R&D privée du fait, d'une part, que les projets de R&D ayant fait l'objet d'un soutien financier de la part de l'État auraient été, dans le cas contraire, totalement financés par les firmes. D'autre part, la capacité des firmes à développer simultanément plusieurs projets de R&D étant limitée à court terme, s'engager dans des projets soutenus financièrement par l'État conduit les firmes à devoir réduire le nombre de projets de R&D qu'elles financent totalement. D'autres analystes considèrent au contraire que le soutien gouvernemental à la R&D privée aboutit à de nouvelles connaissances et techniques qui accroissent (par effet de "spillover") la rentabilité de la R&D privée, incitant par conséquent les firmes à augmenter leurs dépenses de R&D. D'après David *et al.* [13], les études économétriques réalisées sur le sujet depuis 35 ans aboutissent à des résultats contradictoires. La plupart de ces études teste uniquement les effets nets de la R&D publique sur la R&D privée, délaissant une approche conceptuelle des différents canaux par lesquels la R&D publique est censée affecter la R&D privée.

David et Hall [12] distinguent deux catégories d'effets par lesquels les dépenses publiques de R&D sont censées pouvoir affecter les dépenses privées de R&D. Les effets directs concernent l'offre et la demande d'inputs tangibles utilisés dans la réalisation de la R&D. Et les effets indirects renvoient à l'impact de la production de nouvelles connaissances (issues de la R&D publique) sur les coûts et profits espérés de la R&D privée ; ce sont les effets de "knowledge spillovers". Les effets directs et indirects de la R&D publique sur la R&D privée dépendent également du type de dépenses publiques engagées, selon qu'elles renvoient à des projets définis de R&D ou non. Les contrats de R&D (*contract R&D*) concernent des projets de R&D définis et dirigés par le gouvernement ; contrairement aux subventions de R&D (*grant R&D*) qui sont attribuées sans gestion gouvernementale des projets de R&D concernés. Selon David et Hall ([12], p 1170-1173), ces effets directs et indirects peuvent agir à court terme (effets statiques) et à long terme (effets dynamiques).

#### 4.1.1 Les effets statiques

L'effet statique direct, de premier ordre, des dépenses publiques de R&D sur les dépenses privées de R&D est l'impact, à la hausse et à court terme, des dépenses publiques de R&D sur la hausse des prix des inputs de recherche : en concurrençant la R&D privée quant à la demande des inputs de recherche spécialisés, la R&D publique conduit à une hausse des prix de ces inputs (en particulier humains, *i.e.* les chercheurs et ingénieurs<sup>45</sup>) qui pèse sur le coûts de la R&D. A output inchangé de la R&D (à court terme l'output de la R&D changerait uniquement en fonction des effets de "knowledge spillovers"), la hausse des prix des inputs de recherche réduit le taux de rentabilité espéré des investissements en R&D du secteur privé ce qui, toutes choses égales par ailleurs, entrave certains projets privés de recherche.

Les effets statiques indirects, de second ordre, rendent compte des effets espérés, sur les taux de rentabilité de la R&D privée, des connaissances pouvant être acquises de la R&D publique.

A court terme, des effets d'éviction peuvent survenir suivant trois voies :

- i)* Les firmes peuvent réallouer leur financement de R&D privée vers des projets de recherche appliquée, en pensant que la R&D publique fournira des résultats qui pourront éventuellement être exploités dans leur future R&D appliquée;
- ii)* Les firmes peuvent retirer la R&D "appliquée" des projets pour lesquels elle anticipent que les résultats de la R&D publique accrue deviendront disponibles à leurs concurrents, et par là même biaiseraient les résultats commerciaux des développements-produits qu'elles réalisent dans ces domaines;
- iii)* Les contrats de R&D (*contract R&D research*) réalisés avec des fonds gouvernementaux déplacent la R&D des firmes du coût fixe de production des biens autres que ceux demandés par le gouvernement vers ces biens. Le gouvernement subventionne les coûts fixes de R&D des biens qu'il souhaite.

A court terme, des effets de complémentarité peuvent survenir suivant les deux canaux suivants :

- iv)* La R&D publique dans un domaine particulier signale l'intention du gouvernement de promouvoir l'utilisation d'une technologie particulière ; ce qui accroît le taux de rentabilité privée des innovations technologiques dans le domaine visé<sup>46</sup>.
- v)* En admettant que l'effet (*iv*) soit considéré comme le "signal" d'une demande future, il peut être interprété comme marquant la volonté de l'État de développer la R&D publique dans le domaine concerné. Dans les domaines où il existe une "course future" aux inventions privées, ce signal peut

---

<sup>45</sup>Voir à ce sujet Goolsbee [26].

<sup>46</sup>Dans la note 10 p.1171, David et Hall [12] donne l'exemple de "technologies énergétiques alternatives" telles que le solaire et le méthanol, programmes de R&D privée ayant été encouragés par la recherche publique (US Department of Energy) dans les années 1970. A la même époque, un programme majeur de recherche concernant le développement de techniques de [fluidized coal bed] pour les centrales électriques fut entrepris aux États-Unis par l'EPRI (Electric Power Research Institute), organisation à but non lucratif financée par l'industrie [traduction de "an industry-supported non-profit organization"].

être une incitation pour les entreprises privées à commencer des projets de R&D exploratoires qui les positionnent favorablement quant à la captation de “knowledge spillovers” provenant de la R&D publique. Selon David et Hall ([12], p.1171), cette possibilité renvoie aux “deux faces de la R&D” identifiées par Cohen et Levinthal [10] et appliquée ici spécifiquement à la complémentarité des R&D publique et privée : faire de la R&D (privée) afin de créer une capacité d’absorption des résultats de R&D générés ailleurs (dans notre cas dans les organismes publics de recherche).

#### 4.1.2 Les effets dynamiques

Les effets dynamiques correspondent aux réponses décalées de l’offre d’inputs et des externalités de connaissances associées aux résultats antérieurs de la R&D à fonds publics.

A long terme, les effets d’éviction potentiels sont les suivants :

- vi)* L’idée selon laquelle les organismes publics de recherche et les firmes ont des trajectoires spécifiques de recherche, “dépendantes de sentier” implique que le mix de financement public et privé d’aujourd’hui peut modeler la capacité (et les coûts relatifs) du système de recherche de demain. La concurrence des secteurs public et privé sur les marchés des inputs de recherche peut affecter à long terme la redéployabilité des actifs humains dans le secteur dans lequel ils n’ont pas été formés. Par exemple, une hausse des fonds publics de recherche, en attirant et en formant un plus grand nombre de chercheurs à des champs de recherche académiques spécifiques, peut rendre ces chercheurs moins facilement employables dans le secteur privé. Dans cette perspective, le fond du problème semblerait être de mauvaises prévisions quant à l’identification des programmes de recherche porteurs et des coûts fixes élevés de transfert de programmes, en particulier lorsque cela implique d’abandonner d’anciens programmes afin de faire de la place aux nouveaux;
- vii)* La réduction des fonds pour la recherche publique peut conduire à des niveaux réels accrus de performance (et de résultats) à court terme. Mais, si les salaires et les opportunités de recherches dans le secteur public diminuent, la conséquence peut être une certaine réduction de la qualité moyenne des diplômés acceptant une carrière académique, et subséquemment une moindre qualité de formation pour la nouvelle génération de chercheurs. En conséquence, à long terme, le flux en diminution des avancées fondamentales pourrait tendre à réduire le taux de rentabilité de la R&D privée appliquée. Et contribuer à la réduction du volume total des dépenses de R&D.

A long terme, des effets de complémentarité peuvent également être identifiés. Ils sont de nature différente des effets statiques de complémentarité (effets *iv* et *v*) :

- a)* Étant donné les longues durées de formation des personnels scientifiques et ingénieurs, il est plus plausible de considérer que l’impact de changements de demande sur le taux de salaire (et/ou des incitations à la formation) a un effet proprement “dynamique” sur l’offre disponible du personnel de R&D. En l’absence d’effets de “knowledge spillovers”, et avec une réponse de l’offre prenant une forme d’ajustement de stock (*stock adjustment*) [*i.e.* par paliers ?], suite à une hausse de la

demande de personnel de recherche par le secteur public et à l'augmentation induite du taux de salaire, l'élasticité accrue de l'offre de travail de long terme ne pourra que modérer l'impact sur le taux de salaire, mais ne l'annulera pas complètement. Il y aura par conséquent une réduction de la quantité de travail employée dans la R&D privé (financé par les compagnies). Savoir si cela se traduira par une hausse ou une baisse du niveau des dépenses réelles privées de R&D dépendra de l'ampleur des élasticités de demande impliquées;

- b) Les accroissements de budgets publics ou privés de R&D aujourd'hui, et l'anticipation de hausses supplémentaires à venir, peuvent conduire à des effets pécuniaires qui pourraient finir par accroître l'offre de personnel de recherche. Ce qui tendrait à réduire le salaire réel du nouveau personnel de recherche postulant dans l'autre secteur, une fois que la demande dans le secteur instigateur aura retrouvé son niveau de long terme. Les nouveaux chercheurs arrivant sur le marché du travail verront alors leur anticipation de revenus être déçues, ils offriront néanmoins leurs compétences ; autrement dit, le capital humain ne disparaîtra pas. D'où un impact favorable en terme pécuniaire mais également en terme de capital humain sur le secteur non instigateur.

Dans le cas où les dépenses privées et publiques de R&D énergétique seraient complémentaires, leurs baisses concomitantes seraient encore plus inquiétantes. Cependant que les dépenses privées et publiques de R&D énergétique soient complémentaires ou substituables, le recul des dépenses publiques de R&D énergétique marque un certain désintérêt des gouvernements en la matière, et cela en faveur d'autres priorités nationales.

## 4.2 La baisse généralisée des budgets publics de R&D énergétique

La réduction des dépenses publiques de R&D énergétique est sensible pour les principaux pays de l'AIE, mais est encore plus marquée pour les principaux pays européens<sup>47</sup>. La réduction globale des budgets publics de R&D masque des changements d'orientation des dépenses publiques de R&D énergétique, au détriment notamment de l'énergie nucléaire et des énergies fossiles. Face à la baisse des budgets publics et surtout privés de R&D énergétique, il convient de s'interroger sur les mesures de politique publique susceptibles d'endiguer le phénomène de délaissement de la R&D énergétique.

### 4.2.1 La baisse globale des budgets publics de R&D énergétique

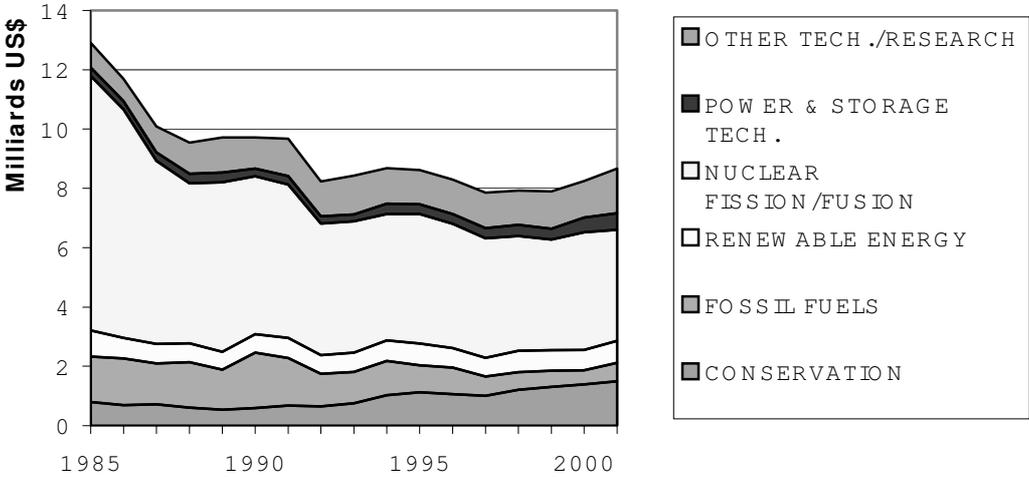
Les budgets publics cumulés de R&D des pays AIE sélectionnés baissent fortement de 1985 à 2001 (voir graphique 12). Dépassant les 12,9 milliards de US\$ en 1985, ils atteignent 8,6 milliards en 2001, soit une baisse de presque un tiers. Les budgets publics les plus faibles concernent l'année 1997 (avec 7,8 milliards de US\$). Concernant les 8 pays européens sélectionnés<sup>48</sup>, le constat de baisse des budgets

---

<sup>47</sup>Les statistiques fournies par l'AIE ne sont pas disponibles pour l'ensemble des pays avant 1985. D'où le choix de la période d'observation 1985-2001. Néanmoins, des données restent non communiquées pour la Finlande (1985-89), le Danemark (1988) et l'Italie (1996, 1999). Les budgets sont calculés en millions de US\$ (prix et taux de change 2003).

<sup>48</sup>Nous considérons les 8 pays européens dont les budgets sont les plus significatifs.

publics de R&D est encore plus alarmant : en 2001, les budgets publics de R&D cumulés des 8 pays européens ne représentent plus que 1,7 milliards de US\$, soit une baisse de -67% sur la période<sup>49</sup>.



**Figure 12**  
Évolution des budgets publics

<sup>49</sup>Les budgets publics les plus faibles des 8 pays EU sont atteints en 1997. On assiste donc à une légère hausse de 1997 à 2001. Les creux de 1992 et 1999 sont dus à l'absence de statistiques pour l'Italie.

**Table 3**

Budgets de R&D dans le domaine des renouvelables pour les 12 pays de l'AIE (2003 millions USdollars)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Allemagne</b>	1373,63	1004,80	773,75	683,73	592,15	614,44	608,18	476,54	463,36	370,48	317,28	341,48	308,46	329,72	219,88	315,26	339,06
<b>Espagne</b>	110,33	71,65	71,76	89,68	87,83	62,43	140,11	111,06	93,49	99,26	88,65	84,62	84,13	64,49	66,25	63,14	61,08
<b>France</b>	1025,62	891,67	828,21	739,77	680,48	641,06	630,50	589,34	581,33	539,87	627,83	596,01	594,60	636,37	742,23	700,30	518,66
<b>Grande-Bretagne</b>	922,22	729,96	634,03	633,99	492,00	401,18	322,07	289,48	208,43	105,79	107,16	71,16	93,83	81,19	77,49	85,60	52,98
<b>Italie</b>	1362,15	1280,28	1037,09	1082,39	848,98	741,35	680,34	—	353,16	334,97	344,93	319,55	291,17	283,80	—	323,45	339,29
<b>Pays-Bas</b>	280,32	205,96	201,30	180,88	203,78	216,69	210,56	202,60	224,80	237,32	169,90	176,06	198,65	187,06	185,04	159,96	191,20
<b>Suède</b>	161,02	124,48	101,05	104,43	106,25	98,60	86,78	108,16	81,25	85,92	62,94	56,69	63,10	59,03	78,59	85,06	98,06
<b>Suisse</b>	121,70	127,68	130,09	134,01	150,60	163,44	164,52	178,52	176,41	171,77	165,98	159,66	152,243	141,59	138,53	127,40	131,20
<b>États-Unis</b>	3586,00	3219,02	2848,60	3012,74	2912,17	3231,38	3251,08	2657,72	2595,32	2858,49	2762,21	2420,40	2175,88	2217,82	2476,77	2393,69	2905,20
<b>Japon</b>	3295,45	3393,30	2930,37	2387,92	3167,70	3026,56	3062,53	3090,98	3168,36	3393,82	3503,04	3637,70	3457,56	3493,91	3474,31	3572,55	3602,05
<b>Danemark</b>	17,07	25,98	25,66	—	31,73	42,59	50,49	58,05	55,79	47,02	43,74	37,89	44,03	53,34	51,80	52,64	51,71
<b>Finlande</b>	—	—	—	—	—	47,19	51,35	53,69	54,43	64,73	74,66	72,23	100,09	99,75	95,11	77,45	71,97

Source : *Agence Internationale de l'Énergie, Paris 2004*

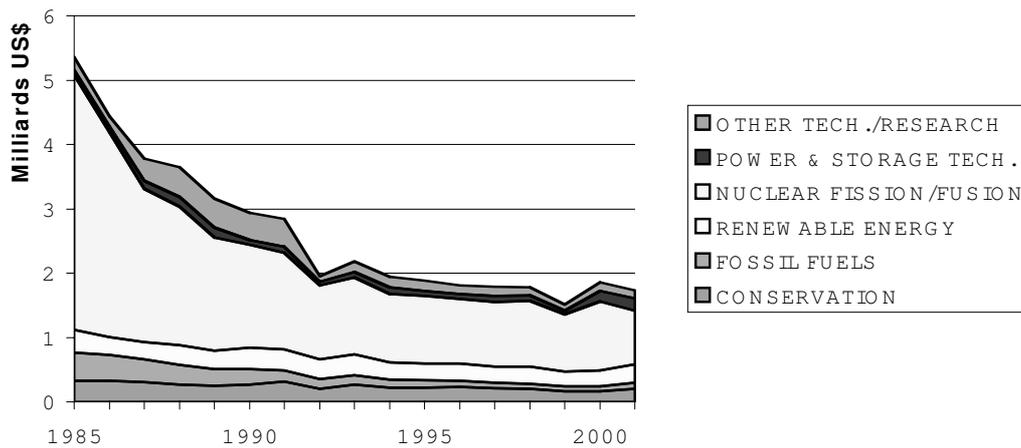
**Table 4**

Budgets de R&D dans le domaine des renouvelables pour les 8 pays européens sélectionnés (2003 millions USdollars)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Biomasse</b>	57,56	63,14	48,75	51,95	42,66	44,20	47,68	62,10	55,38	47,02	48,99	46,70	43,93	52,77	42,80	60,04	59,85
<b>Géothermie</b>	33,91	29,40	28,57	23,63	23,64	22,61	21,98	13,31	15,74	7,89	6,79	6,92	6,37	6,29	7,06	5,78	15,65
<b>Hydroélectricité</b>	0,18	0,05	0,37	0,18	0,44	0,34	0,61	10,54	3,24	5,47	4,94	3,21	4,57	3,55	6,48	2,92	3,88
<b>Océan</b>	1,91	2,32	6,42	5,26	4,56	6,72	7,13	0,73	1,74	0,68	0,67	0,08	0,19	0,12	0,06	0,92	2,02
<b>Solaire</b>	163,96	127,95	136,48	154,04	152,34	178,35	182,20	165,66	181,03	160,86	145,40	146,30	146,74	151,04	125,19	143,74	156,69
<b>Éolien</b>	100,74	47,07	50,92	62,33	65,52	84,53	69,85	51,39	69,85	46,43	54,03	67,04	49,25	57,08	50,30	41,30	49,41
<b>TOTAL</b>	358,27	269,92	271,50	297,37	289,16	336,74	329,45	303,73	326,98	268,34	260,82	270,26	251,13	270,85	231,89	254,71	287,50

Notes : Les données fournies sous la dénomination "solaire" regroupent l'ensemble des applications développées à partir de la source solaire, soient le chauffage, le photovoltaïque et le thermique. Sous la dénomination "hydroélectricité", sont regroupés tous les budgets touchant à l'hydroélectricité, y compris la "petite hydroélectricité" (< 10MW). Les données sont en millions de dollars américains 2003.

Source : *Agence Internationale de l'Énergie, Paris 2004*

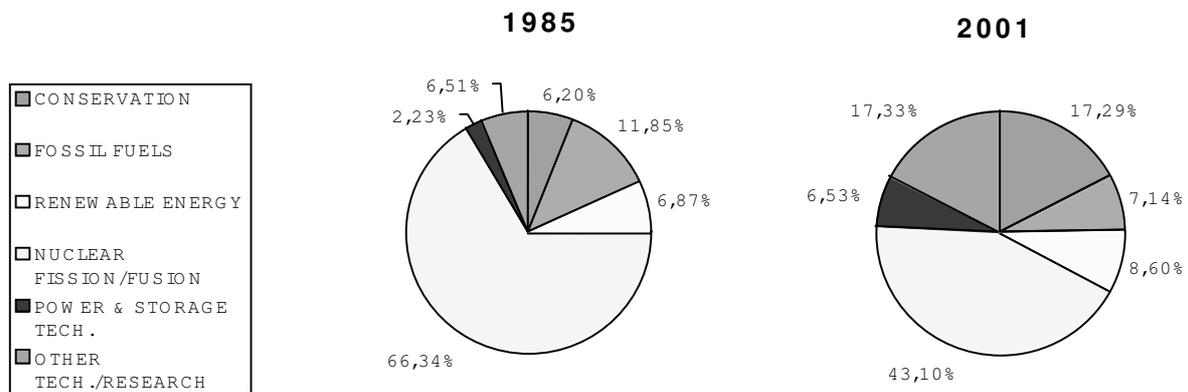


**Figure 13**  
Évolution des budgets publics de la sélection

La réduction de la R&D publique dans le secteur de l'énergie constatée par Dooley [14] sur la période 1985-1995 s'est donc très largement aggravée par la suite, au niveau mondial et surtout européen (voir graphique 13).

#### 4.2.2 Évolution des budgets publics de R&D par poste

Dans les pays AIE sélectionnés, les budgets publics de R&D baissent essentiellement dans les postes énergies fossiles (charbon en particulier) et énergie nucléaire (surtout fission). Les budgets publics de R&D dans les énergies fossiles atteignent 0,62 milliard de US\$, soit une baisse de -59,5%. Les budgets publics de R&D dans l'énergie nucléaire arborent une baisse de -56,3% (avec 3,7 milliards de US\$).

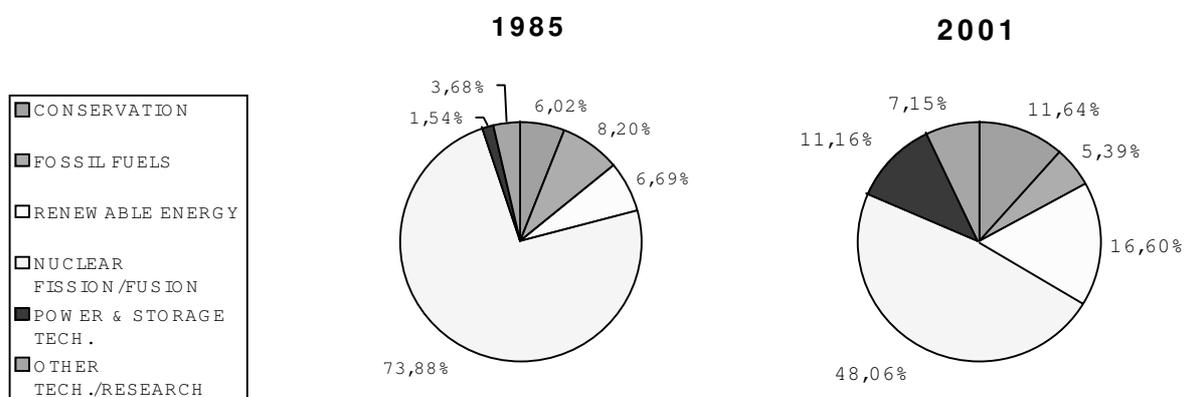


**Figure 14**  
Structure par poste des budgets publics de R&D dans l'énergie pour l'ensemble des pays de l'AIE

Les budgets publics de R&D progressent de +87,44% dans le poste conservation (1,5 milliards de US\$ en 2001) et de +97,17% dans le poste conversion-distribution-stockage (566 millions de US\$ en 2001). La R&D publique augmente fortement également dans le poste divers (hausse de +78,73%, pour un montant de 1502,913 millions de US\$ en 2001). Après une baisse de 29% de 1985 à 1989, la R&D

publique dans les énergies renouvelables augmente à nouveau (pour atteindre 746 millions de US\$ en 2001, soit une hausse de +18,76%), même si le budget atteint en 2001 reste inférieur à celui de 1985. Néanmoins, les progressions de la R&D publique dans ces postes ne compensent pas la réduction des budgets dans l'énergie nucléaire et les énergies fossiles. Les budgets globaux de R&D publique baissent sur la période d'observation.

Dans les 8 pays européens sélectionnés, les budgets publics de R&D baissent dans l'ensemble des postes, excepté pour le poste conversion-distribution-stockage (où la hausse atteint +234,8%, pour un montant 193 millions de US\$ en 2001). En effet, contrairement à la sélection des pays AIE, la R&D publique recule dans les postes conservation (baisse de -37,55% pour un montant de 201 millions en 2001) et énergie renouvelable (baisse de -19,75% avec 287 millions en 2001). Comme pour l'ensemble des pays AIE sélectionnés, les postes énergies fossiles et nucléaire subissent les plus fortes baisses de budget : la R&D publique dans les énergies fossiles baisse de -78,73% ( 93 millions de US\$ en 2001). Dans le nucléaire, les budgets publics de R&D reculent également de plus de 78% (832 millions de US\$ en 2001).



**Figure 15**  
Structure par poste des budgets publics de R&D dans l'énergie (Sélection Pays AIE)

Encore une fois, même si la réduction de certains budgets publics de R&D marquent un changement de priorité nationale dans la R&D énergétique, la forte réduction des budgets publics globaux de R&D prouve que les baisses de budgets dans certains postes ne sont pas compensées par des hausses de budgets dans d'autres postes.

Compte tenu des réductions des budgets publics et surtout privés de R&D énergétique, il convient de s'interroger sur les mesures de politique publique susceptibles d'endiguer le phénomène, et d'étudier si de telles mesures ont été mises en place dans les pays concernés.

### 4.3 Orientations technologiques et politiques publiques

Au préalable des mesures proposées afin d'atténuer les baisses de budgets observées à la suite de la dérégulation, nous présentons quelques remarques permettant de caractériser la R&D énergétique en Europe ces dernières années.

### 4.3.1 R&D et énergie en Europe aujourd'hui

*Des comportements hétérogènes en termes d'effort budgétaire*

L'effort en termes de R&D énergétique est très différent selon les pays considérés. Le tableau 5 fournit le niveau d'effort, c'est-à-dire la part du PIB consacrée à la recherche dans le domaine de l'énergie, pour l'ensemble des pays européens auxquels on ajoute les États-Unis et le Japon.

**Table 5**  
Part des budgets de R&D énergétique dans le PIB en pourcentage

	INCLUDING NUCLEAR RESEARCH		EXCLUDING NUCLEAR RESEARCH	
	1994	2001	1994	2001
<b>Allemagne</b>	0,17	0,14	0,07	<b>0,08</b>
<b>Espagne</b>	0,16	0,08	0,09	<b>0,04</b>
<b>France</b>	0,37	0,30	0,04	<b>0,05</b>
<b>Grande-Bretagne</b>	0,07	0,03	0,04	<b>0,02</b>
<b>Italie</b>	0,26	0,23	0,15	0,14
<b>Pays-Bas</b>	0,57	0,40	0,42	0,35
<b>Suède</b>	0,37	0,35	0,30	0,33
<b>Suisse</b>	0,62	0,42	0,44	0,29
<b>États-Unis</b>	0,35	0,28	0,29	0,25
<b>Japon</b>	0,88	0,86	0,22	0,25
<b>Danemark</b>	0,27	0,24	0,26	0,24
<b>Finlande</b>	0,55	0,46	0,48	0,41

*Source : Agence Internationale de l'Énergie, Paris 2004*

Si l'on inclut le nucléaire, la recherche publique est très faiblement dotée en regard du PIB, notamment pour l'Allemagne, l'Espagne et surtout le Royaume-Uni. Dans l'absolu, les budgets demeurent parfois significatifs. C'est le cas de l'Allemagne, qui avec environ 340 millions d'euros aujourd'hui conserve la seconde place européenne, derrière la France. Mais dans certains cas, les budgets deviennent symboliques en rapport avec la taille du pays considéré<sup>50</sup>. Non seulement l'effort des grandes nations européennes est bien en deçà des niveaux d'effort des nations européennes les plus dynamiques (Finlande, Pays-Bas, Suède, Suisse, auxquelles on peut ajouter dans une moindre mesure l'Italie et le Danemark), mais il est aussi très faible comparé à celui des États-Unis et surtout du Japon.

Outre d'être, la part du PIB des grandes nations européennes allouée à la R&D énergétique est aussi très faible comparée aux États-Unis et surtout au Japon.

Afin de déterminer si les budgets sont plus particulièrement modérés pour l'énergie, on peut comparer l'effort global de R&D avec celui spécifique de R&D énergétique. Le Japon investit historiquement une part importante (autour de 3%) de son PIB en R&D. La Finlande approche les 3,5% et la Suède est le champion mondial avec 4,26% estimé pour l'année 2004. Avec 2%, 2,25% et autour de 2,5%, pour le Royaume-Uni, la France et l'Allemagne respectivement, les vieilles nations européennes sont en

<sup>50</sup>Le gouvernement britannique consacre un budget d'environ 50 millions d'euros à la R&D énergétique, un budget sensiblement inférieur à celui de la Finlande, dont le PIB est 20 fois moindre. A noter que le budget britannique est en légère hausse ces dernières années.

net retrait en termes de dynamisme technologique. Ces différences au niveau des politiques publiques technologiques n'expliquent cependant pas les différentiels observés pour la R&D énergétique.

Plus remarquables encore sont les données du tableau 5 lorsque l'on exclut le nucléaire. Là encore les vieilles nations européennes (Allemagne, France, Royaume-Uni et Espagne) sont particulièrement peu dynamiques avec moins de 0,1% du PIB destiné à l'élaboration de nouvelles technologies énergétiques non-nucléaires. C'est très peu comparé aux 0,30% observés en moyenne chez nos voisins européens ou bien aux États-Unis et au Japon. Outre les enjeux environnementaux évoqués en section 2, ce sous-investissement chronique risque de nuire à court terme à notre compétitivité dans un domaine qui ne saurait que se développer au cours des années à venir.

#### *Les motivations apparentes de l'effort de R&D*

Concernant les projets développés, la logique suivie n'est pas toujours celle du développement durable. Les objectifs sont bien plus souvent commerciaux et industriels, même si cela peut parfois remettre en cause les intentions nationales affichées lors de Kyoto. Le Danemark a par exemple totalement abandonné son programme de recherche concernant le charbon, alors que celui-ci représente encore près de 50% de sa génération électrique. Son ambitieux programme de développement d'énergie à base d'hydrogène<sup>51</sup> semble motivé principalement par des considérations commerciales. Il en est de même de ses investissements dans le domaine éolien, dont le Danemark se veut un incontestable leader, mais dont le potentiel national limité montre les visées là encore commerciales. L'horizon à très long terme des projets liés à l'hydrogène, de même que l'aspect limité de la ressource éolienne démontre la volonté affichée de la part du Danemark d'acquiescer autant que possible une position préférentielle d'un point de vue industriel. Dans cette même perspective, l'Allemagne mène un remarquable programme de recherche dans le domaine du photovoltaïque. Vraisemblablement, le but est plus de profiter dès que possible des retombées d'une filière très prometteuse, plutôt que d'exploiter un véritable potentiel d'ensoleillement.

Plus logique peut-être est le programme britannique de développement d'un charbon propre. En effet si la part du charbon dans la production d'électricité est passée de 65 à 35% en 10 ans, et si les investissements programmés le sont plutôt dans le domaine du gaz, la part encore significative de charbon a amené le gouvernement à développer en 1999 un programme visant à rendre les entreprises britanniques plus compétitives dans ce domaine<sup>52</sup>. Le programme est supervisé par un comité créé tout spécialement : l'ACCCT (*Advisory Committee for Cleaner Coal Technologies*).

---

<sup>51</sup>Pour un état des lieux de la recherche concernant l'hydrogène, voir la récente contribution de Solomon et Banerjee [56].

<sup>52</sup>La Grande-Bretagne ne néglige pas pour autant les possibilités d'accords commerciaux éventuels avec les pays grands consommateurs de charbon que sont la Chine, l'Inde, les États-Unis ou l'Australie. A cette fin, sont organisés des séminaires et "workshops" fréquents, avec l'Inde et la Chine notamment, afin d'augmenter sensiblement les parts de marché des entreprises anglaises dans cette activité. Un panorama de la politique environnementale britannique est présenté dans Connor [11].

### 4.3.2 Quelles solutions pour rétablir le niveau des investissements en R&D ?

Si, comme nous l'avons vu, les politiques d'investissement en R&D semblent suivre une logique plus en rapport avec les profits présents ou futurs qu'avec le bien-être, il apparaît plus nécessaire encore de mettre en place des incitations fortes concernant le niveau et la qualité de cet investissement. Deux types distincts de mesures – cependant non-exclusives – s'avèrent susceptibles de corriger la tendance à la baisse quasi-générale observée en Europe : les mesures de régulation de l'activité énergétique et les mesures de type "partenariat public-privé".

*Une mesure de type régulationniste : la taxe*

Des systèmes de taxe ont déjà été mis en place au Danemark et en Italie, mais aussi, et la méthode est intéressante, aux États-Unis. Au Danemark, la recherche concernant la distribution et le transport d'électricité est financée par une taxe sur les ventes, collectée au sein du *Public Service Obligation Arrangement*<sup>53</sup> (PSO). Le budget est administré par les compagnies de transport *Eltra* et *Elkraft System* qui redistribuent les fonds aux différents organismes de recherche publics mais aussi privés<sup>54</sup>. Les priorités sont déterminées par l'Agence de l'Énergie Danoise qui soumet les projets à un conseil scientifique (*Advisory Council of Energy research*), lui-même composé de sous-comités. Le PSO a permis de redresser le niveau des investissements à un niveau plus en accord avec les ambitions de la nation, qui non-contente de se passer totalement du nucléaire, souhaite désormais sortir définitivement de la génération d'électricité à base de charbon.

D'une manière similaire, l'Italie a souhaité palier la chute des budgets de R&D énergétiques au moyen d'une taxe sur les consommations électriques<sup>55</sup>. Cette taxe est administrée par l'Agence Nationale pour les Nouvelles Technologies, l'Énergie et l'Environnement (ENEA), dont une priorité récente est de développer de nouvelles technologies permettant d'envisager l'abandon de techniques anciennes plus polluantes<sup>56</sup>. La majorité du budget va au CESI (voir section 3), anciennement Enel R&D, dont la recherche profite aujourd'hui à l'ensemble des acteurs du marché italien. Cette forme de recherche administrée et centralisée, même si elle peut ne pas apparaître en phase avec le courant libéral du moment, se justifie pour l'énergie au vu à la fois des enjeux liés au développement durable, mais aussi du caractère peu "schumpeterien" du secteur qui, comme nous l'avons évoqué plus haut, semble plus susceptible de contracter l'investissement de R&D que de le stimuler.

Aux États-Unis, l'EPRI<sup>57</sup> a fixé un objectif de 0,25% de part du chiffre d'affaires qui doit être consacrée à la R&D pour l'ensemble des *utilities*. Cette mesure a pour but là-encore de corriger une tendance très nettement à la baisse pour ce type de firmes en ce qui concerne les investissements en R&D. La mesure est d'autant plus intéressante, qu'elle n'est pas dirigiste et n'oriente pas la recherche des entreprises

---

<sup>53</sup>Le PSO finance aussi des projets de R&D dans le domaine de la production pour la biomasse, les piles à combustible, l'énergie des océans, etc...

<sup>54</sup>RisøNational Laboratory, instituts techniques, universités et compagnies privées.

<sup>55</sup>Décret 79/1999 du 16 mars qui prévoit une taxe de 0,05 euro par kWh.

<sup>56</sup>Le gouvernement italien a clairement déclaré que la fonction d'ENEA était de compenser le déficit d'investissement lié à la dérégulation.

<sup>57</sup>Electric Power Research Institute.

vers tel ou tel projet innovant<sup>58</sup>. Elle laisse l'initiative aux firmes qui sont libres d'exploiter leurs compétences propres, tout en garantissant un volume donné de R&D au niveau national. Toutefois, la gestion centralisée d'une "recherche nationale" soulève à la fois le problème de la motivations des agents économiques concernés et celui de la forme de la taxe à adopter<sup>59</sup>.

### *Les coopérations public-privé*

Outre les moyens de financement, on peut trouver dans l'organisation de la R&D un moyen d'améliorer l'efficacité globale de la R&D énergétique. A ce titre, la coopération privé-public a fourni des résultats remarquables, en Finlande par exemple. La R&D y est organisée autour de programmes réunissant l'ensemble des acteurs (décideurs publics, compagnies, instituts de recherche, universités) dont le financement provient à plus de 50% du secteur privé, mais dont les fruits tombent immédiatement dans le domaine public<sup>60</sup>. La Finlande peut ainsi financer un programme fédéral impressionnant et dépasser les réticences liées au long terme et au risque.

Pareillement, l'Espagne a testé un système mixte public-privé avec la mise en place au milieu des années 90 de comités de recherche (OCIs) dirigés par un nombre identique de représentants des deux sphères. Pour les 4 comités<sup>61</sup> la décision finale d'accepter ou de rejeter un projet revient au décideur public, qui fournit les fonds. La recherche est ensuite menée dans les deux entités nationales que sont le CIEMAT pour l'efficacité énergétique et la cogénération et l'IDAE pour les énergies renouvelables.

La situation est assez proche pour la Suisse, dont les objectifs à court terme sont qualitatifs (amélioration de l'efficacité et recherche de nouvelles technologies), tandis que ceux à long terme sont quantifiés précisément<sup>62</sup>. Là encore, la coopération est intense entre le secteur privé, qui fournit 80% du budget, et le secteur public. Les priorités de recherche sont débattues entre les représentants publics et privés, mais la décision finale revient au décideur public.

La mixité privé-public, opérant déjà dans plusieurs pays européens, semble fournir des résultats probants. L'avantage majeur semble être de rendre plus cohérente la politique nationale énergétique. On peut ainsi répondre aux attentes d'innovations applicables à court terme dont les firmes sont fortement demandeuses à l'heure actuelle, tout en n'abandonnant pas des projets de plus long terme difficilement conciliables dans un cadre purement concurrentiel. La coopération privé-public permet de surcroît de limiter l'aspect dirigiste de la planification nationale, tout en améliorant le rendement social de l'innovation.

---

<sup>58</sup>C'est une qualité reconnue également pour les systèmes de crédit d'impôts par exemple, en opposition aux programmes nationaux centralisés qui restreignent de par leur nature le champ des possibles pour l'entreprise.

<sup>59</sup>La taxe peut par exemple adopter une forme linéaire, ou non-linéaire. Elle peut être perçue sur les consommations ou bien encore sur les profits.

<sup>60</sup>La règle est qu'une découverte réalisée en partie, même mineure, avec des fonds publics appartient d'emblée au domaine public.

<sup>61</sup>Chaque comité a sa priorité : le gaz naturel, l'électricité, le pétrole et le charbon.

<sup>62</sup>1 tonne de  $CO_2$  per capita dans 50 ans et réduction en termes de TPES (*total primary energy supply*) de 4800 W à 2000 W.

## 5 Les implications en termes de régulation

La question du sous-investissement en R&D dans le domaine de l'énergie a été relativement ignorée par la littérature économique, peut-être en raison d'implications à long terme, à plus long terme que pour les problèmes de capacité par exemple, et qui sont de ce fait plus difficiles à percevoir. La réunion de Kyoto, qui n'est qu'une matérialisation des enjeux environnementaux, et à laquelle on été proposées des alternatives<sup>63</sup>, fixe des objectifs intéressants en termes de réduction d'émissions de GES. Malgré le temps accordé aux États pour remplir leurs engagements – 10 ans – les politiques publiques ne semblent pas avoir pris la mesure de la tâche restant à accomplir. Comme nous l'avons signalé, il est vraisemblable que dans certains cas (cf. l'Allemagne ou l'Italie) les engagements ne pourront être tenus sans un recours significatif aux importations d'électricité par exemple. Si l'on ajoute à la problématique du développement durable, celle de l'accès à l'énergie pour le plus grand nombre, on comprend mal la contraction généralisée des budgets publics alloués à la R&D énergétique dans l'ensemble des pays industrialisés, particulièrement en Europe.

Mais là où la situation devient critique, c'est que dans le même temps, en raison de la restructuration des industries énergétiques de réseau, les budgets industriels ont eux aussi été fortement réduits. La conjonction des baisses observées à la fois dans les domaines privé et public nuit fortement à l'élaboration de projets novateurs, d'autant que les fonds publics sont très attendus dans les premières phases de la R&D, notamment la phase d'exploration (voir à ce sujet Branscomb et Auerswald [7]).

Afin de redresser la tendance des investissements, le Danemark et l'Italie ont proposé la mise en place d'une taxe sur les consommations destinées à financer la recherche nationale dans le domaine de l'énergie. A l'image du financement du service public, ce type de taxe permet d'imposer un niveau d'effort à l'ensemble des acteurs du marché en fonction de leur taille respective. La collecte et la répartition de cette taxe peut revenir au régulateur, à condition que celui-ci existe (ce qui n'est pas le cas en Allemagne) et qu'il soit suffisamment doté (le budget pour 100 TWh varie de 1 à 24 millions d'euros selon les pays ; pour l'ensemble des budgets voir le tableau 6 extrait de Morin [43]).

**Table 6**

Budgets (millions euros) des régulateurs européens pour l'électricité et budget pour 100 TWh

Pays	Budget	Pays	Budget	Pays	Budget
Allemagne	—	Finlande	1,6 (1)	Luxembourg	0,5 (7)
Autriche	10,8 (15)	France	14,3 (3)	Pays-Bas	8,7 (6)
Belgique	10,8 (10)	Grèce	4,4 (7)	Portugal	7 (18)
Danemark	3,4 (9)	Irlande	10 (24)	Suède	4 (2)
Espagne	19 (9)	Italie	25 (6)	Royaume-Uni	40 (11)

*Source : Morin (2004)*

On ne peut que souhaiter la généralisation de ces mesures à un niveau national, voire supra-national.

<sup>63</sup>Kolstad [34] mentionne les alternative proposées par le gouvernement Bush en 2002. Il s'agit de ne plus prendre en compte les émissions de GES dans l'absolu, mais plutôt de tenir compte des réductions d'émissions en rapport avec l'intensité énergétique du pays. Cette mesure est censée ne pas décourager la croissance économique et ne pas léser les pays peu émetteurs malgré une forte activité économique (cf. États-Unis).

Une harmonisation européenne, du moins partielle<sup>64</sup> et la mise en place d'un programme communautaire paraissent envisageables. On peut aussi imaginer la mise en place d'un crédit d'impôts spécifique à l'énergie, allant au delà des crédits d'impôts standards (dont le détail figure dans Bloom *et al.* [5]), ce type de mesures incitatives présentant l'avantage de la neutralité vis-à-vis des investisseurs.

Nous avons insisté à plusieurs reprises dans ce papier sur les enjeux de la recherche dans le domaine de l'énergie, qui vont bien au delà d'une simple course à l'innovation. Les pays européens, qui ont annoncé à Lisbonne en mars 2000 leur volonté de devenir des leaders dans le domaine de l'innovation<sup>65</sup>, semblent pourtant délaissier la branche énergétique dans laquelle notre comportement vis-à-vis des pays en développement se devrait d'être exemplaire. D'autant plus lorsque nous tentons parfois de conseiller ces pays en matière de choix de filières technologiques (cf. le cas du nucléaire pour les pays présentant un risque politique par exemple).

---

<sup>64</sup>Les taxes pourraient être ajustées en fonction du PIB des pays.

<sup>65</sup>L'Europe a un objectif d'ici à 2010 de 3% du PIB consacré à la R&D. Peu de pays remplissent aujourd'hui cette condition. C'est un objectif ambitieux, mais qui répond aux politiques technologiques très dynamiques des pays asiatiques (voir Mahmood et Singh [36]).

## References

- [1] Arrow K.J., 1962. The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies* 28(80), 155-173.
- [2] Averch H., Johnson L.L., 1962. Behaviour of the firm under regulatory constraint. *American Economic Review* 52(5), 1052-69.
- [3] Biglaiser G., Ching-To A.M., 1999. Investment incentives of a regulated dominant firm. *Journal of Regulatory Economics* 16(3), 215-35.
- [4] Bourgeois B., Finon D., Martin J.-M. (Eds.), 2000. *Énergie et changement technologique – Une approche évolutionniste*. Economica, Paris.
- [5] Bloom N., Griffith R., van Reenen J., 2002. Do R&D tax credits work? Evidence from a panel of countries 1979-1997. *Journal of Public Economics* 85(1), 1-31.
- [6] Blundell R., Griffith R., van Reenen J., 1999. Market share, market value and innovation in a panel of British manufacturing firms. *Review of Economic Studies* 66, 529-54.
- [7] Branscomb L.M., Auerswald P.E., 2002. Between invention and innovation: an analysis of the funding for the early-stage technology development. Advanced Technology Program, Economic Assessment Office Document.
- [8] Bushnell J., Stoft S., 1995. Transmission and generation investment in a competitive electric power industry. University of California Energy Institute Working Paper PWP-030.
- [9] Cohen W.M., Levin R., 1989. Empirical studies of innovation and market structure. In: *Handbook of Industrial Organization*, Schmalensee R., Willig R. (Eds), North-Holland, Amsterdam.
- [10] Cohen W.M., Levinthal D.A., 1989. Innovation and learning: the two faces of R&D. *Economic Journal* 99(397), 569-96.
- [11] Connor P.M., 2003. UK renewable energy policy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews* 7(1), 65-82.
- [12] David P.A., Hall B.H., 2000. Heart of darkness: modeling public-private funding interactions inside the R&D black box. *Research Policy* 29(9), 1165-83.
- [13] David P.A., Hall B.H., Toole A.A., 2000. Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A review of the econometric evidence. *Research Policy* 29(4-5), 497-529.
- [14] Dooley J.J., 1998. Unintended consequences: Energy R&D in a deregulated energy market. *Energy Policy* 26(7), 547-55.
- [15] Dosi G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy* 11, 147-62.
- [16] Dosi G., 1988. Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature* 36, 1126-71.
- [17] Dosi G., 1988. The nature of innovation process. In: Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G., Soete L., *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, 221-38.
- [18] Dosi G., 1988. Opportunities, incentives and the collective patterns of technological change. *Economic Journal*, 107, 1530-47.
- [19] Dosi G., Teece D., Winter S., 1990. Les frontières des entreprises : vers une théorie de la cohérence de la grande entreprise. *Revue d'Économie Industrielle* 51(1), 238-54.
- [20] Dosi G., Nelson R., 1994. An introduction to evolutionary theories. *Journal of Evolutionary Economics* 4(3), 153-72.
- [21] Finon D., Johnsen T.A., Midttun A., 2004. Challenges when electricity faces the investment phase. *Energy Policy* 32, 1355-62.
- [22] Freeman C., 1994. The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics* 18, 463-514.
- [23] Geroski P., 1995. *Market Structure, Corporate Performance and Innovative Activity*. Oxford University Press, Oxford.
- [24] Gollier C., Jullien B., Treich N., 2000. Scientific progress and irreversibility: An economic interpretation of the precautionary principle. *Journal of Public Economics* 75, 229-53.
- [25] Gollier C., Treich N., 2003. Decision-making under scientific uncertainty: The economics of the precautionary principle. *Journal of Risk and Uncertainty* 27(1), 77-103.
- [26] Goolsbee A., 1998. Does government R&D policy mainly benefit scientists and engineers? *American Economic Review* 88(2), 298-302.
- [27] Griffith R., 2000. How important is business R&D for economic growth and should the government subsidise it? Briefing Note no. 12, Institute for Fiscal Studies, London.

- [28] Griliches Z., 1990. Patent statistics as economic indicator: A survey. *Journal of Economic Literature* 28, 1661-1707.
- [29] Hall B.H., Griliches Z., Hausman J.A., 1986. Patents and R&D: Is there a lag? *International Economic Review* 27(2), 265-283.
- [30] Hall B.H., van Reenen J., 2000. How effective are fiscal incentives for R&D? A review of the evidence. *Research Policy* 29(4-5), 449-469.
- [31] IEA, 2003. *Energy Policies of IEA Countries – 2003 Review*. International Energy Agency, Paris.
- [32] IEA, 2004. *World Energy Outlook 2004*. International Energy Agency, Paris.
- [33] Kirsch L.D., Rajesh R., 2001. Assuring enough generation: whose job and how to do it ? *Public Utilities Fortnightly* 139(8), 34-42.
- [34] Kolstad C.D., 2005. The simple analytics of greenhouse gas emission intensity reduction targets. *Energy Policy* 33(17), 2231-6.
- [35] Loasby B.J., 1994. Organisational capabilities and interfirm relations. *Metroeconomica* 45(3), 248-65.
- [36] Mahmood I.P., Singh J., 2003. Technological dynamism in Asia. *Research Policy* 32, 1031-54.
- [37] Malerba F., 1992. Learning by firms and incremental technical change. *Economic Journal* 102, 845-59.
- [38] Mansfield E., Switzer L., 1984. Effects of federal support on company-financed R&D: The case of energy. *Management Science* 30(5), 562-71.
- [39] March J.G., 1991. Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science* 10(1), 71-87.
- [40] Margolis R.M., Kammen D.M., 1999. Evidence of under-investment in energy R&D in the United States and the impact of Federal policy. *Energy Policy* 27(10), 575-84.
- [41] Martin J.-M., 2000. Des politiques technologiques mieux adaptées, pages 423-44. In: *Énergie et changement technologique – Une approche évolutionniste*, Bourgeois B., Finon D., Martin J.-M. (Eds.), Economica, Paris.
- [42] Metcalfe J.S., Boden M., 1993. Paradigms, strategies and the evolutionary basis of technological competition, in Swann P. (eds), *New Technologies and the Firm*, Routledge, London and New York, 83-102.
- [43] Morin F., 2004. De l'établissement des normes à la mise en œuvre de la régulation du marché : l'exemple de la commission de Régulation de l'Énergie (CRE). *Revue d'économie publique* 14(1), 3-23.
- [44] Munari F., 2002. The effects of privatization on corporate R&D units: Evidence from Italy and France. *R&D Management* 32(3), 223-32.
- [45] Munari F., Roberts E.B., Sobrero M., 2002. Privatization processes and the redefinition of corporate R&D boundaries. *Research Policy* 31, 31-53.
- [46] Nelson R., Winter S.G., 1982. *An evolutionary theory of technical change*. Harvard University Press, Cambridge(MA).
- [47] Newbery D., 1997. Privatization and liberalisation of network utilities. *European Economic Review* 41(3-5), 357-83.
- [48] Office européen des brevets. Eurostat, Communauté Européenne, <http://europa.eu.int/comm/eurostat>.
- [49] Percebois J., 2003. Ouverture à la concurrence et régulation des industries de réseaux : la cas du gaz et de l'électricité. *Revue d'économie publique* 12(1), 71-98.
- [50] NSF, 2003. *Research and development in industry: 2000*. National Science Foundation, Washington, D.C.
- [51] NSF, 2004. *Science and Engineering Indicators 2004*. National Science Foundation, Washington, D.C.
- [52] Polo M., Scarpa C., 2003. The liberalization of energy markets in Europe and Italy. *Università Bocconi Working Paper* no 230.
- [53] Reinganum J., 1983. Uncertain innovation and the persistence of monopoly. *American Economic Review* 73, 61-6.
- [54] Richardson G.B., 1972. The organization of industry. *Economic Journal* 82, 883-96.
- [55] Rosenberg N., 1982. *Inside the black box*. Cambridge University Press, Cambridge(MA).
- [56] Solomon B.D., Banerjee A., 2005. A global survey of hydrogen energy research, development and policy. *Energy Policy*, forthcoming.
- [57] Stigler G., 1951. The division of labour is limited by the extend of the market. *Journal of Political Economy* 59, 185-93.
- [58] Teece D., 1988. Technical change and the nature of the firm. In: Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G., Soete L., *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, 221-38.

- [59] Teece D., Pisano G., 1994. The dynamic capabilities of firms: An introduction. *Industrial and Corporate Change* 3(3), 537-56.
- [60] Treich N., 2001. What is the economic meaning of the precautionary principle ? *Geneva Papers on Risk and Insurance, Issues and Practice* 26, 334-45.
- [61] Vickers J., Yarrow G., 1988. *Privatization: An economic analysis*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [62] Wiener J.B., 2004. The regulation of technology, and the technology of regulation. *Technology in Society* 26, 483-500.
- [63] Willinger M., Zuscovitch E., 1993. Efficiency, irréversibilités et constitution des technologies, *Revue d'Économie Industrielle* 65(3), 7-22.
- [64] Winter S.G., 1984. Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior and Organization* 5, 287-320.

## **LISTE DES CAHIERS DE RECHERCHE CREDEN\***

<b>95.01.01</b>	<i>Eastern Europe Energy and Environment : the Cost-Reward Structure as an Analytical Framework in Policy Analysis</i> Corazón M. SIDDAYAO
<b>96.01.02</b>	<i>Insécurité des Approvisionnements Pétroliers, Effet Externe et Stockage Stratégique : l'Aspect International</i> Bernard SANCHEZ
<b>96.02.03</b>	<i>R&amp;D et Innovations Technologiques au sein d'un Marché Monopolistique d'une Ressource Non Renouvelable</i> Jean-Christophe POUDOU
<b>96.03.04</b>	<i>Un Siècle d'Histoire Nucléaire de la France</i> Henri PIATIER
<b>97.01.05</b>	<i>Is the Netback Value of Gas Economically Efficient ?</i> Corazón M. SIDDAYAO
<b>97.02.06</b>	<i>Répartitions Modales Urbaines, Externalités et Instauration de Péages : le cas des Externalités de Congestion et des «Externalités Modales Croisées»</i> François MIRABEL
<b>97.03.07</b>	<i>Pricing Transmission in a Reformed Power Sector : Can U.S. Issues Be Generalized for Developing Countries</i> Corazón M. SIDDAYAO
<b>97.04.08</b>	<i>La Dérégulation de l'Industrie Electrique en Europe et aux Etats-Unis : un Processus de Décomposition-Recomposition</i> Jacques PERCEBOIS
<b>97.05.09</b>	<i>Externalité Informationnelle d'Exploration et Efficacité Informationnelle de l'Exploration Pétrolière</i> Evariste NYOUKI
<b>97.06.10</b>	<i>Concept et Mesure d'Equité Améliorée : Tentative d'Application à l'Option Tarifaire "Bleu-Blanc-Rouge" d'EDF</i> Jérôme BEZZINA
<b>98.01.11</b>	<i>Substitution entre Capital, Travail et Produits Énergétiques : Tentative d'application dans un cadre international</i> Bachir EL MURR
<b>98.02.12</b>	<i>L'Interface entre Secteur Agricole et Secteur Pétrolier : Quelques Questions au Sujet des Biocarburants</i> Alain MATHIEU
<b>98.03.13</b>	<i>Les Effets de l'Intégration et de l'Unification Économique Européenne sur la Marge de Manœuvre de l'État Régulateur</i> Agnès d'ARTIGUES
<b>99.09.14</b>	<i>La Réglementation par Price Cap : le Cas du Transport de Gaz Naturel au Royaume Uni</i> Laurent DAVID
<b>99.11.15</b>	<i>L'Apport de la Théorie Économique aux Débats Énergétiques</i> Jacques PERCEBOIS
<b>99.12.16</b>	<i>Les biocombustibles : des énergies entre déclin et renouveau</i> Alain MATHIEU
<b>00.05.17</b>	<i>Structure du marché gazier américain, réglementation et tarification de l'accès des tiers au réseau</i> Laurent DAVID et François MIRABEL
<b>00.09.18</b>	<i>Corporate Realignments in the Natural Gas Industry : Does the North American Experience Foretell the Future for the European Union ?</i> Ian RUTLEDGE et Philip WRIGHT
<b>00.10.19</b>	<i>La décision d'investissement nucléaire : l'influence de la structure industrielle</i> Marie-Laure GUILLERMINET

\* L'année de parution est signalée par les deux premiers chiffres du numéro du cahier.

<b>01.01.20</b>	<i>The industrialization of knowledge in life sciences Convergence between public research policies and industrial strategies</i> Jean Pierre MIGNOT et Christian PONCET
<b>01.02.21</b>	<i>Les enjeux du transport pour le gaz et l'électricité : la fixation des charges d'accès</i> Jacques PERCEBOIS et Laurent DAVID
<b>01.06.22</b>	<i>Les comportements de fraude fiscale : le face-à-face contribuables – Administration fiscale</i> Cécile BAZART
<b>01.06.23</b>	<i>La complexité du processus institutionnel de décision fiscale : causes et conséquences</i> Cécile BAZART
<b>01.09.24</b>	<i>Droits de l'homme et justice sociale. Une mise en perspective des apports de John Rawls et d'Amartya Sen</i> David KOLACINSKI
<b>01.10.25</b>	<i>Compétition technologique, rendements croissants et lock-in dans la production d'électricité d'origine solaire photovoltaïque</i> Pierre TAILLANT
<b>02.01.26</b>	<i>Harmonisation fiscale et politiques monétaires au sein d'une intégration économique</i> Bachir EL MURR
<b>02.06.27</b>	<i>De la connaissance académique à l'innovation industrielle dans les sciences du vivant : essai d'une typologie organisationnelle dans le processus d'industrialisation des connaissances</i> Christian PONCET
<b>02.06.28</b>	<i>Efforts d'innovations technologiques dans l'oligopole minier</i> Jean-Christophe POUDOU
<b>02.06.29</b>	<i>Why are technological spillovers spatially bounded ? A market orientated approach</i> Edmond BARANES et Jean-Philippe TROPEANO
<b>02.07.30</b>	<i>Will broadband lead to a more competitive access market ?</i> Edmond BARANES et Yves GASSOT
<b>02.07.31</b>	<i>De l'échange entre salaire et liberté chez Adam Smith au « salaire équitable » d'Akerlof</i> David KOLACINSKI
<b>02.07.32</b>	<i>Intégration du marché Nord-Américain de l'énergie</i> Alain LAPOINTE
<b>02.07.33</b>	<i>Funding for Universal Service Obligations in Electricity Sector : the case of green power development</i> Pascal FAVARD, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
<b>02.09.34</b>	<i>Démocratie, croissance et répartition des libertés entre riches et pauvres</i> David KOLACINSKI
<b>02.09.35</b>	<i>La décision d'investissement et son financement dans un environnement institutionnel en mutation : le cas d'un équipement électronucléaire</i> Marie-Laure GUILLERMINET
<b>02.09.36</b>	<i>Third Party Access pricing to the network, secondary capacity market and economic optimum : the case of natural gas</i> Laurent DAVID et Jacques PERCEBOIS
<b>03.10.37</b>	<i>Competition And Mergers In Networks With Call Externalities</i> Edmond BARANES et Laurent FLOCHEL
<b>03.10.38</b>	<i>Mining and Incentive Concession Contracts</i> Nguyen Mahn HUNG, Jean-Christophe POUDOU et Lionel THOMAS
<b>03.11.39</b>	<i>Une analyse économique de la structure verticale sur la chaîne gazière européenne</i> Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
<b>03.11.40</b>	<i>Ouverture à la concurrence et régulation des industries de réseaux : le cas du gaz et de l'électricité. Quelques enseignements au vu de l'expérience européenne</i> Jacques PERCEBOIS
<b>03.11.41</b>	<i>Mechanisms of Funding for Universal Service Obligations: the Electricity Case</i> François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
<b>03.11.42</b>	<i>Stockage et Concurrence dans le secteur gazier</i> Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU

<b>03.11.43</b>	<i>Cross Hedging and Liquidity: A Note</i> Benoît SEVI
<b>04.01.44</b>	<i>The Competitive Firm under both Input and Output Price Uncertainties with Futures Markets and Basis risk</i> Benoît SEVI
<b>04.05.45</b>	<i>Competition in health care markets and vertical restraints</i> Edmond BARANES et David BARDEY
<b>04.06.46</b>	<i>La Mise en Place d'un Marché de Permis d'Emission dans des Situations de Concurrence Imparfaite</i> Olivier ROUSSE
<b>04.07.47</b>	<i>Funding Universal Service Obligations with an Essential Facility: Charges vs. Taxes and subsidies</i> , Charles MADET, Michel ROLAND, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
<b>04.07.48</b>	<i>Stockage de gaz et modulation : une analyse stratégique</i> , Edmond BARANES, François MIRABEL et Jean-Christophe POUDOU
<b>04.08.49</b>	<i>Horizontal Mergers In Internet</i> Edmond BARANES et Thomas CORTADE
<b>04.10.50</b>	<i>La promotion des énergies renouvelables : Prix garantis ou marché de certificats verts ?</i> Jacques PERCEBOIS
<b>04.10.51</b>	<i>Le Rôle des Permis d'Emission dans l'Exercice d'un Pouvoir de Marché sur les Marchés de Gros de l'Electricité (La Stratégie de Rétention de Capacité</i> Olivier ROUSSE
<b>04.11.52</b>	<i>Consequences of electricity restructuring on the environment: A survey</i> Benoît SEVI
<b>04.12.53</b>	<i>On the Exact Minimum Variance Hedge of an Uncertain Quantity with Flexibility</i> Benoît SEVI
<b>05.01.54</b>	<i>Les biocarburants face aux objectifs et aux contraintes des politiques énergétiques et agricoles</i> Alain MATHIEU
<b>05.01.55</b>	<i>Structure de la concurrence sur la chaîne du gaz naturel : le marché européen</i> Vincent GIRAULT
<b>05.04.56</b>	<i>L'approvisionnement gazier sur un marche oligopolistique : une analyse par la théorie économique</i> Vincent GIRAULT
<b>05.04.57</b>	<i>Les péages urbains pour une meilleure organisation des déplacements</i> François MIRABEL
<b>05.04.58</b>	<i>Les biocombustibles en France : des produits fatals aux cultures dédiées</i> Alain MATHIEU
<b>05.07.59</b>	<i>Dérégulation et R&amp;D dans le secteur énergétique européen</i> Olivier GROSSE, Benoît SEVI