



HAL
open science

Prix versus quantités : Les politiques environnementales d'incitation au développement des énergies renouvelables

Philippe Menanteau, Dominique Finon, Marie-Laure Lamy

► **To cite this version:**

Philippe Menanteau, Dominique Finon, Marie-Laure Lamy. Prix versus quantités: Les politiques environnementales d'incitation au développement des énergies renouvelables. 2001. halshs-01321796

HAL Id: halshs-01321796

<https://shs.hal.science/halshs-01321796v1>

Preprint submitted on 26 May 2016

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

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



.....
INSTITUT D'ECONOMIE ET
DE POLITIQUE DE L'ENERGIE
.....

CAHIER DE RECHERCHE N° 25

**Prix versus quantités :
Les politiques environnementales d'incitation
au développement des énergies renouvelables**

Philippe Menanteau, Dominique Finon
Marie-Laure Lamy

Mai 2001

Unité mixte de recherche du Centre National de la Recherche Scientifique
et de l'Université Pierre Mendès France (UFR DGES) - UMR 5111

IEPE, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 09, France
Tél : +33 (0)4 76 51 42 40 ; Fax :+33 (0)4 76 51 45 27
Mél : iepe@upmf-grenoble.fr ; URL : <http://www.upmf-grenoble.fr/iepe>

Résumé

La confirmation du risque de changement climatique et la volonté affichée des Etats européens de poursuivre des objectifs ambitieux de production d'électricité renouvelable pour y répondre invitent à s'interroger sur l'efficacité comparée des instruments d'incitation utilisés. Ceux-ci sont clairement des instruments homologues de ceux utilisés par les politiques environnementales. Le choix entre les instruments jouant sur les quantités - fixation d'objectifs nationaux et enchères concurrentielles, ou bien imposition de quotas et échanges de certificats verts -, et les instruments jouant sur les prix - tarifs d'achats administrés - relève du même type de débat que pour ces politiques. Toutefois l'objet de l'intervention publique est particulier : il est de stimuler le changement technique et d'accélérer les apprentissages technologiques en vue d'amener les techniques renouvelables vers la zone de compétitivité avec les techniques classiques après internalisation des coûts environnementaux. La comparaison des instruments doit donc être posée en relation avec les caractéristiques des processus d'innovation et des conditions d'adoption - incertitudes sur les courbes de coût, dynamiques d'apprentissage - qui conduisent à se référer aussi à des critères d'efficience dynamique.

Pour ce faire on examine l'efficacité des différents cadres incitatifs au développement des énergies renouvelables, à la fois d'un point de vue théorique en opposant les approches par les prix à celles par les quantités, et d'un point de vue pratique en se référant aux expériences concrètes de mise en œuvre de ces différents instruments. Le papier conclut à l'efficacité plus grande du système de prix administrés comparé au dispositif d'enchères, mais met en évidence les qualités théoriques de l'approche par les certificats verts qui devront être confirmées par la pratique, compte tenu de l'influence des règles et des structures de marché sur les performances de ce type d'approche.

1. Introduction

Les énergies renouvelables font l'objet d'un soutien accru de la part des pouvoirs publics en raison des avantages environnementaux qu'elles présentent par rapport aux sources d'énergie conventionnelles. Elles constituent un domaine de substitution technologique important pour limiter les dommages environnementaux associés à la production et à l'utilisation d'énergie au-delà des solutions *end-of-pipe* inefficaces pour le contrôle des émissions de gaz à effet de serre. Avec la confirmation du risque de changement climatique (GIEC, 2000), les cadres incitatifs au développement des énergies renouvelables sont actuellement renforcés pour que les objectifs de réduction des gaz à effet de serre que les Etats se sont engagés à atteindre soient respectés. Au plan européen, la Directive sur les énergies renouvelables en cours d'adoption vise à faciliter la réalisation des engagements européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre par une forte accélération du développement de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable¹.

Ces objectifs plus ambitieux de production d'électricité renouvelable, censés refléter l'évolution des préférences collectives, nécessitent un renforcement des cadres incitatifs existants et probablement un renchérissement du coût des politiques publiques. La possibilité d'atteindre ces objectifs à moindre coût, qui était jusqu'à présent une préoccupation relativement secondaire tant que ces objectifs restaient limités, devient dès lors une question centrale. Elle invite à procéder à une analyse de l'efficacité des instruments de promotion des renouvelables.

La particularité du recours aux renouvelables comme moyen de politique environnementale est que ces technologies sont encore immatures ou bien n'ont pas atteint un niveau suffisant de performance technologique et/ou économique. Elles ne sont à ce stade pas en mesure de concurrencer directement les technologies existantes qui ont déjà pu bénéficier d'effets de série et d'apprentissage. Mais la poursuite de la dynamique de progrès technique en cours depuis plusieurs années peut leur permettre de concurrencer les énergies fossiles pour la production d'électricité vendue sur le réseau.

En créant des cadres propices à l'adoption des renouvelables par des producteurs d'électricité, l'action publique dite d'ouverture de marché vise la stimulation du changement technique et l'enclenchement de politiques d'apprentissage permettant une décroissance des coûts jusqu'au niveau de compétitivité économique.

Ces cadres d'incitation relèvent typiquement des mêmes approches que les politiques environnementales : approche par les prix quand on utilise le système d'obligation d'achat imposée aux entreprises électriques à des prix garantis, approches par les quantités quand les autorités publiques fixent un objectif à atteindre et procèdent à des enchères concurrentielles, ou quand elles imposent un quota aux vendeurs d'électricité et organisent des échanges de certificats verts.

On procèdera donc à l'analyse de l'efficacité comparée des instruments de stimulation du progrès technique en tant qu'instruments de politique environnementale. Dans un premier temps on examine la justification des politiques de soutien aux énergies renouvelables sur la base des externalités positives qu'elles génèrent et dans une perspective d'accélération de l'apprentissage technologique. Dans un second temps, les instruments sont caractérisés en

¹ Selon la Directive "électricité verte", 22% de l'électricité consommée dans l'Union européenne en 2010 devra être produite par des énergies renouvelables, contre 14% en 1997 (grande hydraulique incluse).

référence au débat classique opposant les approches par les prix ou par les quantités. Dans un troisième temps, l'efficacité statique et dynamique des instruments est analysée par rapport à différents critères qui mettent en lumière les caractéristiques distinctives des approches-prix et des approches-quantités dès lors qu'on prend en compte la réalité des processus d'innovation et d'adoption des nouvelles techniques.

Les instruments analysés ne concernent que les technologies d'énergie renouvelable dédiées à la fourniture d'électricité au réseau, dont le développement constitue aujourd'hui une des principales réponses au risque de changement climatique. Différentes technologies de production (micro-hydraulique, éolien, solaire photovoltaïque, bioélectricité, etc.) sont potentiellement concernées par ces politiques, mais la cible principale est actuellement la filière éolienne en raison de ses importantes perspectives de développement. L'analyse empirique de l'efficacité des instruments de stimulation des énergies renouvelables se réfèrera donc principalement aux développements récents de la filière éolienne en Europe.

2. La justification environnementale des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables

Le développement et la consolidation des filières d'énergie renouvelable suppose que les pouvoirs publics interviennent dans la phase de leur émergence pour les protéger d'une concurrence frontale avec les technologies classiques. A défaut les seules forces du marché ne conduiraient qu'à une diffusion limitée des énergies renouvelables sur quelques niches de marché. La diffusion serait alors insuffisante pour leur permettre de bénéficier des effets dynamiques d'apprentissage et modifier à leur avantage les conditions de compétitivité.

Sur le plan théorique, cette intervention publique peut se justifier de deux façons : la correction des externalités négatives résultant de l'utilisation des combustibles fossiles et l'efficacité dynamique recherchée par la stimulation du changement technique.

2.1. L'absence d'internalisation des externalités environnementales

Le principal avantage comparatif des énergies renouvelables sur les filières classiques est de participer à la préservation des biens collectifs que sont la qualité de l'air et la stabilité du climat. Du fait du caractère non excluable et non-rival de l'usage de ces biens, les acteurs privés ne sont pas incités à investir pour des bénéfices que tous pourront s'approprier gratuitement. La diffusion des énergies renouvelables ne peut pas dans ces conditions être assurée spontanément par le marché.

La libéralisation du marché de l'électricité peut sembler offrir une réponse partielle à ce problème d'appropriation en permettant aux clients ayant une disposition à payer pour ce bien environnemental d'acheter de l'« électricité verte » directement auprès d'un fournisseur ayant une production à base de renouvelables. Cette solution, testée déjà dans quelques pays (Allemagne, Etats-Unis, Pays-Bas, etc.), aide à révéler les préférences des consommateurs et les consentements à payer pour profiter d'une électricité produite par des sources d'énergie renouvelable à des prix plus élevés² (Mirabel et al., 2001). Mais, comme le montrent les

² On notera aussi l'usage d'un autre type de dispositif, appelé bourse solaire, où les particuliers viennent acheter aux enchères des droits de tirage sur la production d'équipements solaires à installer (expérience en cours en Suisse).

expériences européennes, le problème du passager clandestin reste entier (Batley, S.L., 2001 ; Wisser, R. et alii, 1997). La grande majorité des consommateurs ne sont pas prêts à accepter un surcoût pour acheter de l'électricité verte qui profiterait à tous. Les choix individuels ne reflètent qu'incomplètement la valeur réelle que la collectivité peut placer dans la préservation de l'environnement par la production d'électricité d'origine renouvelable.

Ce défaut de marché pourrait être corrigé par la mise en place d'une réglementation sur les émissions des énergies fossiles qui inciterait à un recours accru aux énergies renouvelables. En supposant qu'on soit en mesure d'évaluer le coût des dommages, il pourrait être aussi corrigé par l'instauration d'une taxe pigouvienne qui aurait pour effet de rééquilibrer la concurrence entre les technologies au profit des moins polluantes (Pigou, 1932). Mais, en raison notamment des difficultés politiques de mise en œuvre de ce type de taxes, les externalités négatives liées à la consommation des énergies fossiles ne sont qu'imparfaitement reflétées dans les prix de l'énergie³. Le soutien public dont bénéficient les énergies renouvelables se justifie alors comme une compensation provisoire pour les externalités négatives qu'elles évitent, soutien qui devrait cesser dès lors que la fiscalité sur les énergies reflètera le coût marginal du dommage lié à l'usage des combustibles fossiles⁴.

On peut toutefois s'interroger sur la possibilité de disposer d'une valeur fiable et indiscutable des externalités ; la difficulté est d'estimer la valeur du bien collectif préservé par le développement des renouvelables. Quel est le coût des dommages évités par l'utilisation d'énergies renouvelables sur le plan de la qualité de l'air et du changement climatique ? Compte tenu des problèmes d'observabilité de certains paramètres, on ne peut pas se référer à un niveau optimum de réduction d'émission et donc de production d'énergie renouvelable ou non carbonée dans un ensemble de mesures de politique énergétique. En conséquence on est contraint de se situer résolument dans une perspective de coût / efficacité dans laquelle l'objectif à atteindre est défini de façon discrétionnaire par les décideurs politiques, sur la base des informations scientifiques disponibles mais hors rationalisation économique. L'utilisation des instruments économiques, de type taxes ou permis, garantit cependant que l'objectif ainsi défini sera atteint au moindre coût (Baumol et Oates, 1971).

2.2. La stimulation du changement technique

L'établissement de conditions de concurrence entre sources d'énergie fossiles et renouvelables qui refléteraient l'ensemble des coûts privés et sociaux ne garantit toutefois pas qu'une dynamique de diffusion des énergies renouvelables cohérente avec l'objectif collectif de préservation de l'environnement local et global pourra se mettre en place. Les énergies renouvelables, confrontées aux barrières classiques à l'entrée de toute nouvelle technologie face aux technologies en place, restent dans une position défavorable. Elles n'ont pas atteint leurs performances optimales en termes de coût et de fiabilité lorsqu'elles sont mises sur le marché. Celles-ci se révéleront progressivement par l'effet des processus d'apprentissage par l'usage ou par la pratique (Arrow, K., 1962 ; Dosi G., 1988). En d'autres termes ce n'est pas parce qu'une technologie est efficace qu'elle est adoptée, mais parce qu'elle est adoptée qu'elle deviendra éventuellement efficace (Arthur, 1989). Il faut donc des cadres incitatifs adaptés

³ Seuls quelques pays (Allemagne, Pays-Bas, Danemark, notamment) ont pour l'instant instauré des taxes spécifiques sur les émissions de CO2 par exemple.

⁴ La dépendance énergétique peut également être considérée comme une externalité négative, non environnementale, partiellement reflétée dans la fiscalité des produits énergétiques.

pour que les technologies d'énergie renouvelable puissent se diffuser au-delà de niches de marché trop limitées et progresser sur leurs courbes d'apprentissage.

La diffusion des énergies renouvelables se heurte aussi à d'autres barrières spécifiques liées à leurs caractéristiques technico-économiques : leur profil capitalistique, la nécessité de mobiliser des effets de série plutôt que des effets de taille en raison de leurs limites de taille, et, pour certaines, leur défaut de régularité dans la production d'énergie. Les nouveaux acteurs des marchés électriques libéralisés ont tendance à privilégier les technologies les moins capitalistiques et aux apports sûrs, tandis que la culture technologique des entreprises électriques en place les conduit à privilégier les systèmes de grande taille. L'électricité provenant d'énergies renouvelables ne présente donc pas la même valeur pour un participant au marché que par exemple une centrale thermique au gaz dont la puissance serait disponible de façon permanente. Dans cette configuration de concurrence entre techniques électriques, il est justifié d'accompagner ce processus de maturation des nouvelles technologies énergétiques dans une perspective dynamique qui vise à révéler les performances ultimes de la technologie (Foray, 1996) et à élargir le panier des technologies qui sont mobilisables pour la préservation de l'environnement global.

3. Le choix des instruments de stimulation du développement des énergies renouvelables : une problématique de politique environnementale

L'examen des politiques mises en œuvre dans les pays européens depuis une vingtaine d'années pour stimuler le développement des énergies renouvelables montre que les instruments utilisés présentent des similitudes importantes avec les instruments des politiques environnementales auxquels ils sont assimilables. Ils soulèvent les mêmes questions d'efficacité dans le débat prix versus quantité.

3.1. Approche par les prix ou par les quantités :

En dehors des actions de recherche-développement⁵, les politiques de soutien font appel à trois grandes catégories d'instruments qui relèvent soit d'une approche par les prix, soit d'une approche par les quantités :

- les prix d'achat garantis utilisés notamment au Danemark, en Allemagne, en Espagne et en Italie, qui sont les plus anciens et les plus répandus,
- les systèmes d'enchères concurrentielles utilisés au Royaume-Uni et en France jusqu'en 2000 et basés sur la fixation d'un objectif de production d'énergie renouvelable à atteindre au niveau national,
- les systèmes d'échange de certificats verts basés sur l'imposition de quotas d'énergie renouvelable aux fournisseurs, qui sont utilisés dans quelques pays (Pays-Bas, Danemark, et Royaume-Uni) de façon expérimentale, mais qui pourraient à terme se généraliser à l'ensemble des pays européens (Italie notamment).

⁵ Les actions de recherche et développement et de démonstration, ainsi que les aides à l'investissement, ont été les premiers moyens mis en œuvre pour améliorer les performances et stimuler la diffusion des énergies renouvelables. Elles concernent encore actuellement les filières technologiques les plus immatures. Mais, pour les technologies proches de la compétitivité économique, on utilise désormais des instruments plus spécifiques qui visent à l'insertion des énergies renouvelables sur le marché de la production d'électricité.

Les prix d'achat garantis

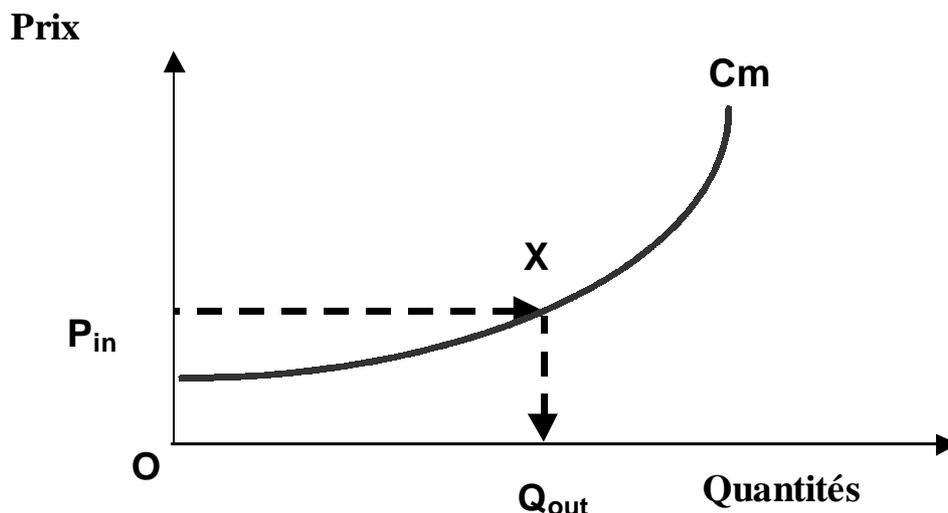
Le système des prix d'achat garantis consiste à imposer aux compagnies d'électricité l'achat de l'électricité produite par les producteurs d'électricité renouvelable situés sur leur zone de desserte à un tarif fixe, imposé par les pouvoirs publics, et garanti sur une certaine durée (en général de l'ordre de 15 ans).

L'instauration d'un tarif d'achat garanti est une subvention allouée aux producteurs d'électricité renouvelable qui fonctionne comme une taxe sur la pollution pour des firmes polluantes. Prenons l'exemple de l'énergie éolienne : les producteurs sont incités à exploiter l'ensemble des sites disponibles jusqu'à ce que le coût marginal de production d'électricité d'origine éolienne soit égal au tarif de reprise proposé P_{in} . La quantité produite correspond alors à Q_{out} . Elle n'est pas connue a priori si la courbe de coût marginal de production d'électricité d'origine éolienne n'est pas connue, ce qui est généralement le cas.

Tous les producteurs bénéficient bien entendu du tarif P_{in} , y compris ceux dont le coût marginal de production est inférieur au tarif proposé (rente différentielle). Le coût global de réalisation de l'objectif est donné par la surface $P_{in} \times Q_{out}$.

Le financement de la subvention aux producteurs d'électricité renouvelable est couverte, soit par une subvention croisée sur l'ensemble des consommateurs électriques (Espagne, Italie) ou par les seuls clients de l'entreprise contrainte d'acheter l'électricité (Allemagne jusqu'en 2000), soit par le contribuable, soit par un mélange des deux systèmes (Danemark)⁶. L'iniquité entraînée par le système de financement par les seuls clients des compagnies locales pose problème et conduit généralement à l'adoption de mécanismes de répartition de la charge du financement (cf. infra).

Fig.1 : Prix d'achat garantis



⁶ En Allemagne, le tarif d'achat garanti est, pour l'éolien, de 90 % du tarif moyen pondéré et au Danemark, le prix est fixé à 85% du tarif domestique augmenté du remboursement de la taxe sur le carbone (voir le détail sur le tableau 2). Le surcoût par rapport au prix de gros est à la charge de la compagnie qui le répercute dans ses tarifs (Allemagne, Italie) ou pris en charge par l'Etat (Danemark).

Les enchères concurrentielles

Avec les enchères concurrentielles, l'autorité régulatrice définit un marché protégé pour une quantité donnée d'électricité d'origine renouvelable avec obligation d'achat par le réseau de la production des producteurs sélectionnés. Les enchères concurrentielles sont utilisées en Angleterre dans le cadre du Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO) lancé en 1991 qui concerne différentes filières d'énergie renouvelable, en Irlande et en Ecosse sur le même principe, et en France avec le programme Eole 2005 lancé en 1996, qui concerne exclusivement l'énergie éolienne.

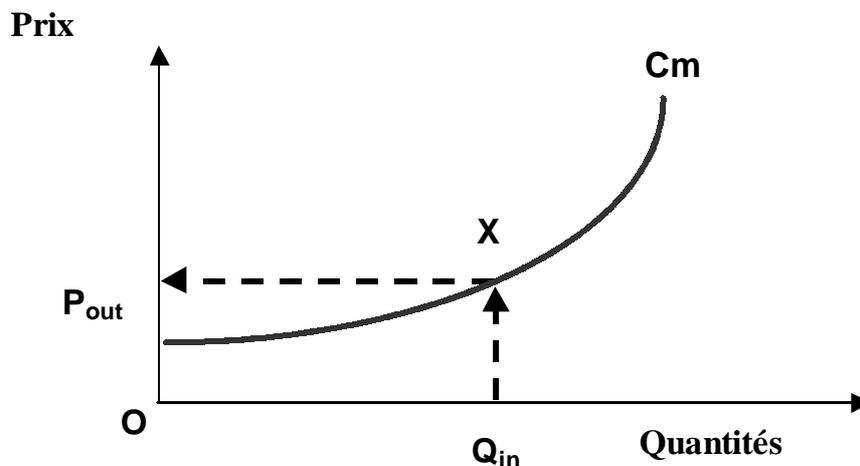
La concurrence porte sur les prix du kWh proposés lors des enchères. Les propositions sont classées par ordre de coût croissant jusqu'à ce que la quantité mise aux enchères soit atteinte. Chaque producteur retenu se voit attribuer le prix d'enchère figurant dans sa proposition (*pay as bid*) dans le cadre d'un contrat de long terme. Les subventions implicites attribuées à chaque producteur sélectionné correspondent à l'écart entre le prix de l'enchère et le prix du marché de gros.

En faisant l'hypothèse que la procédure d'enchères concurrentielles permet de révéler les coûts marginaux de production de l'ensemble des producteurs, le coût global de réalisation de l'objectif est donné par la surface située sous la courbe de coût marginal. La rente différentielle qui est perçue, dans le système de prix d'achat garantis, par les producteurs d'électricité renouvelable n'a pas ici à être supportée par les consommateurs⁷.

Toujours par comparaison avec le système de prix garantis, la quantité d'électricité renouvelable résultant de la procédure d'enchères concurrentielles est parfaitement connue a priori. Par contre le coût marginal ainsi que le coût global de réalisation de l'objectif sont incertains si la forme de la courbe de coût n'est pas connue avec précision.

Enfin le financement du surcoût est proche de ceux du système précédent. Il est assuré par une taxe spécifique sur la consommation d'électricité (Angleterre), ou bien par une subvention croisée sur l'ensemble des consommateurs (France).

Fig. 2 : Enchères concurrentielles



⁷ A l'origine, le processus anglais d'enchères concurrentielles (NFFO) attribuait à l'ensemble des producteurs le tarif de reprise proposé par le projet marginal ; la rente différentielle bénéficiait alors aux producteurs. Cette procédure a été abandonnée dans le système actuel.

Les certificats verts

Le système des certificats verts fonctionne sur la base de quotas obligatoires de production d'électricité d'origine renouvelable imposés aux opérateurs intervenant sur le marché de l'électricité. Sur les marchés libéralisés il s'agit principalement de distributeurs-revendeurs ou, comme en Italie, des producteurs⁸ ; mais les consommateurs peuvent aussi être directement intégrés au système d'échange⁹. Les opérateurs ont alors la possibilité de produire eux-mêmes la quantité voulue, d'acheter à long terme à un producteur spécialisé ou d'acheter à d'autres opérateurs des certificats correspondant à une quantité donnée d'électricité renouvelable (Berry, T. et alii, 2001; Voogt, M., 2000).

Les certificats sont émis par les producteurs d'électricité renouvelable qui valorisent leur production de deux manières différentes : en vendant l'électricité produite sur le réseau au prix du marché, d'une part, et en vendant les certificats verts sur le marché des certificats, d'autre part.

Les quantités à atteindre sont définies au plan national comme dans le cas des enchères concurrentielles, puis ensuite réparties entre chaque opérateur. Comme les distributeurs ne bénéficient pas tous des mêmes opportunités de valorisation des sources d'énergie renouvelable et présentent donc des courbes de coût marginal de production distinctes¹⁰, le système d'échange de certificats verts présente un intérêt allocatif. En l'absence d'un tel mécanisme de flexibilité, l'instauration d'obligations indifférenciées sur chaque opérateur se traduirait par des différences de coûts marginaux de réalisation des objectifs, ce qui est source d'inefficacité. Le système de certificats organise une répartition plus efficace de l'effort collectif en permettant l'égalisation des coûts marginaux de production d'électricité renouvelable entre les opérateurs et en incitant à l'entrée de producteurs spécialisés.

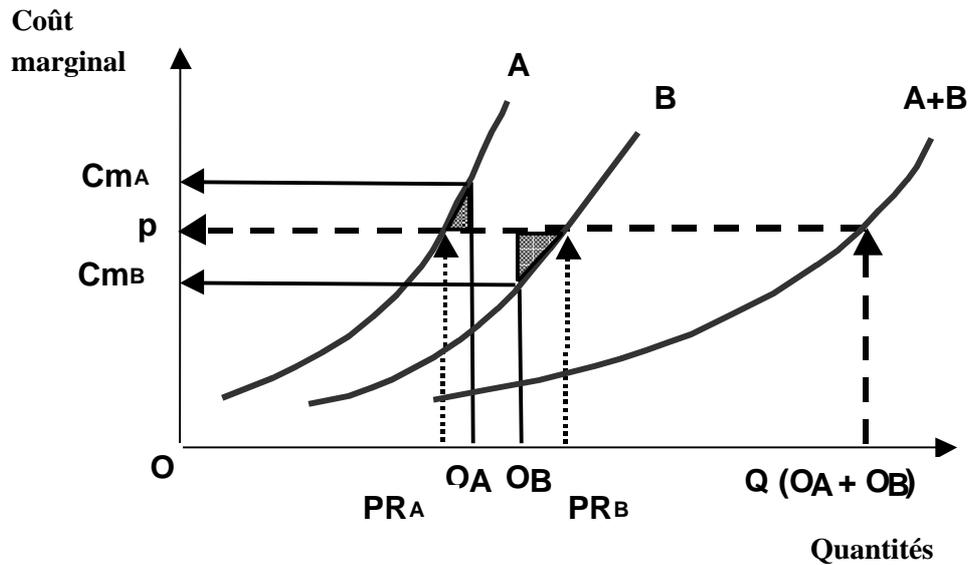
Prenons le cas de deux distributeurs A et B soumis à des objectifs de production O_A et O_B . La réalisation de l'objectif O_A se traduirait pour le distributeur A qui bénéficie d'une ressource de moins bonne qualité par un coût marginal C_{mA} plus important. La possibilité d'échanger les certificats lui permet de limiter sa production à PR_A , puis d'acheter des certificats au prix d'équilibre p pour atteindre la quantité fixée O_A . De son côté, le producteur B accroît sa production jusqu'à PR_B et revend son excédent de certificats sur le marché au prix p . L'introduction des certificats entraîne une réduction du coût de réalisation de l'objectif ($Q = O_A + O_B$) matérialisée par les surfaces en grisé, par rapport à une situation sans flexibilité où les opérateurs sont soumis à des contraintes O_A et O_B .

⁸ L'Italie prévoit la mise en œuvre d'un marché de certificats verts en 2002, avec au départ un quota imposé de 2 % de renouvelables.

⁹ Le projet de création d'un marché de certificats verts au Danemark envisage d'imposer aux consommateurs l'achat d'une partie de leur électricité à partir de sources renouvelables. La contrainte pèsera de fait sur les distributeurs qui devront justifier chaque année de l'achat d'une proportion d'électricité renouvelable pour le compte de leurs clients. Le projet prévoit d'imposer un quota de 20% à l'horizon 2003 alors que la proportion d'électricité renouvelable était, au Danemark, de 10% en 2000 !

¹⁰ Dans le cas de l'éolien, par exemple, il est clair qu'un distributeur situé à proximité d'une zone côtière bénéficiera d'une ressource éolienne plus favorable conduisant à des coûts de production plus faibles qu'un distributeur situé à l'intérieur des terres.

Fig. 3 : Fonctionnement du marché de certificats verts



Certes, on pourrait, sans flexibilité, atteindre le même résultat en imposant des contraintes différenciées aux opérateurs. Mais, en situation d'information imparfaite pour la puissance publique et probablement aussi pour les opérateurs eux-mêmes, il est très difficile d'attribuer des objectifs correspondant aux quantités efficaces (PR_A et PR_B). Le système d'échange de certificats permet d'attribuer des objectifs spécifiques (O_A et O_B) à l'ensemble des opérateurs tout en garantissant la minimisation du coût global de réalisation de l'objectif par l'égalisation des coûts marginaux de production.

On notera que dans cette même situation, un mécanisme d'enchères concurrentielles portant sur une quantité $O_A + O_B$ conduirait au même résultat. Le système des prix garantis produirait également une allocation efficace des quantités produites par les distributeurs, mais pas nécessairement la quantité globale recherchée, compte tenu du manque d'information sur la forme des courbes de coût marginal de production.

3.2. L'asymétrie des approches prix / quantité en situation d'information imparfaite

En situation d'information parfaite, les approches du contrôle des pollutions par les prix ou par les quantités présentent une grande symétrie. Il est ainsi indifférent d'instaurer une taxe t conduisant à une quantité globale de polluants Q_m , ou de mettre en vente des droits correspondant à la même quantité Q_m , le prix d'équilibre s'établissant alors au niveau de la taxe t . L'autorité administrative peut fixer le "prix" dans le cas de la taxe, ou la "quantité" dans le cas des permis, pour atteindre un même objectif de limitation de la pollution.

Les approches par les prix ou par les quantités ne sont toutefois plus équivalentes en situation d'information limitée et d'incertitude (Cropper et Oates, 1992). Ainsi, lorsque les courbes de coût de dépollution ne sont pas connues, la taxe offre un certain contrôle sur le coût des mesures à mettre en œuvre que l'approche par les quantités ne permet pas. Certes, l'approche par les prix ne permet pas a priori une connaissance du coût global de dépollution. Mais en

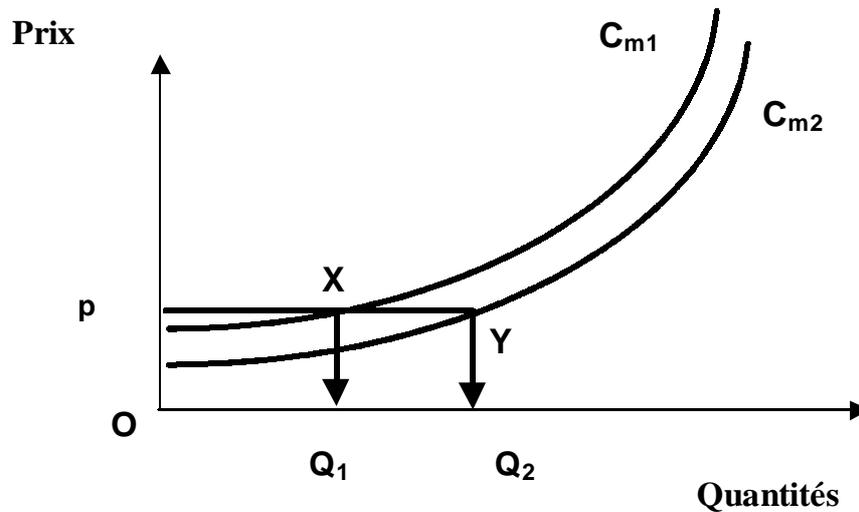
plafonnant le coût marginal, la taxe fixe une limite aux mesures anti-pollution à mettre en œuvre et élimine les options trop coûteuses.

A l'inverse, l'approche par les quantités ne permet pas, si la forme des courbes de coût n'est pas connue, de savoir a priori quelles solutions techniques devront être employées pour atteindre la réduction de pollution visée. Le coût marginal des options techniques à mettre en œuvre n'est pas connu, et a fortiori, le coût global de réduction de la pollution. L'approche par les quantités offre, en revanche, un contrôle direct sur la quantité de polluants autorisée. Et si de nouvelles informations scientifiques justifient une limitation des quantités autorisées, celle-ci pourra être obtenue en limitant le nombre de permis en circulation, le prix des permis s'ajustant en conséquence. Dans le cas de l'approche par les prix, il faudrait des ajustements successifs sur le niveau de la taxe pour atteindre le niveau de pollution souhaité.

La symétrie entre les approches prix et quantités n'est donc pas totale, l'une ou l'autre approche pouvant être privilégiée selon la forme respective des courbes de coût de dépollution et de dommages (Weitzman, 1974). Dans le cas présent des politiques de changement climatique reposant sur les renouvelables, la forme des courbes de dommages n'est pas connue, et une analyse très simplifiée conduit à privilégier l'approche par les quantités lorsque la pente de la courbe de coût marginal est faible. L'approche par les prix conduirait, en effet, en cas d'erreur d'estimation sur la forme de la courbe de coût, à un résultat quantitatif très éloigné de l'objectif visé. Inversement, il conviendrait d'adopter l'approche par les prix lorsque la pente de la courbe de coût est plus forte, car la répercussion sur les quantités produites est alors relativement faible.

Ce résultat apparemment évident permet néanmoins de comprendre pourquoi, paradoxalement, dans le domaine des renouvelables, les politiques incitatives basées sur les prix garantis sont critiquées pour leur coût trop important. Certes, contrairement aux approches basées sur les quantités, les prix de reprise fixent une valeur maximale au coût marginal des options qui seront mises en œuvre et garantissent d'une certaine façon que les coûts resteront dans des limites raisonnables. Mais si on fait l'hypothèse que les courbes de coût de l'éolien sont, dans la phase actuelle, relativement plates¹¹, on observe qu'une faible variation dans le prix d'achat proposé a des répercussions importantes sur les quantités produites. Le coût global de réalisation de l'objectif étant donné par le produit $p \times Q$, la fixation d'un prix de reprise mal estimé se traduit alors par une forte production d'électricité d'origine éolienne et un volume de subventions publiques très important. En revanche, l'approche par les quantités permet de limiter ce risque car l'organisation d'enchères successives autorise un contrôle total sur les quantités et donc sur le volume de subventions publiques.

¹¹ La forme des courbes de coût n'est pas connue avec précision. Intuitivement, on peut considérer que ces courbes sont relativement plates, à technologie donnée, parce que les sites favorables (régions côtières) sont encore peu exploités.

Fig.4 : Prix et quantités en situation d'incertitude

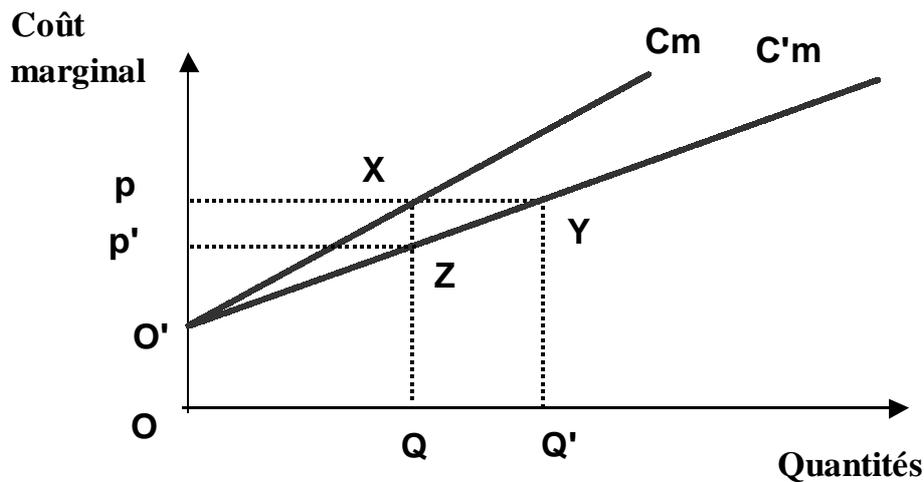
3.3. Les différences d'efficacité dynamique : l'impact sur le changement technique

L'analyse théorique de l'impact des différents instruments de politique environnementale sur le progrès technique conclut généralement que les instruments économiques sont sur ce plan plus efficaces que la réglementation (Jaffe et alii, 1999). Le progrès technique permet, en effet, de diminuer le coût du respect de la réglementation pour les firmes. Par contre, la réglementation ne les incite pas à aller plus loin que la norme imposée, et ce d'autant moins qu'elles pourraient alors craindre un effet de cliquet de la part des pouvoirs publics. Les systèmes de taxes ou de permis sont plus incitatifs au changement technique dans la mesure où il en résulte, pour les firmes, une réduction des coûts de dépollution ainsi qu'une économie de taxe ou d'achat de permis.

Dans le cas présent des instruments d'incitation au développement des énergies renouvelables, taxes, enchères ou permis conduisent à des partages différents du surplus résultant du changement technique qui en laissent une part plus ou moins élevée aux producteurs innovants.

Avec un prix garanti de niveau p , la prise en compte du progrès technique conduit à une diminution des coûts de production de C_m à C_m' , et induit un accroissement de la production d'énergie renouvelable de Q à Q' . Dans cette hypothèse où les prix restent constants, la collectivité bénéficie de l'accroissement de la production et les producteurs conservent le surplus résultant du progrès technique (surface $O'XY$).

Fig. 5 : Impact des prix garantis sur le changement technique



Dans un système d'enchères portant sur la même quantité Q , la prise en compte du progrès technique conduit au point d'équilibre Z . Le surplus $O'XZ$ bénéficie ici aux consommateurs, ou aux contribuables, si les prix sont attribués en fonction du prix d'enchère (*pay as bid*). Si par contre, les prix sont déterminés en référence au projet marginal ("prix d'enchère unique"), une partie du surplus reste acquise aux producteurs mais après diminution de la surface $pXZp'$. Dans un système de certificats verts, pour une quantité Q il y aurait aussi baisse du prix d'équilibre vers p' et partage du surplus de façon comparable à un système d'enchères à prix unique.

L'incitation à innover est donc plus importante dans le cas de l'approche par les prix puisque les producteurs conservent alors le surplus résultant du progrès technique. L'incitation est moindre dans le cas d'une approche par les quantités, mais la règle d'enchère est déterminante, le cas le plus défavorable pour les producteurs étant celui des enchères de type *pay as bid*. Les producteurs ne sont pas directement incités à innover par cette approche qui attribue aux consommateurs les gains de surplus. Par contre l'incitation demeure sous un autre angle : les producteurs sont tenus de rester compétitifs et donc de chercher à profiter du progrès technique en raison de la pression concurrentielle qu'imposent les enchères.

4. L'impact des conditions de mise en œuvre des instruments d'incitation sur leur efficacité

Plusieurs filières d'énergie renouvelable ont profité à des degrés divers des cadres incitatifs instaurés dans les pays industrialisés depuis 20 ans. L'impact de ces instruments est particulièrement marqué dans le cas de l'éolien qui approche aujourd'hui de la compétitivité avec les technologies classiques de production d'électricité et que l'on prend ici comme référence. L'éolien devrait ainsi assurer, avec la biomasse dans une moindre mesure, l'essentiel de l'accroissement de la production d'électricité renouvelable nécessaire pour atteindre les objectifs fixés par la Commission européenne¹².

¹² Pour la France, on estime que l'accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable compatible avec la Directive européenne se répartira de la façon suivante : photovoltaïque (1%), géothermie (2%), petite hydroélectricité (9%), bioélectricité (13%) et éolien (75%) (*Systèmes Solaires* - n°141, 2001).

Les performances de la technologie sont toutefois insuffisantes pour que ce développement s'effectue de façon spontanée, en l'absence d'internalisation des externalités négatives liées aux sources d'énergie classiques. Le maintien, voire le renforcement des politiques incitatives est donc indispensable pour que les objectifs ambitieux que se sont fixés certains pays soient atteints. Les objectifs devenant plus ambitieux et les efforts à consentir plus importants, la question de l'efficacité des instruments à mettre en œuvre et de leurs coûts ne peut plus être négligée.

Depuis 1990, les deux instruments privilégiés par les pays européens pour soutenir le développement de l'énergie éolienne sont les tarifs d'achat garantis et les systèmes d'enchères concurrentielles, avec des résultats très différents selon l'instrument choisi. L'impact de ces politiques sera analysé selon différents critères :

- la capacité à stimuler la production d'électricité renouvelable,
- l'efficacité dynamique et l'incitation à la baisse des coûts,
- le partage du surplus et l'incitation à l'innovation,
- le coût global pour la collectivité et les effets induits.

Les certificats verts se prêtent pour l'heure difficilement à une analyse sur la base de ces mêmes critères en raison du caractère limité des expériences pilotes en cours. Par contre on examinera l'intérêt qu'ils pourraient présenter dans une démarche internationale de contribution conjointe de plusieurs pays à la préservation du climat. De façon concrète ce sera le cas des Etats membres de l'Union européenne avec la prescription d'objectifs de production à base d'énergie renouvelable dans le cadre de la nouvelle Directive européenne sur la production d'énergie renouvelable de 2001.

4.1. L'efficacité comparée des prix garantis et des systèmes d'enchères

On se référera successivement aux quatre critères énoncés.

Stimulation de la production d'électricité renouvelable : l'incitation à l'entrée

Les deux systèmes présentent des profils d'incitation à l'entrée radicalement différents en termes de perspectives de rentabilité, de risque et de coût de transaction. Les tarifs d'achat instaurés en Allemagne, au Danemark et en Espagne ont entraîné un développement très soutenu de la filière, à la fois sur le plan des capacités installées et sur le plan industriel (Chabot, 2000 ; Gutermuth, 2000 ; Wagner, 2000)¹³. Ainsi, ces trois pays représentaient à eux trois plus de 90% de la capacité additionnelle installée en Europe en 1999 (cf. tableau 1).

¹³ Le cas espagnol est moins connu que les cas allemand et danois bien documentés. Avec 2235 MW de puissance éolienne installée début 2001, l'Espagne présente depuis quatre années des taux de croissance supérieurs à 80% et occupe désormais la troisième position au niveau européen. Le cadre incitatif donne le choix aux producteurs entre un prix d'achat garanti pour chaque kWh produit (0,066 euro en 1998, puis 0,063 en 1999), ou un prix variable calculé à partir du prix du marché plus une prime par kWh produit (0,031 euro en 1998, puis 0,029 en 1999). L'objectif de la Loi électrique de novembre 1997 est d'atteindre une contribution de 12% de la consommation primaire d'énergie par les énergies renouvelables d'ici 2010 en s'appuyant principalement sur les prix garantis, ce qui ne paraît pas hors de portée.

Les bonnes perspectives de rentabilité des investissements offertes par des niveaux de prix relativement élevés sont la principale raison de l'efficacité de ce système. Le succès de cet instrument s'explique également par la faiblesse du risque encouru par les développeurs de projets puisque les subventions sont allouées à tous les nouveaux projets et pour la durée d'amortissement de l'installation¹⁴. Dès lors, le risque de marché est nul et la rentabilité des projets dépend essentiellement de la capacité des investisseurs à maîtriser leurs coûts. Enfin les coûts de transaction (préparation de projet, procédure de sélection) sont réduits par rapport à l'autre système dont la mise en œuvre est lourde et coûteuse.

Tableau 1 : Impact des instruments d'incitation sur la capacité éolienne installée en Europe

Incitations	Pays	Capacité installée en MW (fin 1999)	Capacité additionnelle MW (en 2000)
Prix d'achat garantis	Allemagne	4445	1668
	Danemark	1742	555
	Espagne	1530	872
	TOTAL	7717	3095
Enchères	Royaume-Uni	356	53
	Irlande	73	45
	France	23	56
	TOTAL	452	154

Source : *WindPower Monthly*, The Windindicator (<http://www.wpm.co.nz>), mai 2001.

Les niveaux de prix sensiblement inférieurs obtenus par les systèmes d'enchères (cf. tableau 2) conduisent très logiquement à des capacités installées beaucoup plus limitées. L'écart de résultat est très important avec les mécanismes de prix garantis. Il pourrait s'expliquer par la forme relativement plate des courbes de coût de l'énergie éolienne dans la phase actuelle : à un quasi doublement du coût marginal correspond alors une augmentation conséquente des quantités associées.

Tableau 2 : Comparaison des tarifs d'achat du kWh éolien en Europe en 1998 (en Euros/kWh)

Prix garantis			Prix moyens d'enchères	
Allemagne	Danemark	Espagne	Royame-Uni	France
0,086	0,079	0,068	0,041	0,048

Source: EC ; 1999 ; NFFO ; Eole 2005.

Le second facteur qui affecte l'attractivité des systèmes d'enchères est le manque de prévisibilité sur la rentabilité des projets à soumettre. L'attribution des subventions au terme d'une procédure de mise en concurrence introduit de fait un élément d'incertitude et un risque nouveau¹⁵, les coûts de préparation des propositions restant à la charge des porteurs de projets en cas d'insuccès. D'autre part, la logique du système d'enchères amène à une forte compression des marges et à des taux de rentabilité attendus des projets sensiblement

¹⁴ Dans la nouvelle loi allemande, les tarifs d'achat sont indexés sur les prix de gros de l'électricité et donc susceptibles d'évoluer pour les nouveaux arrivants, mais ils sont fixés une fois pour toute pour un projet réalisé. Auparavant, les tarifs d'achat étaient ceux de l'année en cours sans garantie sur le long terme.

¹⁵ Dans le cadre du NFFO-5, 408 soumissions ont été examinées, dont 147 refusées.

inférieurs à ceux que procurent les prix garantis¹⁶. La balance entre risques encourus et profits attendus est ainsi clairement en défaveur des enchères concurrentielles et rend ce système moins attractif pour les investisseurs.

Un dernier facteur affectera la faisabilité des projets dans le cadre du système d'enchères. Certains aspects (études d'impact, information et intéressement des populations, intégration au site...), en apparence moins essentiels, reçoivent une attention réduite dans la phase d'élaboration des projets. Il en résulte dans certaines régions, au nord de l'Angleterre notamment, de forts mouvements d'opposition. Par comparaison l'acceptabilité des projets est bien meilleure dans les pays qui pratiquent les prix garantis car les meilleures conditions de rentabilité qu'ils offrent permettent d'éviter la concentration des projets sur les sites les plus performants, ou l'installation de très grandes fermes éoliennes, plus difficilement acceptables. Ce système incitatif permet la gestion des préférences collectives par une internalisation implicite des externalités visuelles. Il en résulte une répartition des projets plus homogène sur l'ensemble du territoire ; ainsi, en Allemagne, alors que l'essentiel du potentiel éolien est concentré en mer du Nord, seuls 50% des projets éoliens y sont installés. L'absence de concurrence entre les projets et des tarifs d'achat plus favorables ont contribué à instaurer une dynamique de développement plus assurée parce que moins déséquilibrée sur le plan territorial et moins contestée localement.

Efficacité dynamique et incitation à la baisse des coûts et des prix

L'insuffisante incitation à la baisse des coûts est considérée comme le principal point faible des formules de prix d'achat garantis alors qu'à l'inverse les systèmes d'enchères concurrentielles se sont montrés sur ce plan particulièrement efficaces (Mitchell, 1995 ; Mitchell, 2000).

Les procédures successives d'appel d'offres dans le cadre du NFFO (Non-Fossil Fuel Obligation) se sont soldées par une décroissance régulière des prix attribués aux projets retenus. Le prix moyen des propositions, toutes technologies confondues, qui était, dans le cadre du NFFO-3 (1994) de 6,7 ceuro/kWh a atteint 4,2 ceuro/kWh pour le NFFO-5 (1998). Ce prix n'était que de 0,15 ceuro/kWh au-dessus du prix d'achat de référence du pool pour la période correspondante (Kühn et alii, 1999).

Parallèlement, les prix d'achat garantis ont évolué beaucoup moins rapidement en raison principalement de la difficulté politique à afficher un recul du soutien accordé par les pouvoirs publics aux énergies renouvelables. La baisse des coûts d'investissement et les gains de rendement obtenus sur certaines filières d'énergie renouvelable, en particulier dans le cas de l'éolien, ne sont que partiellement reflétés dans la diminution observée sur les prix d'achat garantis en Allemagne (cf. tableau 3). Cette relative stabilité des prix conduit paradoxalement à augmenter les subventions sur les nouveaux projets qui bénéficient du progrès technique.

¹⁶ Le niveau de rentabilité des investissements est en moyenne de l'ordre de 15 à 25% avec les prix garantis et de 8 à 12% pour les enchères concurrentielles (Observ'ER, 1999).

Tableau 3 : Evolution des prix d'achat du kWh éolien

		1993	1994	1995	1996	1997	1998
Allemagne	pfennig /kWh	16,57	16,93	17,28	17,21	17,15	16,79
Royaume-Uni	pence /kWh	n.d	4,43	n.d	n.d	3,56	2,88
Allemagne	euros 99/kWh	0,091	0,091	0,091	0,089	0,089	0,086
Royaume-Uni	euros 99/kWh	n.d	0,076	n.d	n.d	0,057	0,045

Sources : pour l'Allemagne (EC, 1999) et, pour le Royaume-Uni, *Fifth renewables order for England and Wales*, OFGEM, septembre 1998.

Si les systèmes d'enchères concurrentielles créent donc une plus forte incitation à la baisse des prix et des coûts des énergies renouvelables, cette observation doit être nuancée. La réduction des prix d'enchères peut avoir d'autres origines que le progrès technique (baisse des coûts d'investissement, amélioration des rendements, apprentissage des opérateurs, recherche d'effets d'échelle...) ou ses effets collatéraux (baisse du coût du crédit associée à une évolution de la perception du risque technologique). Dans le cas britannique, on peut observer d'autres facteurs relevant de la pression concurrentielle : la recherche d'effet de taille sur site, la non-intériorisation des externalités visuelles. La recherche d'effet de taille procède d'une démarche systématique de réduction des coûts par l'exploitation des économies d'échelle (concentration d'éoliennes de grande taille dans des fermes éoliennes) et des meilleurs sites disponibles.

Partage du surplus et enjeux pour l'innovation

La question de l'efficacité dynamique des instruments doit être posée dans son ensemble. L'analyse du partage du surplus permet d'élargir l'approche en ne se limitant pas à la seule capacité de stimulation du progrès technique en sortant du seul effet de la baisse de coûts sur courte période en prenant en compte la possibilité d'instaurer une dynamique durable de progrès technique. L'instauration d'une telle dynamique dépend en partie des investissements réalisés par les constructeurs dans la recherche-développement qui sont à l'origine de certaines améliorations et des processus d'apprentissage technologique liés à l'élargissement de la diffusion.

Prix garantis et enchères concurrentielles en *pay as bid* diffèrent en terme de partage du surplus résultant du progrès technique. Dans le premier cas, la baisse des coûts profite aux producteurs-investisseurs et aux constructeurs si les prix ne sont pas réajustés pour tenir compte des évolutions techniques, alors que dans le second, le jeu des enchères concurrentielles conduit les producteurs à répercuter les baisses de coût au profit des contribuables ou des consommateurs.

Mais le faible impact sur la production d'énergie renouvelable auquel conduisent les instruments de stimulation par les quantités limite les effets d'apprentissage technologique des constructeurs locaux dans les pays concernés. Rappelons que les trois pays leaders en Europe ont installé, grâce à la stimulation par les prix d'achat garantis, une capacité de production 60 fois supérieure en 1999 à celle des pays ayant adopté les enchères concurrentielles.

En matière d'effort de R&D engagé par les industriels, la compression des marges résultant du jeu des enchères limite les budgets alloués par les constructeurs et leurs fournisseurs. De ce fait, dans des économies interdépendantes ayant adopté des dispositifs différents, la diminution des coûts constatée sur les centrales éoliennes avec les systèmes d'enchères

s'alimente par les progrès techniques réalisés par les constructeurs des pays où les politiques de soutien sont plus favorables. Dans ces pays, en laissant les industriels profiter de la rente différentielle, les systèmes de prix garantis autoriseraient les constructeurs à investir plus massivement dans la R&D et permettraient de consolider leur base industrielle.

Coût global de soutien aux énergies renouvelables et effets induits

La politique de prix garantis présente une grande simplicité de mise en œuvre sur le plan administratif. En revanche, elle s'est révélée très coûteuse en subventions publiques, contrepartie directe de son impact positif sur la production d'énergie renouvelable. En 1998, les subventions payées par le gouvernement danois représentaient ainsi plus de 100 millions d'euros et il était prévisible que ce montant continue à croître du fait de l'augmentation régulière des capacités, créant un poids de plus en plus important sur le budget de l'Etat (Morthorst, 1999). Cette politique impose aussi des subventions croisées élevées qu'on peut estimer en Allemagne à environ 200 millions d'euros en 2000.

Pour les systèmes d'enchères, la possibilité de contrôler le volume des subventions publiques allouées à la production d'électricité renouvelable est un avantage important. Sur ce plan, l'approche par les quantités a permis une meilleure maîtrise des dépenses publiques en organisant une progression par étapes qui a révélé progressivement la forme de la courbe de coûts. Un résultat comparable aurait pu être obtenu avec des prix d'achat garantis, mais le système est institutionnellement rigide, ce qui empêche de maîtriser sa dynamique en faisant évoluer les prix garantis en fonction du progrès technique.

Sur le plan industriel, l'impact est également très différent entre les pays ayant instauré des prix garantis avantageux et les pays ayant choisi les enchères concurrentielles. L'Allemagne, le Danemark et l'Espagne regroupaient, en 1998, huit des dix premiers constructeurs mondiaux d'aérogénérateurs. A l'inverse, au Royaume-Uni, l'objectif gouvernemental de développement d'une industrie compétitive n'a pas été atteint. L'ouverture prématurée à la concurrence a produit un effet d'éviction sur les constructeurs britanniques peu expérimentés au profit des industriels danois qui, mieux préparés par un marché intérieur beaucoup plus large, ont fourni la majorité des équipements utilisés par les centrales éoliennes en Grande Bretagne¹⁷.

4.2. Les certificats verts : une nouvelle approche par les quantités compatible avec la libéralisation du marché de l'électricité

En dépit de leur apparente efficacité à stimuler le développement des énergies renouvelables, les prix garantis pourraient disparaître dans les prochaines années au profit d'un système de certificats verts. La raison de cette évolution est double :

- la croissance rapide de la production et l'augmentation corrélative des subventions accordées aux énergies renouvelables financées par les budgets publics comme au Danemark, ou les comptes des compagnies électriques locales contraintes d'acheter toute production d'électricité renouvelable sur leur territoire comme en Allemagne. Dans ce

¹⁷ Les constructeurs danois ont équipé une grande majorité des sites éoliens réalisés dans le cadres des NFFO (Hemmelskamp, 1998).

cas, la charge du financement des énergies renouvelables n'est pas répartie de façon équitable entre les consommateurs d'électricité qui en sont les premiers bénéficiaires.

- La libéralisation de l'industrie électrique en Europe qui se traduit par la possibilité pour un nombre croissant de consommateurs (industriels, gros tertiaires, voire consommateurs domestiques dans certains pays) de s'approvisionner auprès du fournisseur de leur choix. Le coût du soutien aux renouvelables, inégalement réparti, entraîne une distorsion de la concurrence entre les fournisseurs, incompatible avec l'ouverture du marché européen souhaitée par la Commission. Il n'est plus possible pour l'entreprise en concurrence qui est contrainte d'acheter l'électricité renouvelable produite sur son territoire de répercuter ses surcoûts sur ces consommateurs éligibles. Si elle reporte les surcoûts sur les consommateurs non éligibles, des problèmes d'équité se posent inéluctablement entre clients des différentes entreprises.

Les systèmes de prix garantis peuvent évoluer de telle sorte qu'ils ne faussent pas la concurrence et que l'ensemble des consommateurs participent à l'effort de soutien aux énergies renouvelables. L'Allemagne a ainsi mis en place en 2000 un système de répartition du coût du soutien aux énergies renouvelables entre les entreprises électriques. Néanmoins, les certificats verts, conçus dans une optique de compatibilité des cadres incitatifs avec l'ouverture à la concurrence, sont plus en adéquation avec les nouvelles formes de marché électrique (Voogt et alii, 2000 ; Wohlgemuth, N., 1999).

L'apport des certificats verts

Par le biais des certificats verts, la production d'énergie renouvelable est intégrée d'une certaine façon au marché de l'électricité au lieu d'en être séparée dans le cas des autres systèmes d'incitations. Les certificats verts sont attribués aux producteurs d'électricité renouvelable qui valorisent leur production de deux façons : en revendant l'électricité produite au prix du marché de gros, et en revendant les certificats aux opérateurs-revendeurs soumis à l'obligation d'atteindre un quota donné. Les mécanismes de soutien au développement des renouvelables ne sont plus alors déconnectés de l'évolution des prix de l'électricité, comme c'était le cas avec les enchères concurrentielles ou les prix garantis. Le prix total du kWh vert qui additionne au prix du marché de gros le prix du certificat vert par kWh, devrait s'établir en théorie au niveau du coût complet de l'unité marginale à installer pendant la période de croissance de la production verte, le prix du certificat vert à un moment donné s'établissant comme différence entre ce coût marginal en développement et le prix de l'électricité de gros.

Le système des certificats verts permet donc d'imposer des objectifs de production d'électricité renouvelable aux différents fournisseurs d'électricité lorsque ceux-ci ont accès à des ressources différentes, en favorisant l'efficacité allocative d'ensemble. L'échange de certificats verts permet d'exploiter les gisements les moins coûteux. L'intérêt de ce dispositif est plus important dans un cadre international car les opportunités d'échanges sont plus élevées que dans un cadre purement national, notamment lorsque le marché électrique est petit ou lorsqu'il existe un opérateur pratiquement unique en fourniture comme en France.

Il prendrait ainsi tout son intérêt à l'échelle européenne avec l'instauration des objectifs nationaux de production d'électricité renouvelable à l'horizon 2010 pour l'ensemble des Etats membres, dans le cadre de la Directive européenne sur "l'électricité verte"¹⁸. Dans le cadre de

¹⁸ Voir note 1.

cette Directive, les objectifs assignés aux Etats membres sont différenciés pour tenir compte des potentiels existants et des efforts déjà effectués. Toutefois, les courbes de coûts marginaux de production de chaque pays n'étant pas connues, cette attribution des objectifs n'entraîne pas nécessairement une répartition efficace de l'effort¹⁹. Par le biais des échanges de certificats, les ressources disponibles à moindre coût pourront être exploitées en priorité et l'objectif global atteint de la façon la plus économique. Dans cette hypothèse, la mise en cohérence des systèmes d'aide nationaux devrait être assurée pour qu'il n'en résulte pas de distorsions dans le fonctionnement du marché. En effet, si des mécanismes d'incitation complémentaires sont maintenus par certains Etats, le prix des certificats y sera artificiellement plus bas et la répartition globale de l'effort ne sera alors ni efficace ni équitable.

L'intérêt théorique des certificats ne doit cependant pas masquer les difficultés que soulève la création d'un marché. Pour fonctionner, un marché de certificats verts nécessite que de nouvelles fonctions soient assurées - la certification des producteurs d'électricité renouvelable, l'enregistrement des échanges, la comptabilisation et le contrôle avec imposition de pénalités en cas de non-respect des obligations - qui induisent des coûts d'administration importants. Les quotas imposés doivent être modérés à l'origine pour ne pas induire des tensions initiales trop fortes sur les prix des certificats mais progressivement renforcés pour stimuler le changement technique en restant dans les limites d'un développement industriel maîtrisé.

Le risque majeur encouru par le système reste celui de la volatilité du prix du certificat et de ses conséquences négatives sur les investisseurs, ce qui survient si le marché est étroit et manque de liquidité du fait du faible nombre de participants (Morthorst, 2000). Du côté de l'offre, les candidats à l'entrée doivent pouvoir anticiper un prix futur afin de décider d'investir dans de nouvelles capacités. La création d'un marché à terme avec des contrats longs permettrait de limiter la volatilité des prix des permis liée aux facteurs climatiques et d'estimer la rentabilité future des projets. En ce qui concerne la demande, la possibilité d'emprunts (*borrowing*) ou celle de mises en réserve (*banking*) constituent d'autres moyens de limiter les variations de prix que pourraient entraîner des limites trop strictes sur la validité des certificats.

L'encadrement des prix des certificats par des systèmes de prix plancher et de prix plafond est également envisagé pour que les prix des certificats ne sortent pas de limites acceptables pour les investisseurs et les acheteurs (Fristrup, 2000). Le dispositif de prix plancher est fondé sur l'achat des certificats verts à un prix convenu par un régulateur si l'offre est trop abondante. Quant au système de prix plafond, sa mise en œuvre est rendue nécessaire par le risque de rareté relative de l'offre de certificats qui se traduirait par de fortes hausses des prix. Il serait assuré par la vente de certificats par ce même régulateur à un prix garanti à des acheteurs si le prix de marché dépasse ce niveau ou, ce qui revient au même, par l'instauration d'une taxe imposée aux acheteurs de certificats qui n'auraient pas rempli leurs quotas. L'argent collecté est redistribué ensuite aux producteurs-vendeurs de certificats par ordre de prix croissant par un système d'enchères inversées. Ainsi les acheteurs de certificats auraient l'assurance d'atteindre leur quota d'énergies renouvelables à un prix marginal égal ou inférieur à ce prix plafond.

¹⁹ Par exemple il est possible que l'Allemagne, dont l'objectif est le passage de 2,4 % en 1997 à 10,3% en 2010 et qui bénéficie d'un potentiel éolien limité et déjà largement exploité, ait un effort plus important à faire que l'Irlande dont l'objectif est de passer de 1,1% en 1997 à 11,7% en 2010 et où la ressource éolienne est abondante.

Les performances à attendre du système des certificats

L'approche par les certificats verts s'apparente à une approche par les quantités telle qu'analysée précédemment mais elle se distingue de l'approche par les enchères par le fait qu'on attribue à chaque opérateur des objectifs quantitatifs. Les performances concrètes de ce type de dispositif ne peuvent être évaluées à la lumière des expériences qui, pour l'heure, n'ont démarré qu'aux Pays-Bas et au Danemark. On peut cependant mettre en avant quelques avantages potentiels.

- **Stimulation du développement des capacités.** Les objectifs de politique environnementale peuvent être facilement définis en termes quantitatifs autorisant une progression régulière depuis une situation de départ connue avec l'instauration de quotas plus ou moins mobilisateurs. On notera que, comme déjà indiqué, le recours au système de marché des certificats introduit un élément d'instabilité par rapport à l'approche par les enchères, qui est lié à la volatilité du prix des certificats (cf. infra). Contrairement au système d'enchères, la rémunération des producteurs d'électricité renouvelable avec les certificats verts peut présenter un manque de prévisibilité qui pourrait être préjudiciable au développement de ces nouvelles technologies. La possibilité d'anticiper les prix futurs, associée à des niveaux de prix suffisamment rémunérateurs, sont des conditions essentielles pour que ces projets restent attractifs pour les investisseurs. Toutefois un marché de contrats à terme pourrait permettre de surmonter cette difficulté si le marché est suffisamment liquide. De plus en régime de croissance imposée par les quotas, les prix sur le marché seront en principe suffisamment rémunérateurs en raison de la pression exercée par la demande de certificats.
- **Incitation à la baisse des coûts.** L'instauration d'un marché de certificats verts présente une double incitation à la baisse des coûts. D'une part l'électricité produite par les installations d'énergie renouvelable est vendue sur le réseau au prix du marché qui est plutôt orienté à la baisse du fait de la déréglementation et de l'accroissement de la concurrence. D'autre part les producteurs d'électricité renouvelable sont soumis en permanence à une pression concurrentielle du fait de l'existence du marché des certificats verts. Cette pression joue aussi bien sur la maîtrise des coûts d'équipement pour les candidats à l'investissement que sur la maîtrise des coûts d'exploitation une fois les équipements installés.

5. Conclusion

Les instruments de stimulation du développement des énergies renouvelables agissent comme instruments des politiques environnementales en posant les mêmes dilemmes théoriques et pratiques. Comme pour celles-ci, dans des situations idéales les approches par les prix ou par les quantités sont censées être des moyens symétriques pour atteindre des objectifs de production d'électricité d'origine renouvelable. Mais cette symétrie disparaît lorsqu'on prend en compte l'incertitude et qu'on appréhende en dynamique l'efficacité des instruments au regard de la stimulation du progrès technique.

L'approche par les quantités est plus efficace pour contrôler le coût des politiques incitatives, car la mise aux enchères de quotas successifs autorise un contrôle indirect du coût marginal de production et donc du coût global. A l'inverse, le système de prix garantis entraîne un nombre d'entrées en production d'électricité renouvelable difficilement anticipable en raison de

l'incertitude sur les courbes de coût. Certes, l'ajustement du prix en fonction de la réponse des producteurs serait théoriquement possible, mais dans un environnement neutre. En pratique il se révèle difficile à opérer pour des raisons politiques et institutionnelles, ce qui ne permet donc pas de moduler les quantités.

En termes d'installation de capacités, l'approche par les prix a conduit à des résultats très supérieurs à l'approche par les quantités. En théorie, cet écart ne devrait pas exister, des prix d'enchères établis au même niveau que les prix garantis devant logiquement conduire à des capacités installées comparables. Cette différence s'explique par l'effet incitatif effectif des prix garantis qui confèrent une sécurité d'investissement aux développeurs de projet avec une meilleure prévisibilité offerte par les prix garantis et une stabilité du cadre incitatif existant aux yeux des développeurs.

En termes d'efficacité dynamique et de stimulation du changement technique, l'incitation à la baisse des coûts est plus forte avec le système d'enchères concurrentielles, cette baisse se répercutant sur les prix sous la pression de la concurrence entre les producteurs pour l'obtention des subventions. Dans le système de prix garantis, l'incitation à la baisse des coûts est bien moins forte, les baisses de coût de fabrication n'étant pas répercutées sur les prix garantis. Toutefois d'autres éléments de dynamique sont à l'œuvre. D'une part l'importance des quantités installées permet une baisse des coûts par l'apprentissage des constructeurs nationaux. D'autre part les systèmes de prix garantis autorisent ces constructeurs à investir plus massivement dans la R&D et à consolider leur base industrielle, ce dont témoigne le leadership des constructeurs d'éoliennes danois, allemands ou espagnols. A l'inverse le mécanisme à base d'enchères ne permet pas d'entretenir une dynamique durable de baisse de coûts et de prix, la limitation des marges ayant des répercussions sur la capacité des constructeurs à investir en R&D, sauf à bénéficier des progrès réalisés dans d'autres pays où un autre régime est en place. La plus grande efficacité des dispositifs de prix garantis pour atteindre les objectifs de développement des énergies renouvelables est de fait confirmée par l'abandon progressif des systèmes d'enchères concurrentielles devant le faible taux de réalisation associé.

Mais le débat prix / quantité n'est pas clos pour autant car les avantages potentiels que présentent les mécanismes d'échanges de certificats verts fondés sur l'imposition de quotas incitent un nombre croissant de pays à les mettre en œuvre pour atteindre des objectifs d'installation élevés de façon efficace économiquement. Un contrôle plus précis des quantités, la mise en concurrence des producteurs et l'incitation à la baisse des coûts figurent parmi les principales motivations à l'adoption des certificats verts. A ceci s'ajoute l'avantage que ce système présente par rapport aux autres en termes d'efficacité allocative. Cet avantage qui repose sur l'exploitation des différences de coûts marginaux peut être favorablement exploité à l'échelle européenne. Mais tant que certaines incertitudes concernant notamment le fonctionnement des marchés et la création d'un cadre jugé stable par les investisseurs n'auront pas été levées, leur efficacité réelle reste à démontrer.

Bibliographie

- Arrow, K., 1962, The economic implications of learning by doing, *Review of Economic Studies*, 29.
- Arthur, W.B., 1989, Competing technologies : increasing returns and lock-in by historical events, *Economic Journal*, 99 (1).
- Batley, S.L., Colbourne, D., Fleming, P.D, Urwin, P., 2001, Citizen versus consumer : challenges in the UK green power market, *Energy Policy*, 29 (6), pp. 479-487.
- Baumol, W.J., Oates, W.E., 1971, The use of standards and prices for protection of the environment, *The Swedish Journal of Economics*, (3), pp. 42-54.
- Berry, T., Jaccard, M., 2001, The renewable portfolio standard : design considerations and an implementation survey, *Energy Policy*, 29 (4), pp. 263-277.
- Chabot, B., 2000, Allemagne : des mesures sans précédent, *Systèmes Solaires*, (139), pp. 7-15.
- Cropper, M.L., Oates, W.E., 1992, Environmental economics : a survey, *Journal of Economic Literature*, XXX, pp. 675-740.
- Dosi, G., 1988, The nature of the innovative process. In G. Dosi, C. Freeman et alii (ed.) *Technical Change and Economic Theory*, London.
- European Commission, 1999, *Electricity from renewable energy sources and the internal electricity market*, Working Paper of the European Commission, SEC 99470, Bruxelles.
- Foray, D., Diversité, sélection et standardisation : les nouveaux modes de gestion du changement technique, *Revue d'Economie Industrielle*, (75), 1996, pp. 257-274.
- Fristrup, P., 2000, *Forwards, futures and banks : Price stability of Danish RES-E certificates*, Risø National Laboratory, Denmark.
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), 2000, *Rapport spécial du GIEC, scénarios d'émissions, Résumé à l'attention des décideurs*.
- Gutermuth, P-G, 2000, Regulatory and institutional measures by the state to enhance the deployment of renewable energies : German experiences, *Solar Energy*, 69 (3), pp. 205-213.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. and Stavins, R.N., 2000, *Technological change and the environment*, Resources for the Future, Discussion Paper 00-47, Washington.
- Kühn, I. et alii, 1999, New competition-based support schemes for electricity generation from renewable energy sources, Conference on *energy market liberalisation in Central and Eastern Europe*, Prague, septembre 1999.
- Observ'ER, 1999, *Certification et marché de l'électricité "verte"*, Etude réalisée pour l'Ademe, Rapport Final, Paris.
- Mitchell, C., 1995, The renewable NFFO, A review, *Energy Policy*, 23 (12), pp. 1077-1091.
- Mitchell, C., 2000, The England and Wales Non-Fossil Fuel Obligation : history and lessons, *Annual Review of Energy and Environment*, (25), pp. 285-312.

- Mirabel, F., Poudou, J.-C. et Percebois, J., Le financement des missions de service public dans un marché déréglementé : le cas de l'Electricité Verte, Colloque PIREE *Les instruments des politiques environnementales*, Sophia Antipolis, 5 et 6 avril 2001.
- Morthorst, P.E., 1999, Danish renewable energy and a green certificate market, Conference on *The Design of energy markets and environment*, Copenhagen (DK), 20-21 mai 1999.
- Morthorst, P.E., 2000, The development of a green certificate market, *Energy Policy*, 28 (15), pp. 1085-1094.
- OFGEM, 1998, *Fifth renewables order for England and Wales*, OFGEM.
- Pigou, A., 1932, *The Economics of Welfare*, Macmillan, Londres.
- Voogt, M., Boots, M.G., Schaeffer, G.J and Martens, J.W, 2000, Renewable electricity in a liberalised market : the concept of green certificates, *Energy and Environment*, 11 (1).
- Wagner, A., 2000, Set for the 21st Century : Germany's new renewable energy law, *Renewable Energy World*, 3 (2).
- Weitzman, M.L, Prices vs Quantities, *The Review of Economic Studies* , 41 (4), pp. 477-491, october 1974.
- Wiser, R., Pickle, S., 1997, *Green marketing, renewables, and free riders : increasing customer demand for a public good*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, [en ligne] www.eren.doe.gov/greenpower/wiser-free.pdf .
- Wohlgemuth, N., 1999, *Renewable energy promotion in competitive electricity markets*, Solar Energy Society, London.

Les Cahiers de Recherche de l'IEPE

Cahier 26	BLANCHARD O., CRIQUI P., TROMMETTER M., VIGUIER L.- Equity and efficiency in climate change negotiations : a scenario for world emission entitlements by 2030, juillet 2001, 30 p.
Cahier 25	MENANTEAU Philippe, FINON Dominique et LAMY Marie-Laure.- Prix versus quantités : les politiques environnementales d'incitation au développement des énergies renouvelables, mai 2001, 23 p.
Cahier 24	FINON Dominique.- L'intégration des marchés électriques européens : de la juxtaposition de marchés nationaux à l'établissement d'un marché régional, nov. 2000, 26 p.
Cahier 23	DESTAIS Ghislaine, GILLOT-CHAPPAZ Annick.- La productivité revisitée, juin 2000, 30 p.
Cahier 22	DAMIAN Michel et GRAZ Jean-Christophe.- Commerce international et développement soutenable : les grands paradigmes, sept. 2000, 31 p.
Cahier 21	CAVARD D., CORNUT P., MENANTEAU P.- Les pays en développement et la prévention du risque climatique : Quelles perspectives pour le mécanisme de développement propre ?, oct. 2000, 21 p.
Cahier 21bis	CAVARD Denise, CORNUT Pierre, MENANTEAU Philippe.- How could developing countries participate in climate change prevention: the Clean Development Mechanism and beyond, fév. 2001, 19 p.
Cahier 20	NOEL P.- La constitutionnalisation du régime juridique international des investissements pétroliers et la (re)construction du marché mondial, sept. 2000, 54 p.
Cahier 19	LOCATELLI C.- Les conditions de transposition des institutions de marché dans les économies en transition (Russie) : le cas de l'énergie, juil. 2000, 21 p.
Cahier 18	CRIQUI P., VIGUIER L.- Régulation des marchés de droits d'émission négociables pour le CO ₂ : une proposition de plafonds pour les quantités et pour les prix, janv. 2000, 20 p.
Cahier 18 bis	CRIQUI P., VIGUIER L.- Trading rules for CO ₂ emission permits systems : a proposal for ceilings on quantities and prices, fév. 2000, 20 p.
Cahier 17	FINON D.- Règles d'ouverture de marché et potentialités de déstabilisation d'une industrie électrique intégrée en économie ouverte. Scénarios institutionnels d'évolution de l'industrie électrique française, août 1999, août 1999, 33 p.
Cahier 16	LOCATELLI C.- La mutation de l'industrie pétrolière russe : vers l'émergence d'entreprises à l'occidentale ?, janv. 1999, 29 p.
Cahier 16 bis	LOCATELLI C.- The Russian oil industry restructuring : towards the emergence of western type enterprises ?, janv. 1999, 24 p.
Cahier 15	MENANTEAU P.- Apprentissage de la diversité et compétition entre options technologiques pour la production d'électricité photovoltaïque, avril 1998, 21 p.
Cahier 14	BLANCHARD O., CRIQUI P., TROMMETTER M., VIGUIER L.- Différenciation, équité internationale et efficacité dans la lutte contre le changement climatique global.- mai 1998, 33 p. (CR-98-14).- (Communication aux Journées AFSE 1998 sur l'Economie de l'environnement et des ressources naturelles, Toulouse, 11-12 mai 1998.)
Cahier 13	CRIQUI P., KOUVARITAKIS N.- Les coûts pour le secteur énergétique de la réduction des émissions de CO ₂ : une évaluation internationale avec le modèle POLES, oct. 1997, 21 p.
Cahier 12	FINON D.- La concurrence dans les industries électriques : l'efficacité au prix de la complexité transactionnelle et réglementaire ?, mars 1997, 25 p.
Cahier 11	LOCATELLI C.- Transition économique et 'résilience' organisationnelle : les enseignements de

	l'industrie du gaz en Russie, fév. 1997, 30 p.
Cahier 10	NOEL P.- Puissance structurelle et dynamique de l'économie politique mondiale : la scène pétrolière depuis 1980, nov. 1996, 32 p.
Cahier 9	BOURGEOIS B.- Les bifurcations de trajectoires technologiques dans les industries de process : le cas de l'industrie du raffinage dans les décennies quatre-vingt et quatre-vingt-dix, juin 1996, 25 p.
Cahier 8	DE LA VEGA NAVARRO A.- L'analyse des dynamiques du secteur pétrolier dans le développement économique du Mexique : fondements d'une problématique institutionnaliste, mai 1996, 32 p.
Cahier 7	FINON D. et collab.: LAMORT F., QUAST O., SONG K.- La dynamique d'organisation des industries de réseaux énergétiques : l'approche des apports de la Nouvelle Economie Institutionnelle, mai 1996, 47 p.
Cahier 6	MARTIN J.M.- Le changement technologique dans le domaine de l'énergie : dimension systémique et rôle des anticipations, mai 1996, 25 p.
Cahier 5	LEFEBVRE H. ; MENANTEAU P.- Rupture d'une situation de lock-in et introduction de la variété dans le secteur de l'éclairage, mai 1996, 27 p.
Cahier 4	MARTIN P.E.- The external costs of electricity generation : lessons of the US experience, mai 1995, 25 p.
Cahier 3	ISLAS SAMPERIO J.- Le contournement du "lock-in" établi dans les systèmes de production électrique : le cas de la turbine à gaz, avril 1995, 33 p.
Cahier 2	CRIQUI P., FINON D.- De l'écotaxe à l'harmonisation internationale des prix de l'énergie : un dépassement possible du conflit producteurs-consommateurs autour du partage de la rente.- Colloque ministère de l'Environnement, Ademe, CNRS sur Les recherches françaises en économie et sciences sociales sur l'effet de serre : bilan et perspectives, Paris, 12-14 avril 1995, 33 p. + annexes.
Cahier 1	LOCATELLI C.- La réorganisation de l'industrie des hydrocarbures russes : une mise en perspective, nov. 1994, 30 p.
Cahier 1 bis	LOCATELLI C.- The reorganization of the Russian hydrocarbons industry : an overview, nov. 1994, 27 p.

Les Cahiers sont disponibles en texte intégral sur le site internet de l'IEPE, à partir de 1996 :

<http://www.upmf-grenoble.fr/iepe/Publications/cahiers.html>