

Les certificats blancs face aux autres instruments de
politique publique pour les économies d'énergie :

Bilan de la littérature économique et
priorités de recherche

Philippe Quirion

Rapport pour l'Institut français de l'énergie

Version finale – 2 juin 2004

Sommaire

1. Introduction	3
1.1. Objectif de ce rapport	3
1.2. Pourquoi économiser l'énergie ?	3
1.3. Les principaux instruments disponibles	4
2. Analyse comparée des principaux instruments dans un modèle simple en information parfaite	5
2.1. Hypothèses	6
2.2. Résultats	7
2.3. Enseignements et limites du modèle	10
3. Additionalité et effet d'aubaine	11
3.1. La problématique et l'état des connaissances	12
3.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche	13
4. La mobilisation du potentiel rentable d'économies d'énergie	13
4.1. La problématique et l'état des connaissances	13
4.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche	16
5. L'effet rebond	17
5.1. La problématique et l'état des connaissances	17
5.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche	19
6. L'incitation au progrès technique	20
6.1. La problématique et l'état des connaissances	20
6.1.1. Les pouvoirs publics doivent-ils inciter au progrès technique ?	20
6.1.2. Comment inciter au progrès technique ?	21
6.1.3. Les travaux théoriques sur les politiques <i>demand-pull</i>	21
6.1.4. Les travaux empiriques sur les politiques <i>demand-pull</i>	22
6.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche	23
7. Vaut-il mieux fixer un prix ou une quantité ?	23
7.1. Robustesse à l'incertitude : problématique et état des connaissances	23
7.2. Robustesse à l'incertitude : pistes de recherche	24
7.3. Pouvoir de marché : problématique et état des connaissances	24
7.4. Pouvoir de marché : pistes de recherche	25
8. L'interaction entre instruments	25
8.1. La problématique et l'état des connaissances	25
8.1.1. Plusieurs instruments pour les mêmes postes de consommation	25
8.1.2. Plusieurs instruments pour différents postes de consommation	26
8.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche	27
9. Conclusions	27
9.1. Conclusions sur l'intérêt relatif des certificats blancs	27
9.2. Conclusions sur les pistes de recherche	28
Références	30
Annexe. Un modèle d'équilibre partiel pour comparer les instruments d'économie d'énergie	34
A.1. Certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie	34
A.2. Certificats blancs avec objectif en valeur absolue	35
A.3. Taxe ou PEN aux enchères, recettes reversés aux consommateurs	35
A.4. PEN distribués gratuitement ou taxe dont les recettes sont reversés aux fournisseurs d'énergie	36
A.5. Réglementation	36
A.6. Résultats numériques	36

1. Introduction¹

1.1. Objectif de ce rapport

Le thème des économies d'énergie et de l'efficacité énergétique², quelque peu retombé depuis le contre-choc pétrolier de 1986, connaît actuellement une nouvelle vigueur, en particulier, mais pas seulement comme nous le verrons ci-dessous, pour lutter contre le réchauffement climatique. De ce fait, une série de textes adoptés ou en cours de négociation, ont pour but, exclusif ou non, d'économiser l'énergie. Citons en particulier la directive qui va créer des quotas échangeables de CO₂ en Europe (13/10/03), le projet de directive-cadre sur l'éco-conception des appareils (07/08/03), le projet de directive sur l'efficacité et les services énergétiques (08/12/03), et les systèmes de certificats d'économie d'énergie en place au Royaume-Uni et en projet en Italie et en France.

La nouveauté de ces derniers systèmes et leur succès apparent au Royaume-Uni (Moisan, 2004) justifient de leur apporter une attention particulière. En même temps, il serait dommage de les analyser indépendamment des autres instruments de politiques publiques destinées à économiser l'énergie. En effet, les mêmes questions se posent souvent pour différents instruments, et l'efficacité d'un système donné ne peut s'apprécier qu'en comparaison avec celle des autres instruments disponibles. *Ce rapport porte donc sur les conditions d'efficacité et de faisabilité politique des principaux instruments des politiques publiques destinées à économiser l'énergie, en accordant une attention particulière aux systèmes de certificats blancs. Pour cela, nous synthétisons la littérature et dressons des pistes de recherche prioritaires.*

Soulignons que nous n'abordons pas les nombreuses questions auxquelles il est essentiel de répondre avant de mettre en place un système de certificats blancs, mais qui sont spécifiques à ces systèmes : quels acteurs inclure, comment comptabiliser les émissions... Pour cela, nous invitons le lecteur à se reporter à Baudry (2004), Guardiola Molla et al. (2004), Langniss et Praetorius (2004), Moisan (2004) ou Pagliano et al. (2003).

Ce rapport est structuré de la manière suivante. Après cette première section introductive, la seconde section propose un modèle simple pour représenter dans un même cadre différents instruments de politique publique d'économie d'énergie. Nous abordons ensuite tour à tour différents points importants mais non pris en compte dans ce modèle : l'additionalité et l'effet d'aubaine (section 3), la capacité à mobiliser le potentiel rentable d'économies d'énergie (4), l'effet rebond (5), l'incitation au progrès technique (6), la robustesse à l'incertitude et le pouvoir de marché (7), enfin l'interaction entre différents instruments (8). La dernière section conclue sur l'intérêt des certificats blancs et sur les pistes de recherche.

1.2. Pourquoi économiser l'énergie ?

Si les économies d'énergie reviennent sur l'agenda public aujourd'hui, c'est bien sûr du fait de la lutte contre le changement climatique. Cependant, il importe de garder à l'esprit que les motivations à l'origine des programmes d'économies d'énergie menés depuis les années 1970 n'ont pas disparu :

¹ Ce travail a bénéficié de discussions avec Lorenzo Pagliano (Polytechnique Milan), Andrea Caizzi (AAEG), Luciano Barra (ministère de l'Industrie italien), Nick Eyre (Energy Saving Trust), Phil Harrington et Alan Meier (AIE), Boris Bailly (Ademe) et Paul Baudry (EDF), que je remercie.

² Sur les nombreux termes utilisés depuis le premier choc pétrolier, voir Laponche (2002).

- la production d'énergie génère d'autres problèmes environnementaux (European Environmental Agency, 2002). Ainsi, la pollution atmosphérique, en particulier par les oxydes d'azote, l'ozone et les particules, reste un problème prégnant et il est loin d'être certain que la France respecte la directive de 2001 qui fixe des plafonds d'émission nationaux pour ces polluants à l'horizon 2010. Par ailleurs, le nucléaire génère toujours de fortes oppositions du fait des problèmes de déchets, de risque d'accident ou d'attentat et de prolifération ;
- la question de la sécurité d'approvisionnement en pétrole et en gaz, relancée par le livre vert européen de 2001 ;
- la possibilité de capter une part de la rente des pays producteurs de pétrole en réduisant la demande. Parry et Darmstadter (2003) estiment que cet élément, ajouté au précédent, justifie une prime de 5 dollars par baril de pétrole aux Etats-Unis ;
- la mise en évidence, par de très nombreuses études technico-économiques, de sources de potentiel rentable d'économies d'énergie (cf. section 4) ;
- l'existence d'externalités d'adoption pour certaines options techniques et organisationnelles économisant l'énergie (cf. section 7).

Nous ne développons pas ces éléments à ce stade, mais souhaitons simplement souligner un point important : certaines de ces raisons diffèrent entre sources d'énergie, d'autres entre options techniques et organisationnelles. Aussi, pour maximiser l'utilité collective, donc égaliser l'utilité marginale des économies d'énergie, il peut être justifié de différencier le niveau d'incitation entre sources d'énergie, options techniques et organisationnelles ou secteurs, et donc de ne pas respecter le principe d'égalisation des coûts marginaux de réduction de la consommation d'énergie.

1.3. Les principaux instruments disponibles

De nombreux instruments de politique publique sont disponibles pour économiser l'énergie : systèmes de certificats d'économie d'énergie, réglementations, labels sur les biens d'équipement consommateurs d'énergie, programmes d'information et audits subventionnés, programmes d'achat publics, taxe sur l'énergie, subvention aux biens économes en énergie, primes à la casse, incitations à la recherche & développement... Cf. AIE (2003) ou Duhamel et al. (2004) pour une présentation.

Pour une meilleure compréhension de la suite du rapport, il est ici utile de présenter rapidement deux de ces instruments.

Système de certificats d'économie d'énergie (ou certificats blancs)

Les systèmes d'échanges de certificats blancs comportent cinq composantes principales :

- des certificats blancs ou certificats d'économie d'énergie, qui représentent une unité d'énergie économisée ;
- une obligation légale sur un certain groupe d'acteurs (généralement les fournisseurs d'énergie) leur imposant l'acquittement régulier d'un certain nombre de ces certificats ;
- un certain nombre d'acteurs (ceux sur qui portent les obligations, mais aussi éventuellement des entreprises de services énergétiques, distributeurs d'électroménager, collectivités locales, OPHLM...) capables de mener des actions d'économie d'énergie dans le but d'obtenir des certificats ;

- l'estimation par une autorité publique du nombre de certificats qui peuvent être générés par telle ou telle mesure d'économies d'énergie. Cette estimation est généralement réalisée *ex ante* selon des hypothèses, et non *ex post* par mesure des économies effectivement réalisées ;
- un marché d'échange, ou au moins une possibilité d'échange, de manière à ce que certains acteurs impliqués puissent choisir d'acheter des certificats à d'autres acteurs plutôt que de réaliser leurs propres économies.

Un tel système est en place au Royaume-Uni et dans l'Etat australien de Nouvelle-Galles du Sud, et sa mise en place est prévue en Italie et en France. Guardiola Molla et al. (2004) présentent ces quatre cas.

Réglementations (ou normes d'efficacité énergétique) sur les biens d'équipement

De telles réglementations s'appliquent généralement aux biens neufs ; une réglementation portant sur les biens existants est réalisable pour les bâtiments (Association négaWatt, 2003) mais semble inapplicable pour les appareils électriques, chauffe-eau, etc. Dans un cas comme dans l'autre, ces réglementations peuvent présenter un degré de flexibilité variable puisqu'elles peuvent s'appliquer :

- à chaque unité mise sur le marché, solution la plus souvent retenue pour les appareils électriques (Duhamel et al., 2004) ;
- à la moyenne des modèles mis sur le marché par chaque constructeur, à l'image des normes CAFE (*Corporate Average Fuel Efficiency*) aux Etats-Unis ou du programme *Top Runner* au Japon (Duhamel et al. 2004: 22) ;
- à la moyenne des modèles mis sur le marché par chaque constructeur, mais en autorisant une flexibilité entre fabricants³.

Une plus grande flexibilité dans ce domaine ne semble avoir que des avantages, puisque dans un monde où les consommateurs sont hétérogènes, fixer une norme rigide va typiquement léser certains consommateurs, par exemple ceux qui utilisent peu les biens réglementés et préfèrent donc des biens peu coûteux quitte à ce qu'ils consomment davantage.

2. Analyse comparée des principaux instruments dans un modèle simple en information parfaite

Bien que le but de ce rapport soit seulement de synthétiser la littérature et de dresser des pistes de recherche, il s'est avéré utile de construire un modèle théorique simple pour représenter dans un même cadre différents instruments de politique publique pour l'efficacité énergétique. Cela permet de montrer à quelles conditions les impacts de ces instruments diffèrent.

³ Comme le rappelle Yves Martin (1999), défenseur de cette proposition pour les automobiles, le premier programme français contre le changement climatique du 24 mars 1993 prévoyait l'institution d'un "niveau moyen d'émission progressivement décroissant pour l'ensemble des véhicules neufs immatriculés dans la Communauté ; ce niveau pourrait être, par exemple, fixé à 120 g/km en 2005. Pour respecter cet objectif tout en ménageant une souplesse suffisante dans la politique de chaque constructeur ou importateur de véhicules, il pourrait être institué des permis d'émission annuels, négociables entre ces constructeurs et importateurs".

2.1. Hypothèses

Il s'agit d'un modèle d'équilibre partiel très simple dans lequel les consommateurs d'énergie (qui peuvent être des ménages ou des entreprises) achètent de l'énergie (e) et des biens d'équipement propres (g , pour *green*) économisant l'énergie pour atteindre un certain niveau de "service énergétique" (chaleur, mobilité, éclairage...) ⁴. Ces deux biens sont combinés dans une fonction de production du service énergétique de type Cobb-Douglas. Les consommateurs choisissent la combinaison de e et de g qui minimise leur coût tout en atteignant un niveau exogène de service énergétique. Soulignons dès maintenant que le caractère exogène de ce niveau empêche de modéliser l'effet rebond, que nous traitons dans la section 5 ci-dessous.

Les équations du modèle sont présentées dans l'annexe 1.

Dans chacun des deux secteurs de production, e et g , les entreprises sont en concurrence parfaite et produisent avec des rendements décroissants. On suppose que le prix de l'énergie n'est pas encadré par l'Etat. Naturellement, d'autres hypothèses mériteraient d'être explorées, en particulier celle de rendements agrégés constants; évaluer la robustesse des résultats présentés ci-dessous par rapport à ces hypothèses constitue d'ailleurs l'une des pistes de recherches que nous suggérons.

Le graphique 1 ci-dessous indique les flux financiers en l'absence de politique publique d'économie d'énergie (en trait plein) et avec chacun des instruments décrits ci-dessous (en pointillés).

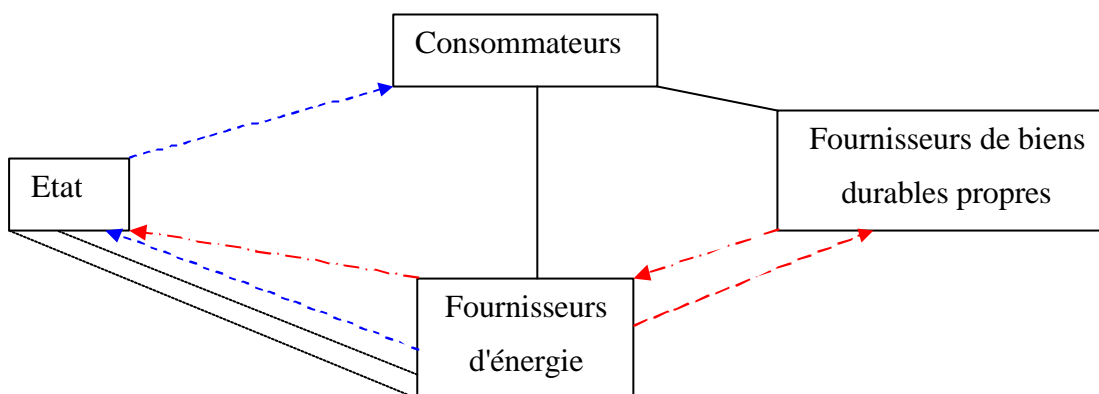
Les instruments modélisés sont au nombre de cinq :

- **CB_%** : un système de certificats blancs (CB) avec des objectifs attribués aux fournisseurs d'énergie et exprimés en pourcentage des ventes d'énergie de chaque fournisseur. Pour générer les certificats blancs, les fournisseurs d'énergie doivent promouvoir la vente des biens g . Comme on ne considère qu'un type de bien d'équipement propre, il n'est pas possible de distinguer les achats de biens additionnels de ceux qui auraient eu lieu de toute façon (cf. section 3 ci-après). Un tel système est, dans notre modèle, parfaitement équivalent à une taxe sur l'énergie versée par les fournisseurs d'énergie et dont les recettes servent à subventionner les producteurs de biens g pour chaque unité vendue. Cette équivalence est due aux hypothèses d'absence d'incertitude sur le prix des certificats blancs et d'absence de pouvoir de marché, que nous levons dans la section 7 ci-après.
- **CB_A** : Un système de certificats blancs avec des objectifs d'économie d'énergie attribués là encore aux fournisseurs d'énergie mais exprimés cette fois en valeur absolue. Nous verrons que les implications de cette distinction sont importantes. Peu importe ici que l'objectif *global* soit exprimé en valeur absolue ou en pourcentage des ventes d'énergie attendues; l'important est ici que l'objectif *de chaque fournisseur* soit défini indépendamment des décisions de ce producteur et non en pourcentage de ses ventes d'énergie, comme au cas précédent. Au Royaume-Uni, les objectifs sont définis en fonction du nombre de clients, ce qui correspond à un cas intermédiaire qui nécessiterait un modèle plus complexe.
- **T_C** : Une taxe sur les ventes d'énergie dont les recettes sont reversées aux consommateurs.

⁴ Implicitement, on considère que les ménages consomment aussi des biens durables "sales", gourmands en énergie, mais que ces biens sont parfaitement complémentaires avec l'énergie, c'est-à-dire que ces deux biens sont toujours consommés dans la même proportion. Les impacts sur la production et la consommation de ces biens durables "sales" sont donc les mêmes que ceux de l'énergie.

- T_E : une taxe sur les ventes d'énergie dont les recettes sont reversées forfaitairement aux fournisseurs d'énergie.
- R : une réglementation obligeant les consommateurs d'énergie à augmenter leur efficacité énergétique jusqu'à un certain niveau. C'est une manière simple et classique (Wirl, 1989) de représenter des normes d'efficacité minimale sur les appareils électriques, les performances thermiques des bâtiments, etc.

Graphique 1. Flux dans le modèle



Flux financiers selon l'instrument :

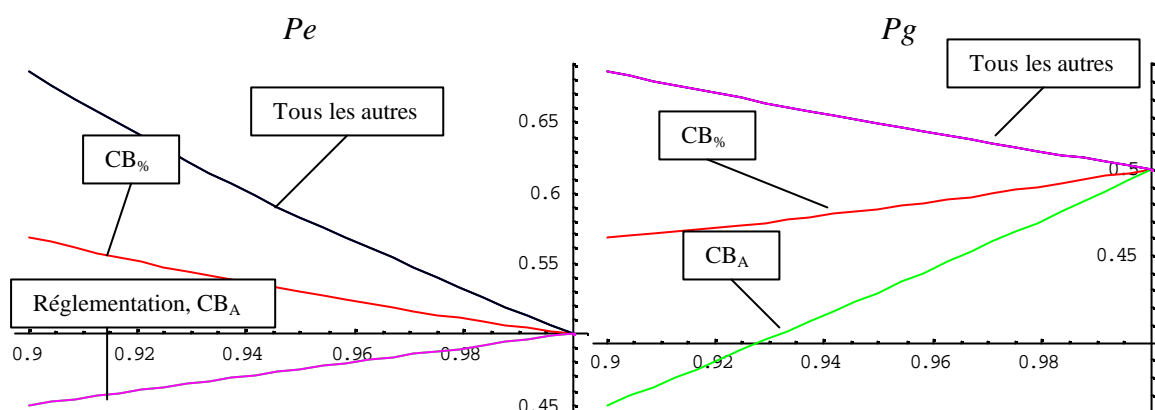
- T_E : Taxe reversée aux fournisseurs d'énergie
- T_C : Taxe reversée aux consommateurs
- CB_A, CB_B : Système de certificats blancs

Flux de certificats blancs : -----

2.2. Résultats

Pour chaque instrument, on calcule les résultats pour une même réduction de la consommation d'énergie.

Il s'avère que toutes les évolutions physiques sont les mêmes : la consommation d'énergie (par hypothèse), la consommation du bien g et le bien-être global (c'est-à-dire la variation de coût pour les consommateurs moins la variation de profit des deux types de firmes). Naturellement, cette équivalence des variables réelles n'existerait pas dans un modèle plus complexe, prenant en compte l'un ou l'autre des points que nous développons dans la suite de ce rapport. Intégrer certains de ces points dans ce type de modélisation constitue d'ailleurs l'une des pistes de recherche que nous invitons à suivre. Cependant, ce modèle simple permet de mettre en évidence les impacts distributifs différents de ces instruments, donc d'esquisser des pistes quant à leur faisabilité politique. Par ailleurs, il permet d'avancer des intuitions sur les éléments importants que nous traitons dans la suite de ce rapport. Les graphiques 2 et 3 ci-dessous ainsi que ceux situés en annexe présentent les résultats d'une simulation numérique qui n'a bien sûr qu'une prétention illustrative, non quantitative.

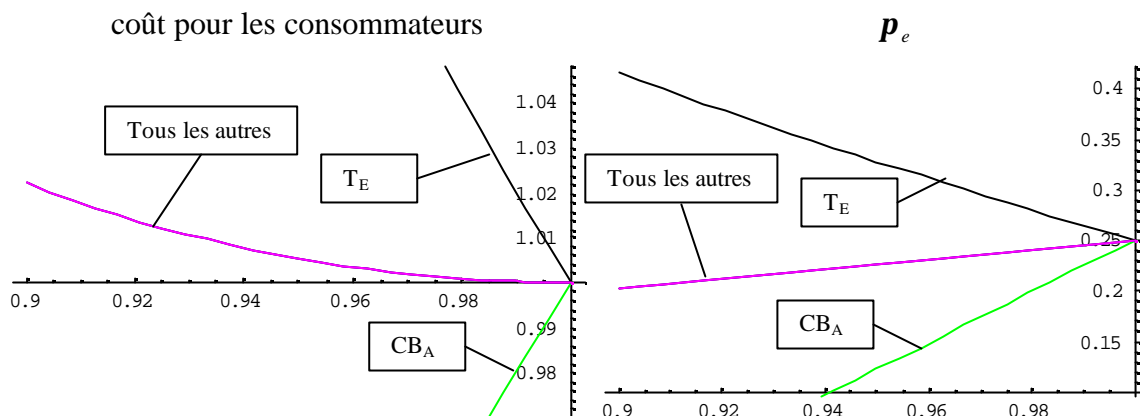
Graphique 2. Impact sur le prix de l'énergie P_e et celui du bien propre P_g 

Le prix de l'énergie fournie aux consommateurs évolue de manière très contrastée selon les instruments : il diminue avec la réglementation et les CB avec objectif absolu alors qu'il augmente avec les autres instruments. Parmi ces derniers, il augmente moins avec les CB avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie qu'avec les taxes ou permis négociables. Comment s'expliquent ces évolutions ? Avec tous les instruments, la diminution de la consommation d'énergie crée une pression à la baisse sur le prix de l'énergie, car la courbe d'offre d'énergie est croissante du fait de l'hypothèse de rendements décroissants. Avec la réglementation et les CB avec objectif absolu, il n'y a pas d'autre influence sur le prix de l'énergie. En revanche, avec les deux types de taxes, le prix de l'énergie augmente car les fournisseurs d'énergie répercutent une partie de la taxe dans leur prix de vente ; c'est pour cela que la consommation d'énergie diminue. De même, dans le cas des CB avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie, les fournisseurs d'énergie sont forcés de générer d'autant plus de certificats que leurs ventes d'énergie sont importantes. Ils ont de ce fait intérêt à répercuter dans leur prix de vente le coût des certificats. Cependant, ce surcoût reste moins élevé que dans le cas de la taxe ou des permis, car, avec les CB, il existe une autre incitation à réduire la consommation d'énergie : la subvention aux ventes de bien g .

Le prix du bien g diminue avec les CB, puisque ces derniers constituent une subvention à ce type de biens. *Cette baisse est plus marquée pour les CB avec objectif absolu qu'avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie*, car dans ce dernier cas, une partie de la baisse de la consommation d'énergie provient de la hausse du prix de l'énergie, dont l'effet s'ajoute à celui de la baisse du prix du bien g . *Ce prix augmente avec les autres instruments* parce que les rendements de la production de ces biens sont supposés décroissants et que leur demande augmente.

Si l'on compare les deux systèmes de CB, *le prix des certificats est plus élevé avec les CB avec objectif absolu qu'avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie*, à nouveau parce que dans ce dernier cas, une partie de la baisse de la consommation d'énergie provient de la hausse du prix de l'énergie.

Graphique 3. Impact sur le coût pour les consommateurs et le profit des fournisseurs d'énergie



Le coût pour les consommateurs (c'est-à-dire les sommes dépensées pour le service énergétique moins, le cas échéant, les recettes de la taxe reversée par l'Etat) **augmente de la même manière, sauf avec deux instruments** :

- il augmente davantage avec la taxe reversée aux fournisseurs d'énergie T_E , car le prix de l'énergie augmente sans compensation pour les consommateurs ;
- il diminue avec les CB avec objectif absolu, le prix du bien g diminue sans que les fournisseurs d'énergie ne puissent augmenter leur prix.

De même, **le profit des distributeurs d'énergie diminue de la même manière, sauf pour ces deux mêmes instruments**, ceci pour des raisons symétriques :

- il augmente avec la taxe reversée aux fournisseurs d'énergie T_E ;
- il diminue davantage pour les CB avec objectif absolu.

Enfin, le profit des producteurs de bien propre augmente dans la même proportion avec tous les instruments. Le tableau 1 ci-dessous synthétise ces résultats

Tableau 1. Impact des différents instruments de politique publique par rapport au business-as-usual, pour un montant donné d'économies d'énergie

	$CB\%$	CB_A	T_C	T_E	R
Prix de l'énergie	+	-	++	++	-
Prix du bien g	-	--	+	+	+
Prix des certificats	+	++	NA	NA	NA
Coût pour les consommateurs	+	-	+	++	+
Profit des fournisseurs d'énergie	-	--	-	+	-
Profit des producteurs de bien g	+	+	+	+	+

$CB\%$: système de certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie

CB_A : système de certificats blancs avec objectif absolu

T_C : taxe dont les recettes sont reversées aux consommateurs d'énergie

T_E : taxe dont les recettes sont reversées forfaitairement aux fournisseurs d'énergie

R : réglementation

NA : non applicable

Par ailleurs, un dernier résultat intéressant est spécifique aux deux systèmes de certificats blancs : si les exigences imposées aux fournisseurs d'énergie n'atteignent pas un certain niveau, ces systèmes n'ont absolument aucun impact : ils ne financent que des achats de bien g qui auraient lieu de toute façon et le prix des certificats s'établit à zéro.

2.3. Enseignements et limites du modèle

Sous des hypothèses à dessein restrictives, nos cinq instruments ne se distinguent que par leurs conséquences distributives, mais ces dernières apportent un éclairage utile quant à l'équité et à l'acceptabilité politique des différents instruments.

Ainsi, les certificats blancs avec objectif absolu réduisent très fortement le profit des fournisseurs d'énergie car ces derniers ne peuvent en répercuter le coût⁵. Un tel système risque donc fort de se heurter à une opposition farouche de la part de ces acteurs. Il semble d'ailleurs particulièrement inéquitable de fixer le niveau des obligations de chaque fournisseur indépendamment de l'évolution de sa part de marché.

Inversement, la taxe reversée forfaitairement aux fournisseurs d'énergie augmente leur profit, car ces firmes sont à même de répercuter une partie de la taxe vers le consommateur. En revanche cet instrument est plus coûteux que les autres pour les consommateurs puisque ceux-ci supportent cette hausse du prix de l'énergie sans recevoir de compensation sous forme de subvention.

Les trois autres instruments (certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie, taxe reversée aux consommateurs et réglementation) sont équivalents dans notre modèle quant à leur impact distributif net : les "tuyaux" diffèrent mais l'effet sur chaque acteur est au final le même. Cependant, cette équivalence suppose que les recettes de la taxe soient effectivement reversées aux consommateurs, perspective souvent contestée par certains groupes d'intérêt, réduisant alors la faisabilité politique de cet instrument. En revanche, les recettes de la taxe peuvent être utilisées pour réduire les prélèvements les plus distorsifs ou les plus impopulaires, rendant cet instrument plus efficace ou plus acceptable que les autres. Il est difficile de tirer ici des conclusions générales, sinon que le poids des différents groupes d'intérêt et celui des idéologies sont déterminants.

Enfin, les certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie présentent un intérêt supplémentaire : puisque les obligations d'économies d'énergie pèsent sur les fournisseurs d'énergie et que ceux-ci sont en contact direct avec les consommateurs, ils peuvent mener une partie de ces activités eux-mêmes, et ainsi capter une partie du profit qui dans notre modèle revient aux producteurs du bien g . Ils peuvent donc gagner en tant que fournisseur de bien g tout ou partie de ce qu'ils perdent en tant que fournisseur d'énergie, ce qui peut faciliter la faisabilité du système.

Au total, un système de certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie apparaît donc particulièrement intéressant pour limiter les effets distributifs, donc *a priori* pour limiter les oppositions à sa mise en place. Deux réserves sont toutefois de rigueur :

- si les exigences imposées aux fournisseurs d'énergie n'atteignent pas un certain niveau, ces systèmes n'ont absolument aucun impact : ils ne financent que des achats de bien g qui auraient lieu de toute façon et le prix des certificats s'établit à zéro ;

⁵ Précisons que ce résultat ne tiendrait pas forcément si nous relâchions nos hypothèses de concurrence parfaite et de non-intervention publique sur le marché de l'énergie.

- certaines hypothèses simplificatrices du modèle éliminent des différences importantes entre les instruments.

Parmi ces hypothèses, les plus importantes sont de quatre ordres :

- L'information est parfaite : les agents maximisent leur profit ou minimisent leur coût sans limite de rationalité ou d'information. Ceci élimine tout potentiel rentable d'économie d'énergie, dont la mobilisation constitue pourtant l'un des principaux objectifs mis en avant en particulier pour justifier la réglementation et les certificats blancs. Nous traitons donc cette question à la section 4. Par ailleurs, on ne modélise ni les coûts de transaction, ni les coûts administratifs, qui en revanche constituent des inconvénients de ces deux instruments, en particulier par rapport à une taxe qui n'entraîne que des coûts administratifs et de transaction très faibles. En particulier, dans un système de certificats blancs, si les pouvoirs publics cherchent à empêcher que des achats de bien propre qui auraient eu lieu de toute manière ne soient subventionnés, cela va augmenter significativement les coûts de contrôle. Nous traitons cette question à la section 3.
- La quantité de service énergétique consommée est fixe. Ceci élimine en particulier l'effet "rebond", selon lequel la réglementation, en entraînant une baisse du coût des services énergétiques, accroît la demande de ces services, ce qui diminue l'effet initial d'économie d'énergie. Nous traitons cette question à la section 5.
- La technique est fixe, ce qui élimine une différence importante entre les instruments : la capacité à générer le progrès technique, abordée à la section 6.
- Il n'existe ni incertitude sur le coût des économies d'énergie, ni pouvoir de marché sur les marchés des certificats blancs ou des PEN. Nous traitons ces questions à la section 7.

3. Additionalité et effet d'aubaine

Tous les instruments qui mettent en jeu des aides financières aux économies d'énergie (certificats blancs, subventions, primes à la casse...) suscitent une même interrogation : dans quelle mesure ces aides génèrent-elles de nouvelles dépenses pour économiser l'énergie, et dans quelle mesure correspondent-elles à un simple effet d'aubaine, autrement dit sont-elles versées pour des actions qui auraient lieu de toute manière ?

Sous une forme différente, la question se pose aussi pour les autres instruments. Ainsi, l'effet des taxes en terme d'économies d'énergie dépend de la sensibilité de cette demande au prix, qui ne peut être connue que de manière imparfaite. De même, l'ambition environnementale d'un système de quotas échangeables dépend des projections *business-as-usual*, dont l'estimation suscite des débats difficiles, comme le montrent les retards dans la préparation des plans nationaux d'allocation pour la directive européenne créant des quotas de CO₂. La réglementation et les labels, quant à eux, reposent sur des cycles normalisés d'utilisation forcément contestables⁶ ; cf. Harrington (2001) pour une comparaison des méthodes disponibles en matière de réfrigérateurs et de congélateurs. Nous ne développons pas davantage ces points dans cette section, mais il faut garder à l'esprit que dans un système de certificats blancs, les économies d'énergie sont typiquement estimées selon un cycle normalisé, donc que ces incertitudes s'ajoutent à celles que nous développons ci-dessous.

⁶ Le rôle croissant de l'électronique permet d'ailleurs aux constructeurs d'optimiser de plus en plus leurs modèles en fonction du cycle normalisé, ce qui réduit la pertinence de ce dernier.

3.1. La problématique et l'état des connaissances

Un système de certificats blancs revient à subventionner des services ou biens d'équipement "propres" (g dans le modèle de la section 2). Dès lors, il est difficile d'éviter de subventionner les biens d'équipement "propres" qui auraient été vendus de toute manière ; ces derniers bénéficient d'un "effet d'aubaine", autrement dit ils ne sont pas additionnels. Ainsi, dans les systèmes de certificats blancs britannique et italien, tout l'électroménager de classe énergétique A est éligible, alors que pour certains produits, les appareils de classe A sont majoritaires même dans les pays qui n'ont pas introduit de politiques de ce type. Si à notre connaissance aucune évaluation de l'effet d'aubaine n'a eu lieu pour le système de certificats blancs britannique, plusieurs estimations de l'effet d'aubaine créé par les systèmes passés ou présents d'aides aux économies d'énergie ont été réalisées.

- Le Mouël (1996: 18) a estimé pour les aides publiques françaises un effet d'aubaine dans 36 % des cas dans l'industrie et dans 52 % des cas dans l'habitat.
- Les programmes de maîtrise de la demande d'électricité (*Demand Side Management*, DSM) menés en particulier aux Etats-Unis ont suscité plusieurs analyses de l'effet d'aubaine. Or, les incitations mises en place sont similaires à celles retenues par les systèmes de certificats blancs (Wirl, 1995: 44, tableau 1). De plus, tout comme les systèmes de certificats blancs existants ou en projet, les programmes de DSM estiment les économies d'énergie *ex ante*, pas *ex post*⁷. Selon Joskow et Marron (1992) cités par Wirl (1995: 51), l'effet d'aubaine s'élève à 15 à 35 % selon les programmes. Selon Nadel (1990), cité par Wirl (1995: 51), cet effet est encore plus élevé : 25 à 50%.
- Dans la préparation de leur système de certificats blancs, les britanniques ont tablé sur un effet d'aubaine d'environ 40 %, à partir d'une estimation *ex ante*⁸.

Le problème s'est également posé pour les systèmes de permis d'émission négociables basés sur des mécanismes de projet (*baseline-and-credit*, par opposition aux systèmes *cap-and-trade*) menés aux Etats-Unis contre la pollution atmosphérique depuis le début des années 1970. Un consensus semble émerger dans la littérature pour conclure qu'il s'est avéré extrêmement difficile de réduire l'effet d'aubaine sans augmenter les coûts administratifs de manière excessive par rapport aux bénéfices attendus du système (UNCTAD, 1998).

Pour conclure sur ce point, il semble difficile d'éviter un effet d'aubaine important sans faire exploser les coûts administratifs et de transaction.

Est-il dommageable de financer des projets qui auraient eu lieu de toute manière ? Oui si l'objectif est peu ambitieux car on court le risque qu'il ne se passe rien. Ainsi, dans le modèle du chapitre 2, tant que les objectifs restent en deçà d'un seuil, le prix des certificats reste à zéro et aucune réduction d'émission n'a lieu, les producteurs du bien d'équipement propre g se contentant de labelliser leurs ventes et de profiter de l'effet d'aubaine. Dans un modèle plus réaliste avec des coûts de transaction, possibilité de mise en réserve des certificats, etc., le prix ne serait certes pas nul, mais il resterait très bas et les réductions d'émission seraient très faibles. Les bénéfices du système seraient donc probablement outrepassés par les coûts administratifs et les coûts de transaction, ces derniers payés par les vendeurs d'énergie.

⁷ Cependant, les incitations offertes aux fournisseurs d'énergie diffèrent, en général de celles offertes aux fournisseurs d'énergie dans le cadre des systèmes de CB. On ne peut donc transférer directement tous les enseignements de ces systèmes.

⁸ Source : Energy Saving Trust, communication personnelle.

S'ajoute à ce problème le risque que les faux espoirs de réussite d'un système de certificats blancs ralentissent la mise en œuvre d'autres mesures peut-être plus efficaces comme la taxation.

En revanche, si l'objectif fixé est suffisamment important pour générer des ventes de bien propre au-delà du scénario BaU, est-il néfaste de financer des projets non additionnels ? Nous avons vu que ce n'est pas le cas dans le modèle simple du chapitre 2, mais cela pose tout de même deux problèmes :

- les coûts administratifs et de transaction entraînés par la labellisation des projets ;
- les effets distributifs au détriment des producteurs d'énergie et au profit des producteurs de capital propre, difficiles à justifier pour des projets BaU.

3.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche

L'arbitrage entre effet d'aubaine, d'une part, et coûts de transaction et administratifs, d'autre part, est inévitable, nous l'avons vu. Il invite à mener des travaux à la fois théoriques et empiriques.

D'un point de vue théorique se pose la question des instruments les plus à même de minimiser l'effet d'aubaine pour des coûts administratifs et de transaction donnés, en fonction du contexte. A ce sujet, *la théorie des contrats pourrait apporter des éléments intéressants*, à condition de prendre en compte le caractère nécessairement séquentiel, renouvelé, de ces contrats, et de la "dépendance au sentier" qui en découle.

Cependant, le principal besoin de recherche nous semble de combler le manque d'études empiriques comparatives. *La mise en évidence des mécanismes de formation des coûts de transaction et le chiffrage des ordres de grandeurs doit s'appuyer sur les expériences passées*. A cet égard, une piste de recherche prioritaire consisterait à analyser l'additionalité des mesures financées par les systèmes en place, au Royaume-Uni et éventuellement en Nouvelle-Galles du Sud, en particulier en observant les tendances des ventes de biens d'équipement économisant l'énergie : électroménager de classe A, rénovation thermique de logements... Le problème est qu'une analyse portant sur un seul pays risque d'apporter peu d'information car d'autres instruments visant à économiser l'énergie ont été mis en œuvre au cours de la même période, comme l'étiquette énergie européenne. Aussi, l'idéal serait de procéder à une comparaison entre Etats membres, mais la disponibilité des données pose problème. Ainsi, Schiellerup (2002) n'a pu mener une étude quantitative sur le Royaume-Uni qu'à partir de données commerciales. Aussi, la faisabilité de cette piste de recherche est incertaine.

4. La mobilisation du potentiel rentable d'économies d'énergie

4.1. La problématique et l'état des connaissances

L'une des principales justifications apportées aux programmes de maîtrise de l'énergie provient de la mise en évidence par les études technico-économiques d'un important potentiel rentable (encore appelé "potentiel sans regret") d'économies d'énergie. Selon ces études, menées principalement par des ingénieurs, de nombreux acteurs économiques laissent de côté des opportunités d'améliorer leur bien-être ou d'accroître leur profit. Ce diagnostic d'une déviation par rapport au comportement postulé dans le modèle microéconomique de base suscite le scepticisme de beaucoup d'économistes. Cette question est d'importance pour la

discussion qui nous occupe car rien ne dit *a priori* que les différents instruments pour les économies d'énergie aient les mêmes impacts en présence de telle ou telle source de potentiel rentable.

De nombreux travaux ont discuté l'existence et les causes de ce potentiel, ainsi que la justification d'une intervention publique pour le mobiliser. Voici les principales causes de l'existence d'un potentiel rentable d'économies d'énergie identifiées dans la littérature⁹ :

I. Echecs du marché (*market failures*)

1. *Information imparfaite* sur les consommations énergétiques et sur les biens économisant l'énergie. Par exemple, les vitrages peu émissifs présentent un surcoût très faible par rapport aux doubles vitrages classiques, de l'ordre de 10 euros par m², amorti en moins de deux ans¹⁰. Pourtant, ils sont inconnus de la majorité des vendeurs de fenêtres et donc mal diffusés en France.
2. *Asymétrie d'information*
 - a) *Sélection adverse*. On parle de sélection adverse si un bien se caractérise par une caractéristique cachée à son utilisateur potentiel. Par exemple la revente d'un logement mieux isolé n'inclut pas forcément le prix des travaux d'isolation. De même, les biens économisant l'énergie peuvent avoir un caractère de *credence goods*, c'est-à-dire que même à l'utilisation, les économies qu'ils génèrent peuvent ne pas apparaître, en particulier du fait de l'absence de compteur électrique sur chaque appareil.
 - b) *Alea moral*. On emploie ce terme lorsque le comportement d'un agent économique n'est pas parfaitement observable (même *ex post*) par celui qui finance son action. Par exemple, les constructeurs de logements ont intérêt à rogner sur les dépenses d'isolation au détriment des propriétaires.
 - c) Manque d'accès au capital par asymétrie d'information sur le marché du capital. Par manque d'information sur le risque de non remboursement, les banques sont réticentes à financer des dépenses en bien d'équipement, même si celles-ci sont rentables par les économies d'énergie qu'elles permettent.
3. *Pouvoir de marché et discrimination du consommateur au détriment du haut de gamme énergétiquement*. Sur les marchés de biens caractérisés par une différenciation verticale (c'est-à-dire différentes qualités subjectives du bien en question, vendues à des prix différents), les marges sont typiquement nettement plus élevées pour le haut de gamme du fait d'une discrimination des consommateurs. Or, dans l'électroménager, les appareils haut de gamme sont typiquement moins gourmands en énergie que le bas de gamme, et se retrouvent donc pénalisés. Remarquons toutefois que c'est souvent l'inverse dans l'automobile, les modèles les plus coûteux, qui génèrent une plus grande marge, étant typiquement les plus gourmands.
4. *Incitations partagées*. Il s'agit d'une situation dans laquelle un acteur a la possibilité d'économiser l'énergie mais ne le fait pas car un autre acteur bénéficierait de ces

⁹ Cette typologie et les exemples donnés se base largement sur Jaffe et Stavins (1994) et Sorrell *et al.* (2000). Cette littérature met également en exergue d'autres explications, non listées ici, qui ne justifient pas une intervention publique, comme les coûts "cachés" de ces mesures, oubliés par certaines études d'ingénieurs.

¹⁰ Source : Bruno Peuportier, Centre d'énergétique de l'Ecole des Mines de Paris, Communication personnelle.

actions. L'exemple classique est celui du dilemme propriétaire/locataire, mais cette situation se retrouve aussi pour le paiement des charges d'énergie dans les logements collectifs ou les centres commerciaux, souvent effectué de manière forfaitaire.

II. Echecs des organisations et des comportements (*organisational failure, behavioral failure*)

1. *Alea moral au sein de l'organisation.* Parce que le centre de décision de l'entreprise ne peut contrôler parfaitement le bien-fondé des décisions prises à un niveau subalterne, il fixe des règles *a priori*, qui s'avèrent forcément sub-optimales au cas par cas. Ainsi, les règles de temps de retour des investissements sont souvent fixées *a priori* à un niveau plus faible que pour les investissements stratégiques, pour lesquels un examen plus poussé de la rentabilité est entrepris sous le contrôle du centre de décision. Ceci peut expliquer pourquoi des temps de retour de 1,5 an à 2 ans sont souvent requis pour des investissements économisant l'énergie.
2. *Incidations partagées au sein de l'organisation.* Comme dans l'exemple mentionné ci-dessus des logements collectifs et des centres commerciaux, les coûts énergétiques sont typiquement mutualisés au sein des entreprises, supprimant toute incitation à réduire la consommation d'énergie pour le responsable d'un service, sans parler de chaque salarié. Même en cas d'individualisation des coûts entre services, la rotation rapide des dirigeants d'unités peut réduire leur incitation à mener des actions d'économies d'énergie, qui ne porteront tous leurs fruits qu'après leur départ.
3. *Division du budget en budget d'investissement et budget opérationnel.* Cette règle organisationnelle fréquemment utilisée constitue un frein aux économies d'énergie. En effet, ces dernières nécessitent en général un accroissement du budget d'investissement tout en diminuant les dépenses opérationnelles, aussi la séparation rigide de ces deux budgets peut empêcher de mener ces opérations.
4. *Inertie, habitudes indélogeables.* La littérature en psychologie et sociologie des organisations met en évidence la réticence au changement dans les organisations, réticence qui, comme l'ont montré plusieurs enquêtes, s'applique à l'adoption d'options économes en énergie.

III. Echecs de l'Etat (*regulatory failure*)

1. *Prix de l'énergie inférieur au coût marginal en développement.* Lorsque les vendeurs d'électricité sont astreints par la puissance publique à tarifier en dessous d'un certain prix (*price-cap*) ou au coût de production moyen additionné d'un facteur de marge (*rate-of-return*), le prix de vente est en dessous du coût marginal en développement si les rendements sont décroissants. De ce fait, certaines actions de maîtrise de l'énergie rentables socialement ne le sont pas pour des acteurs privés. Il s'agit d'une des principales justifications des programmes de DSM aux Etats-Unis. Soulignons que concernant l'électricité, ce facteur joue davantage pour les pointes de demande, ce qui invite à accorder davantage d'efforts à la réduction de la demande en pointe (éclairage et chauffage en particulier).
2. *Subvention à certaines énergies.* Certaines sources d'énergie bénéficient d'aides publiques qui diminuent leur prix de vente et rendent rentables socialement des mesures d'économie qui ne le sont pas pour des acteurs privés. C'est le cas du charbon en Allemagne ou des carburants aériens, exonérés de TVA partout dans le monde.

Pour l'instant, il n'existe pratiquement pas de quantification de l'importance relative de ces différentes causes (Jaffe et al., 2001 ; Meier, 2004).

De plus, la littérature sur la capacité des différents instruments de politique publique à mobiliser le potentiel rentable est encore peu développée ; citons tout de même quelques analyses *ex post* des programmes publics d'information et d'audit, et des réglementations.

Les rares évaluations des programmes publics d'information et d'audit apportent des conclusions contradictoires. Ainsi, Morgenstern et Al-Jurf (1999) utilisent les données du DOE's *commercial buildings energy consumption survey* pour les Etats-Unis. Ils concluent que les programmes d'information ont accéléré significativement la diffusion des éclairages efficaces dans les bâtiments commerciaux. En revanche, Anderson et Newell (1999) analysent le programme d'audits énergétiques gratuits pour les PME industrielles aux Etats-Unis (*Industrial Assessment Center*), en place depuis 1976. Ils concluent que les entreprises ne mettent en place que la moitié des investissements recommandés par les équipes d'évaluation. De plus, elles réclament un taux de retour de 1,25 à 1,5 ans pour engager les investissements économiseurs d'énergie, ce qui correspond au comportement des dirigeants d'usine en l'absence d'audits gratuits, révélé par les enquêtes auprès de ces décideurs. Selon cette dernière conclusion, ce programme n'aurait donc pas eu d'effet sur les décisions des entreprises.

Des conclusions plus optimistes émergent des travaux sur la réglementation. Ainsi, la réglementation européenne sur les réfrigérateurs et congélateurs a diminué nettement la consommation moyenne des appareils commercialisés, sans réduire le rythme de baisse des prix de vente, au moins au Royaume-Uni (Schiellerup, 2002). Il semble donc s'agir là d'un cas réussi de mobilisation du potentiel rentable, quoique très partielle, du fait du peu d'ambition de cette réglementation. De même, Meyers et al. (2002) concluent que les réglementations appliquées aux Etats-Unis au cours des quatorze dernières années ont coûté (en coût actualisé) deux fois moins que l'électricité qu'il aurait été nécessaire de produire en leur absence. Certaines de ces réglementations ont pourtant nettement réduit la consommation énergétique des biens réglementés, en particulier pour les réfrigérateurs. Cependant, une réglementation plus ambitieuse (ou appliquée à d'autres domaines) risque d'avoir un impact négatif pour certains consommateurs ou certaines utilisations ; il serait alors nécessaire de prendre en compte l'hétérogénéité des consommateurs.

4.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche

Face à la multiplicité de causes possibles exposée au paragraphe précédent, il est important d'identifier quel instrument est à même de résoudre chacune des sources d'inefficacité listée ci-dessus. Ainsi, pour résoudre le problème I.1 (information imparfaite sur les consommations énergétiques et sur les biens économisant l'énergie), un label semble adéquat. En revanche, un tel instrument risque d'intensifier le problème I.3 (pouvoir de marché et discrimination du consommateur au détriment du haut de gamme efficace énergétiquement) en facilitant la discrimination.

Les certificats blancs, en baissant le coût des biens d'équipement propres, semblent à même d'atténuer certains des problèmes identifiés ci-dessus, comme ceux libellés I.2, II.2, II.3 et II.4. Cela pourrait expliquer les résultats de certaines études qui mettent en évidence une efficacité beaucoup plus élevée des subventions en pourcentage des investissements économisant l'énergie par rapport à des taxes sur l'énergie équivalentes : trois fois plus chez Jaffe et Stavins (1995), huit fois plus chez Hassett et Metcalf (1995: 215)¹¹. En revanche, il n'y a guère de raisons de penser qu'ils puissent atténuer les autres problèmes identifiés.

¹¹ Cependant, d'autres explications sont avancées pour expliquer cet écart.

Il apparaît donc nécessaire de *quantifier chacune de ces sources de non mise en œuvre des économies d'énergie rentables*. L'Agence internationale de l'énergie va mener un projet sur ce thème (Meier, 2004), avec lequel il serait utile de chercher une synergie.

A partir de cette base quantitative, *une modélisation des plus importants comportements listés au paragraphe 4.1 permettrait d'estimer la capacité des divers instruments à mobiliser le potentiel sans regret*. Sur ce point, psychologie et sociologie des organisations pourraient apporter des éléments utiles. Il semble également important que cette modélisation prenne en compte les multiples maillons de commercialisation de l'énergie et des biens d'équipement, car le niveau de chaque filière auquel les pathologies listées au paragraphe précédent ont lieu n'est pas sans importance. Une telle modélisation permettrait de répondre à deux questions :

- Quel instrument est-il préférable d'appliquer, et à quel niveau des filières ?
- faut-il mettre des incitations financières plus élevées là où il y plus de sources de potentiel rentable, donc de distorsion? Cette question se pose en particulier pour les certificats blancs. Par exemple, il pourrait être justifié de proposer une incitation plus importante pour les logements loués, sujets au dilemme propriétaire/locataire, plutôt que pour les logements occupés par leur propriétaire. De même, il peut être justifié de financer de manière préférentielle les économies d'énergie dans les ménages pauvres qui souffrent d'un accès au capital limité (cause I.2.d). Le système de certificats blancs britannique prévoit une telle priorité, tout comme la plupart des programmes de DSM aux Etats-Unis. Cependant, Wirl (1999) met en garde contre les risques de comportement stratégique des consommateurs face à certains de ces systèmes différenciés.

5. L'effet rebond

5.1. La problématique et l'état des connaissances

Une critique fréquemment adressée aux politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique réside dans leur capacité à générer un "effet rebond", selon la chaîne causale suivante : amélioration de l'efficacité énergétique \Rightarrow baisse du coût d'usage marginal du service énergétique (chauffage, transport, éclairage...) par l'utilisateur \Rightarrow changement de comportement (augmentation de la température, des distances parcourues, de la durée d'éclairage...) \Rightarrow hausse de la consommation d'énergie. Du fait de cet enchaînement, la baisse de la consommation d'énergie est donc moins importante que celle qui résulterait d'un calcul ignorant ces changements de comportements ; en théorie, il est même possible que l'effet rebond fasse plus que compenser l'amélioration de l'efficacité énergétique et que la politique en question entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.

Cette critique s'adresse aux politiques publiques qui visent à modifier l'acquisition des biens consommant l'énergie, mais non leur utilisation. Elle invite donc à préférer des taxes sur l'énergie aux normes d'efficacité énergétique sur les biens d'équipement, par exemple.

Si l'existence de l'effet rebond n'est pas mise en question, son ampleur fait l'objet d'âpres débats¹². L'effet rebond a fait l'objet de nombreuses évaluations ; Greening *et al.* (2000) proposent un survey critique de 75 études empiriques. En définissant l'effet rebond comme le ratio (économies d'énergie avec modification du comportement/économies d'énergie sans modification du comportement), ils aboutissent aux fourchettes suivantes pour les ménages :

¹² Le numéro spécial d'*Energy Policy* de juin 2000 fournit un bon tour d'horizon du débat. Cf. aussi Binswanger (2001) et Bentzen (2004).

- Chauffage : 10-30%
- Climatisation : 0-50%
- Eau chaude sanitaire : <10-40% (peu d'études)
- Eclairage : 5-15% (idem)
- Appareils "blancs" : 0% (idem)
- Automobiles : 10% à CT (un an), 10-30% à LT (en ne considérant que le changement d'utilisation, pas la modification des attributs conduisant à des véhicules plus lourds, etc.)

Les études portant sur l'effet rebond dans les entreprises sont plus rares. Cependant, dans une étude récente, Bentzen (2004) estime l'effet rebond à 24 % dans le secteur manufacturier américain.

Naturellement, l'effet rebond n'existe pas pour tous les usages. Par exemple, une réglementation limitant la consommation des appareils en veille, qui sont branchés et utilisent la même puissance en permanence, ne devrait pas générer ce type d'effet rebond.

Ajoutons qu'à l'effet rebond "microéconomique" décrit ci-dessus, découlant d'une modification des comportements suite à la baisse du coût marginal du service énergétique, on peut ajouter :

- un effet rebond que l'on peut qualifier de *méso-économique*, spécifique aux politiques d'économies d'énergie à destination des entreprises. Selon ce mécanisme, une baisse du coût d'usage de l'énergie pour produire les biens intensifs en énergie va entraîner une baisse du prix de vente de ces biens, donc une augmentation de leur production, et ainsi réduire les économies d'énergie générées par la politique en question. Cet effet n'a cependant rien d'automatique : autant l'amélioration de l'efficacité énergétique réduit typiquement le coût marginal d'utilisation du service énergétique, autant elle ne réduit pas forcément le prix de vente des produits intensifs en énergie car les autres éléments du coût de production peuvent augmenter, en particulier le coût en capital. A moins d'une mobilisation du potentiel rentable (cf. section 4), ce sera même typiquement le contraire.
- un effet rebond *macroéconomique*, qui peut survenir si les économies d'énergie entraînent une baisse de prix de l'énergie et ainsi une hausse de la consommation d'énergie ailleurs dans l'économie. Ce mécanisme peut se produire quel que soit l'instrument utilisé ; il est central dans les estimations des "fuites de carbone" qui pourraient survenir suite à des politiques climatiques non mondiales.

Ces deux derniers phénomènes n'ont fait l'objet que de peu d'études empiriques *ex post*, mais sont présents dans beaucoup de modèles économiques appliqués¹³.

Ces divers effets rebond réduisent l'effet d'une politique donnée sur les économies d'énergie, mais n'augmentent pas forcément le coût de ces politiques pour un niveau donné d'économies d'énergie, puisque les consommateurs bénéficient d'une amélioration de leur confort (pour les ménages) ou de leur production (pour les firmes) à coût donné. Cependant, la plupart des études qui évaluent des politiques d'efficacité énergétiques incluant des effets rebonds concluent que ces derniers augmentent le coût de ces politiques. Ainsi, l'étude de Charles River Associates (1999) sur un renforcement des réglementations américaines CAFE pour les

¹³ Signalons enfin qu'à l'inverse, il existe diverses causes d'effet d'entraînement (*spillover*). Ainsi, une réglementation thermique stricte des bâtiments neufs va typiquement modifier le marché des composants destinés au marché de la rénovation (fenêtres...) dans un sens favorable.

automobiles conclut à un surcoût de 50 à 155 % par rapport à une taxe sur les carburants pour un niveau équivalent d'économies d'énergie, essentiellement du fait de plusieurs effets rebond (Cf. Giraud et al., 2002).

D'une manière générale, l'effet rebond est d'autant plus important que l'élasticité-prix est élevée (en valeur absolue). Un tel cas justifie donc le recours à une taxe plutôt qu'à la réglementation, et vice-versa.

5.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche

Les certificats blancs sont-ils sujets à la critique de l'effet rebond ? Plus précisément, la hausse de l'efficacité énergétique entraînée par la mise en place d'un système de certificats blancs entraîne-t-elle une modification des comportements susceptible de compenser tout ou partie des économies générées *ex ante*? Bien que le modèle présenté au chapitre 2 soit trop simple pour répondre de manière formelle, il fournit des éléments indiquant qu'une réponse positive est probable. En effet, pour une réduction donnée de la consommation d'énergie calculée par le modèle, les prix pour les consommateurs de l'énergie et des biens d'équipement propres sont plus faibles avec les certificats blancs (surtout si les objectifs sont fixés en valeur absolue) qu'avec une taxe. De ce fait, les prix des services énergétiques (chaleur, mobilité, éclairage...) sont réduits, d'où une hausse prévisible de la consommation.

Les certificats blancs sont-ils plus, ou moins susceptibles de créer un effet rebond qu'une norme ? Contrairement à la norme et aux certificats avec objectif absolu, ceux avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie entraînent une hausse du prix de l'énergie pour les consommateurs (certes moins élevée qu'avec une taxe), puisque les distributeurs d'énergie répercutent le coût d'acquisition ou de génération des certificats dans leur prix de vente, ce qui freine l'effet rebond. Par ailleurs, les certificats blancs entraînent une baisse du prix des biens d'équipement "propres" pour les consommateurs (plus élevée avec les certificats blancs en valeur absolue), d'où un effet ambigu :

- cela peut inciter à augmenter le parc total de biens d'équipement consommateurs d'énergie, par exemple à acquérir un second réfrigérateur, et augmenter la consommation d'énergie ;
- cela peut accélérer le renouvellement du parc, donc le déclassement de biens anciens, particulièrement gourmands en énergie pour certains types de biens.

Ceci invite à éviter les certificats blancs pour les biens encore peu diffusés, comme la climatisation en France, pour lequel le premier effet est probablement plus important que le second. En revanche, un tel système semble bien adapté à des biens largement diffusés comme les chauffe-eau ou les lave-linge, qui *a priori* ne vont pas fonctionner plus longtemps parce que leur prix d'achat baisse, mais sur lesquels des gains d'efficacité énergétique significatifs ont été réalisés par rapport aux modèles anciens.

Au contraire une norme entraîne une hausse du prix des biens d'équipement, donc génère les incitations inverses.

Signalons enfin une observation de Wirl (1995: 60) sur les programmes de DSM aux Etats-Unis, qui peut s'appliquer au moins à certains programmes de certificats blancs. Dans ces systèmes, les fournisseurs d'électricité, rémunérés sur la base d'un *rate of return* auquel s'ajoute une incitation à la DSM, ont intérêt à recevoir des financements pour DSM en réduisant le moins possible leur source de profit traditionnel, à savoir la vente d'électricité. Du coup, ils ont intérêt à privilégier les financements qui génèrent l'effet rebond le plus élevé,

c'est-à-dire ceux qui réduisent le moins la consommation d'énergie ! Ce risque devrait être pris en compte pour définir les types d'actions éligibles.

En résumé, *l'analyse comparée de l'effet rebond pour différents instruments, en particulier les certificats blancs, reste à faire*. Elle paraît indispensable pour évaluer rigoureusement cet instrument. *Il serait nécessaire de clarifier les mécanismes en jeu par des modèles analytiques, et de construire des modèles appliqués pour les principales activités subventionnées dans le cadre de ces systèmes*. Ces modèles pourraient être proches de celui présenté en section 2, mais avec une élasticité du service énergétique à son prix et une distinction entre les nouvelles générations de biens d'équipement et les équipements en place, afin de séparer les effets qui transitent par les prix de l'énergie de ceux qui transitent par le prix des biens d'équipement. La quantification de ce type de modèle devrait s'appuyer sur une analyse économétrique de l'effet des politiques passées.

Au-delà de ce travail économique, une étude sociologique pourrait aider à identifier les modifications de comportement que l'on peut attendre de ces différents instruments, sachant que, comme l'a soulignée la section précédente, l'hypothèse de maximisation en information et rationalité parfaite ne permet pas d'analyser certains comportements observés.

Soulignons que la question de l'effet rebond et celle du potentiel rentable sont intimement liées, l'effet rebond croissant avec les économies financières réalisées. Elles devraient donc être traitées au sein du même projet de recherche.

6. L'incitation au progrès technique

6.1. La problématique et l'état des connaissances

On peut définir le progrès technique comme le déplacement au cours du temps de la frontière des possibilités de production, c'est-à-dire de la quantité qu'il est possible de produire avec une quantité donnée de chacun des *inputs*. Le progrès technique est généralement représenté en trois phases (Schumpeter, 1939) :

- *l'invention*, qui implique le développement d'une nouvelle idée, processus ou élément,
- *l'innovation*, ou commercialisation de cette invention,
- la *diffusion*, ou adoption graduelle de cette innovation.

6.1.1. Les pouvoirs publics doivent-ils inciter au progrès technique ?

Deux grandes catégories de raisons justifient les incitations publiques au progrès technique (Jaffe et al., 2003) :

- les *externalités de connaissance*, c'est-à-dire les imperfections du système des brevets, dont il est généralement considéré qu'ils entraînent un niveau sub-optimal de recherche de la part des firmes (Griliches, 1992). Or, ces défauts du système des brevets sont très difficiles, voire impossibles à résoudre car l'innovation peut être freinée aussi bien par un excès que par un manque de protection des inventions. Notons que ce problème n'est nullement limité à l'efficacité énergétique ; aussi, il ne justifie pas forcément un redéploiement des budgets d'aide à la recherche vers ce secteur, mais légitime l'existence de financements particuliers supplémentaire sur ce thème, comme ceux versés par l'Ademe ;
- les *externalités d'adoption*. Pour différentes raisons, le coût ou la valeur d'une nouvelle technique pour un utilisateur peut croître avec le nombre d'utilisateurs de cette technique.

Ce bénéfice associé à l'échelle d'utilisation d'une technique est parfois désigné sous le terme de "rendements croissants dynamiques", ou "rendements croissants d'adoption" : Ces rendements croissants sont générés par le *learning by doing*, le *learning by using* ou les externalités de réseau. Le *learning by doing* décrit la manière dont les coûts de production tendent à baisser avec l'expérience des producteurs. Si au moins une partie de cette connaissance bénéficie à d'autres producteurs, cela constitue une externalité d'adoption. Le *learning by using* provient de l'information sur une nouvelle technique générée par l'adoption de cette technique par les premiers utilisateurs, information qui bénéficie aux autres firmes. Enfin, les externalités de réseau existent si la valeur d'une technique pour un utilisateur s'accroît avec le nombre d'utilisateurs, comme dans le cas du téléphone. Toutes ces externalités d'adoption peuvent générer ce qu'on appelle des "courbes d'apprentissage", qui relient le coût d'une technique à son utilisation. De telles courbes ont été estimées avec succès pour différentes sources d'énergies, en particulier les renouvelables (AIE, 2000), mais beaucoup moins pour les techniques d'efficacité énergétique. Citons tout de même les travaux de Jakob et Madlener (2003) sur les éléments d'isolation des bâtiments, et ceux cités par Kamen (2003: 10) sur les lampes fluocompactes, qui mettent bien en évidence des courbes d'expérience significatives.

6.1.2. Comment inciter au progrès technique ?

Les pouvoirs publics peuvent stimuler l'innovation par deux canaux principaux :

- en stimulant les inventions en particulier par la R&D publique, ou par des aides à la R&D privée, on parle de politique *technology push* ;
- en incitant les consommateurs à choisir les biens et processus économisant l'énergie, on parle de politique *demand pull* ;

Concernant le premier canal, il faut souligner que les évaluations *ex post* des programmes de R&D publiques et des aides publiques à la R&D sont intrinsèquement difficiles, du fait du relativement petit nombre des projets aidés et du caractère intrinsèquement aléatoire de la recherche. Jaffe et al. (2003) tirent tout de même une conclusion des travaux d'évaluation *ex post* menés aux Etats-Unis : la participation significative de l'industrie – en particulier de plusieurs firmes plutôt que d'une seule – semble un facteur de succès. Les programmes, réussis, d'aide au photovoltaïque, à l'efficacité énergétique et aux moteurs avancés relèveraient en particulier de cette catégorie.

Le second type de politique n'est pas spécifiquement dédié à la stimulation du progrès technique et ne peut donc pas être jugé spécifiquement à cette aune. Cependant, les différents instruments de politique publique pour l'efficacité énergétique ne créent pas les mêmes incitations au progrès technique. Des travaux aussi bien théoriques qu'empiriques ont abordé cette question ; nous les passons en revue dans la suite de cette section.

6.1.3. Les travaux théoriques sur les politiques *demand-pull*

Quels instruments incitent ou freinent le progrès technique ? Un nombre grandissant de modèles théoriques a cherché à répondre à cette question pour les principaux instruments de réduction des émissions polluantes : PEN gratuits, PEN vendus aux enchères, taxes, normes d'émissions. Filhol (2003) synthétise cette littérature, en particulier les modèles de Milliman et Prince (1989), Jung et al. (1996), Montero (2002a et 2002b), Fisher et al. (2003) et Chiroleu-Assouline et al. (2003).

Une bonne partie des résultats de ces modèles dépendent bien sûr des hypothèses, en particulier de la facilité de l'imitation, du nombre de firmes et du mode de concurrence sur le

marché des produits. Toutefois, il subsiste en général un résultat standard : les normes et les PEN gratuits incitent moins à l'innovation que les taxes ou les PEN aux enchères. La raison en est simple : une fois mises sur le marché et diffusées, les inventions réduisent les émissions, donc diminuent le prix des PEN achetés aux enchères et le montant de taxe payé par les pollueurs. Taxes et PEN aux enchères créent donc une incitation à la R&D supplémentaire par rapport aux deux autres instruments, en plus des incitations à la R&D communes à tous ces instruments (baisse des coûts pour la firme innovatrice si elle est elle-même soumise à l'instrument, et vente éventuelle des brevets).

Enfin, de nombreux auteurs reprochent aux réglementations de ne pas créer d'incitation une fois atteint le niveau d'efficacité énergétique exigé. Cet inconvénient peut être partiellement levé par un durcissement progressif et annoncé à l'avance de la réglementation. Cependant, un durcissement trop radical risque d'être excessivement coûteux, en particulier si les consommateurs sont hétérogènes et/ou si le progrès technique en matière d'efficacité énergétique est moins élevé que prévu. Une norme flexible entre modèles (type CAFE) et plus encore entre constructeurs (type proposition Yves Martin) ne présente pas le premier type d'inconvénient mais garde le second.

6.1.4. Les travaux empiriques sur les politiques *demand-pull*

Si les travaux théoriques décrits ci-dessus concernent les instruments de réduction de la pollution, les travaux empiriques portent plus sur les politiques publiques d'efficacité énergétique que sur les politiques de lutte contre la pollution.

L'effet des taxes est généralement estimé à partir de celui des prix de l'énergie. Ainsi, Popp (1999) a montré que les dépôts de brevets sur des techniques relatives à l'énergie aux Etats-Unis entre 1970 et 1994 sont significativement et positivement associés aux prix de l'énergie. A partir cette fois des modèles proposés dans les catalogues de vente, Newell et al. (1999) ont montré que les normes d'efficacité, tout comme les variations des prix de l'énergie, expliquent une part significative des gains d'efficacité énergétique sur trois types d'appareils¹⁴ aux Etats-Unis.

Jaffe et Stavins (1995) ainsi que Kemp (1997), ont examiné les effets des codes de construction sur la diffusion des technologies aux Etats-Unis, sans trouver d'effet discernable. Selon Jaffe et al. (2003), il est difficile de déterminer si ce résultat négatif s'explique par une difficulté à mesurer les variations de la sévérité des codes de construction entre Etats ou par le fait que dans la plupart des cas, ces codes ne sont pas plus ambitieux que les pratiques courantes.

Selon Jaffe et Stavins (2001 : 178) toutes ces études montrent que la réponse des innovations aux variations des prix de l'énergie est particulièrement rapide, typiquement moins de cinq ans pour le dépôt du brevet et l'introduction des nouveaux modèles.

Enfin, Popp (2001, 2002), utilisant des données de brevets comme *proxies* de l'innovation, conclut qu'environ un tiers de la réponse de la consommation d'énergie au prix est associé à des innovations induites, les deux tiers restants provenant de substitutions à technique donnée. Comme le soulignent Jaffe et al. (2003: 14), comme des brevets ne sont déposés que pour une partie des innovations, cette estimation constitue une borne inférieure.

¹⁴ Les chauffe-eau, les climatiseurs individuels et collectifs.

6.2. *Propos d'étape sur les pistes de recherche*

Sur la base des travaux théoriques mentionnés au paragraphe 6.1.3, il serait utile de *représenter un système de certificats blancs dans un modèle avec R&D pour le comparer aux autres instruments*.

Une autre question découle des justifications mêmes de l'incitation au progrès technique, que nous avons listées au paragraphe 6.1.1. Ces incitations n'étant certainement pas les mêmes selon les options techniques et organisationnelles, on peut se demander s'il faut *créer des incitations financières plus élevées là où il y a plus d'externalités d'adoption*. Une telle différenciation est permise par un système de certificats blancs ou par des réglementations, plus difficilement par une taxe (même si celle-ci peut être différenciée entre les secteurs), encore moins par un système de permis d'émission négociables qui par définition égalise le coût marginal de réduction des émissions. La pertinence de cette différenciation suppose toutefois de *quantifier les externalités d'adoption par type de bien d'équipement, par des travaux économétriques*.

Troisièmement, en lien avec la prochaine section, on peut se demander quels instruments maximisent l'incitation au progrès technique, entre ceux qui rendent prévisible le coût marginal de réduction de la consommation d'énergie, par exemple une taxe, et ceux qui génèrent un coût marginal incertain, comme les PEN ou les certificats blancs. La réponse théorique est ambiguë et peu de travaux empiriques ont été réalisés. D'un côté, la volatilité du coût marginal d'utilisation de l'énergie peut inciter à un comportement de prudence, donc à davantage d'économies d'énergie. De l'autre, cette volatilité des prix peut décourager l'investissement de long terme que constitue la R&D. *Un croisement de la littérature sur le progrès technique induit et de celle sur l'effet incitatif des différents instruments est ici nécessaire*, sachant que ce champ de recherche n'en est qu'à ses balbutiements.

7. *Vaut-il mieux fixer un prix ou une quantité ?*

Dans le modèle du chapitre 2, les instruments qui fixent un prix (taxe ou combinaison de taxe et de subvention) sont équivalents à ceux qui fixent une quantité d'économie ou d'émission (PEN, certificats blancs, réglementation) du fait de deux hypothèses :

- l'absence d'incertitude sur le coût des économies d'énergie ;
- l'absence de pouvoir de marché sur le marché des PEN ou des certificats blancs.

Ces deux éléments ont en commun d'obliger à distinguer les instruments qui fixent un prix de ceux qui fixent une quantité. Nous les passons en revue tour à tour.

7.1. *Robustesse à l'incertitude : problématique et état des connaissances*

Lorsque le coût des économies d'énergie est incertain pour l'Etat, un instrument qui fixe un prix génère une incertitude sur la consommation d'énergie et sur la quantité d'économies par rapport au scénario *business-as-usual*. Inversement, un instrument qui fixe une quantité entraîne une incertitude sur le coût marginal des économies d'énergie, coût marginal qui se traduira par exemple sous forme de prix des certificats blancs ou des PEN.

L'article séminale est ici celui de Weitzman (1974) qui compare les instruments qui fixent un prix (taxes ou subventions) et les instruments qui fixent une quantité (réglementations, PEN) lorsque l'Etat ne connaît qu'imparfaitement les coûts et les bénéfices de réduction de la

pollution. Il s'avère que les instruments quantité sont préférables lorsque la pente de la courbe de bénéfice environnemental marginal est plus pentue que la courbe de coût marginal de réduction des émissions, ce qui survient en particulier en cas de seuil écologique (eutrophisation...). Réciproquement, les instruments prix sont préférables si la pente de la courbe de coût marginal de réduction des émissions est plus pentue que celle de la courbe de bénéfice environnemental marginal (par exemple s'il n'y a pas de seuil écologique, mais un risque de saturation des potentiels techniques).

Ce schéma a bénéficié de quelques applications et de multiples raffinements, qui ont fait surgir de nouveaux arguments en faveur de l'un ou l'autre de ces instruments et montré l'intérêt d'instruments plus complexes (comme les PEN avec prix plancher et plafond).

Par ailleurs, des travaux plus récents abandonnent ces instruments simples (simples dans leur principe – la mise en œuvre l'est beaucoup moins!) pour des menus de contrats incitatifs (Cf. Lewis, 1996, pour un survey). Quelques applications aux économies d'énergie sont à signaler, en particulier par Wirl (1999).

7.2. Robustesse à l'incertitude : pistes de recherche

La transposition de ces raisonnements à la question des économies d'énergie est rendue complexe par la nature multiple des bénéfices attendus et par le caractère dynamique de certains d'entre eux, en particulier ceux relatifs aux économies d'adoption mentionnées à la section précédente.

De plus, de multiples incertitudes interviennent. Avec les certificats blancs, on a une incertitude sur le prix des certificats, une autre sur la quantité d'énergie vendue en l'absence de ces certificats et une troisième sur la quantité de réductions réelles, du fait du caractère imparfait de l'additionalité, des effets rebonds... Il en est de même avec la réglementation, même si la question de l'additionalité est ici moins incertaine (cependant, comme nous l'avons souligné à la section 3, le cycle normalisé ne correspond qu'imparfaitement à l'utilisation réelle, d'où également une incertitude).

Il semble prioritaire de *déterminer lesquelles de ces incertitudes sont les plus néfastes*. Ensuite, il serait utile de *construire un modèle stochastique incluant plusieurs sources d'incertitude sur les coûts*, comme l'a fait l'auteur de ce rapport (Quirion, 2003) dans un autre contexte. Ce modèle pourrait permettre de comparer instruments "prix" et instruments "quantité", ainsi que certains instruments hybrides (comme l'ajout d'un prix plafond et d'un prix plancher à un système de certificats blancs).

La principale difficulté semble résider dans la disponibilité d'informations non seulement sur les coûts et les bénéfices, mais aussi sur l'ampleur des incertitudes qui caractérisent les variables aléatoires qu'un tel modèle devrait comporter. Peut-être une interrogation de plusieurs experts est-elle la méthode la plus à même de générer ce type d'information.

7.3. Pouvoir de marché : problématique et état des connaissances

Le modèle du chapitre 2 postule que tous les marchés sont en concurrence pure et parfaite. Si un ou quelques acteurs ont une position dominante sur le marché des certificats blancs ou des PEN, ce ou ces acteurs pourront influencer le prix soit à la hausse (s'ils sont vendeurs) soit à la baisse (s'ils sont acheteurs). Cette question a été largement traitée en ce qui concerne les PEN. En particulier, Hahn (1984) la formalise et Helioui (2004) la quantifie pour le marché international du CO₂. Misiolek et Elder (1989) modélisent une situation plus complexe dans laquelle une ou quelques firmes ont un pouvoir de marché aussi bien sur le marché des PEN

que sur celui des produits. La situation est alors plus complexe et il peut apparaître des cas où la firme dominante a intérêt à faire monter le prix des PEN pour exclure ses rivaux du marché du produit : les auteurs qualifient ce comportement de *exclusionary manipulation*.

7.4. Pouvoir de marché : pistes de recherche

Si la question du pouvoir de marché est bien connue en matière de PEN, il n'en n'est pas de même pour les certificats blancs. Si un tel système est mis en place en France, on peut s'attendre à ce qu'EDF et GDF se retrouvent en situation d'oligopsonne, c'est-à-dire bénéficient d'une position dominante à l'achat des certificats. Le modèle de base du monopsonne (marché caractérisé par un seul acheteur et de multiples vendeurs) prédit que dans une telle situation, la quantité échangée et le prix sont inférieurs à ce qu'ils seraient en concurrence parfaite, d'où un équilibre sous-optimal. Pour appliquer ce schéma aux certificats blancs, il est cependant nécessaire d'aller au-delà de ce modèle de base, en *représentant explicitement, dans un modèle théorique, la contrainte que constituent les certificats blancs (donc les différentes manières de fixer des objectifs à chaque firme) et la possibilité pour les fournisseurs d'énergie de générer eux-mêmes au moins une partie des certificats*.

Enfin, un modèle avec pouvoir de marché à la fois sur le marché des certificats blancs et sur ceux de l'énergie pourrait faire émerger certains risques ; il se peut ainsi que les firmes dominantes aient un intérêt à "asphyxier" le marché des certificats blancs en passant des accords d'exclusivité avec les principaux fournisseurs de certificats blancs, pour rendre plus difficile l'accès au marché français de l'électricité.

Si à l'analyse ces risques apparaissent rédhibitoires, les certificats blancs seraient avantageusement remplacés par une taxe dont les recettes seraient affectées sous forme de subvention aux économies d'énergie.

8. L'interaction entre instruments

Dans le domaine qui nous intéresse ici, de multiples instruments vont interagir en France à partir de 2005 si le calendrier prévu est tenu : certificats blancs, quotas de CO₂, réglementation et labellisation des appareils électriques, chauffe-eau et bâtiments neufs.

Les sections précédentes ont montré à quel point de nombreuses questions restent ouvertes au sujet de chacun des instruments de politique publique pour l'efficacité énergétique. Ces questions sont encore multipliées quand il s'agit d'analyser non plus un instrument isolé mais une combinaison d'instruments. Aussi, plutôt que de tenter de construire un cadre général, ce qui apparaît comme une tâche démesurée, nous nous focalisons dans cette section sur quelques exemples politiquement pertinents.

8.1. La problématique et l'état des connaissances

8.1.1. Plusieurs instruments pour les mêmes postes de consommation

En général, quand deux instruments visant à économiser l'énergie dans les mêmes postes de consommation sont en place simultanément ("double régulation"), on ne peut additionner leurs effets ni en terme de potentiel de réduction (ce que fait pourtant le PNLCC), ni en terme de coût (ce que font certains industriels). Dans la plupart des cas, l'effet est sous-additif : aussi bien le coût que la réduction de la consommation sont inférieurs à la somme de ce qu'apporterait chacun des instruments s'il était mis en œuvre isolément. Dans certains cas simples, l'un des deux instruments n'a même aucun effet, comme l'illustre Glachant (2000)

dans le cas d'une réglementation et d'une taxe : soit le coût marginal de conformité avec la réglementation est plus élevé que la taxe, auquel cas seule la première a un effet, soit c'est l'inverse, auquel cas seule la taxe a un effet. Cependant, en cas d'hétérogénéité des populations ciblées, ou d'imperfection du respect de la réglementation, les deux instruments pourront jouer un rôle. Selon Glachant, cette dernière situation prévaut dans le cas des Agences de l'eau.

Au contraire, si deux taxes portant (explicitement ou implicitement) sur l'énergie coexistent, leurs effets s'ajoutent. Selon la forme de la courbe de coût marginal, les effets sur les coûts et ceux sur la consommation d'énergie pourront être sur- ou sous-additifs. Qu'en est-il dans le cas d'une taxe et d'un système de quotas échangeables ? Si les deux systèmes s'appliquent dans le même périmètre, un seul instrument joue, celui qui impose le coût marginal le plus élevé. Au contraire, si, comme c'est le cas en pratique, la taxe est limitée à un Etat membre particulier alors que le système de quotas est (au moins) européen, l'effet d'une taxe nationale va s'ajouter à celui des quotas. Une telle coexistence va probablement se produire au Royaume-Uni avec le marché de quotas de CO₂ européen et la *Climate Change Levy* (Boemare et al., 2003).

Enfin, certaines combinaisons d'instruments font apparaître des synergies, c'est-à-dire que la réduction de consommation, pour un coût donné, est plus élevée que celle qui aurait été générée par chacun des instruments isolément. Ainsi, Newell et al. (1999) montrent, dans leur étude empirique des innovations économisant l'énergie dans les appareils domestiques, que la réponse de ces innovations au prix de l'énergie s'est accrue substantiellement à partir de l'introduction des labels d'efficacité énergétique. Selon les auteurs, le label a permis au consommateur de choisir un appareil en fonction de sa consommation électrique (entre autres facteurs), choix beaucoup plus difficile auparavant, puisque le consommateur devait alors aller chercher l'information lui-même, dans les publications d'associations de consommateurs, par exemple. On peut s'attendre à ce que toutes les politiques qui améliorent l'information accroissent ainsi la sensibilité de la demande d'énergie à son prix et donc l'efficacité des taxes.

De même, l'existence préalable de la loi de 1976 sur les installations classées et de ses textes d'application en France va faciliter grandement la mise en place du marché de quotas d'émissions de CO₂, qui peut ainsi s'appuyer sur un appareil existant en matière d'observance et être mis en place à un coût administratif et de transactions plus limité (Boemare et Quirion, 2003).

Enfin, labels et réglementation peuvent se baser sur le même cycle d'utilisation normalisé, ce qui réduit le coût administratif de ces instruments s'ils sont appliqués concomitamment ou successivement.

8.1.2. Plusieurs instruments pour différents postes de consommation

Il est très rare qu'un même instrument couvre l'ensemble des sources d'émission d'un polluant donné ou l'ensemble des consommations d'énergie. Ainsi, la directive européenne qui va créer un marché de quotas échangeables de CO₂ ne couvrira qu'à peine 50 % des émissions de CO₂ de l'Union européenne, bien moins en France. Dans un tel cas de figure, le problème est double : non seulement il n'existe pas d'incitation à réduire les émissions non couvertes par l'instrument en question, mais dans certains cas cela crée une incitation à augmenter ces dernières émissions. Ainsi, puisque cette dernière directive ne couvre pas les installations de combustion de moins de 20 MW, il devient plus intéressant de recourir aux installations inférieures à ce seuil. En particulier, le chauffage urbain par réseau de chaleur s'en trouve désavantagé par rapport au chauffage individuel.

Face à une telle situation, il est souhaitable d'étendre la couverture de l'instrument ou de couvrir les autres sources par un instrument équivalent. Dans notre exemple, la première solution semble impraticable pour des raisons de coûts administratifs et de transaction. En revanche, un système de certificats blancs, une taxe ou un ensemble de réglementations portant sur le chauffage individuel pourraient contribuer à corriger cet effet pervers de la directive quotas. Cependant, au-delà de cet exemple simple, les interactions vont s'avérer plus complexes et demander une analyse fine.

8.2. Propos d'étape sur les pistes de recherche

Certificats blancs, réglementation et labels tels qu'ils se dessinent visent à réduire aussi bien les consommations d'électricité que celles de gaz ou de fuel domestique des ménages et entreprises du secteur tertiaire. Or, alors que les émissions de CO₂ dues à la production d'électricité sont couvertes par la directive quotas, ce n'est pas le cas des émissions dues à la consommation de gaz ou de fuel domestique des ménages et entreprises du secteur tertiaire (sauf éventuellement pour les installations de plus de 20 MW). Cet argument pourrait inviter à distribuer davantage de certificats pour des actions visant à réduire la consommation de combustibles fossiles que d'électricité, mais un tableau plus complet devrait prendre en compte également les diverses taxes : TICGN, TIPP, fraction de la taxe sur l'électricité non affectée aux réseaux... De plus, il est difficile de quantifier les incitations fournies par ces différents instruments, le prix des quotas de CO₂ en Europe ne pouvant être connu à l'avance. *Une modélisation à l'aide d'un modèle énergétique serait ici nécessaire pour identifier le niveau optimal d'incitation pour chaque secteur et source d'énergie.*

Par ailleurs, *la coexistence d'instruments risque de multiplier les effets d'aubaine* présentés en section 2 en créant la possibilité de "doubles (voire triples) comptes", conséquences de la "double régulation" mentionnée au paragraphe 8.1 ci-dessus. Prenons l'exemple d'une centrale de cogénération à base de biomasse. Si le schéma institutionnel s'y prête, cette installation peut prétendre (i) générer des certificats verts ou bénéficier d'un tarif d'achat garanti dévolu aux EnR, (ii) générer des certificats blancs en diminuant les pertes de transmission et (iii) générer des quotas d'émission de CO₂. Cette triple incitation n'est pas nécessairement néfaste mais faute de la prendre en compte, on court le risque de multiplier les effets d'aubaine et de générer des distorsions non voulues entre secteurs et postes de consommation d'énergie. *Un modèle théorique simple explicitant les bénéfices attendus de ces différents instruments (en ne se limitant pas à la lutte contre le changement climatique) permettrait d'éclairer ce point.*

Enfin, *l'idée de rendre les certificats blancs échangeables avec les quotas de CO₂ revient régulièrement* dans les débats, dans l'optique d'égaliser les coûts marginaux entre sources de gaz à effet de serre. Cette idée nécessite pourtant un examen plus approfondi, d'une part parce que l'électricité resterait couverte deux fois, à la production et à la consommation, d'autre part parce que la lutte contre le changement climatique ne constitue que l'une des justifications au système de certificats blancs (cf. paragraphe 1.2). *Cette question pourrait être éclairée par le même type de modèle que la précédente.*

9. Conclusions

9.1. Conclusions sur l'intérêt relatif des certificats blancs

Au terme de ce tour d'horizon, que peut-on conclure quant à l'intérêt des certificats blancs par rapport aux autres politiques publiques disponibles ?

Tout d'abord, les certificats blancs semblent présenter des effets distributifs plus limités que les autres instruments, en tout cas quand les objectifs des firmes assujetties sont fixés en pourcentage de leurs ventes d'énergie, ce qui tend à favoriser leur acceptabilité.

Un autre avantage des certificats blancs réside dans la capacité qu'ils semblent avoir de surmonter certaines pathologies qui empêchent la mobilisation du potentiel rentable d'économies d'énergie, en diminuant le coût des biens durables économisant l'énergie.

Enfin, si les objectifs sont fixés en pourcentage des ventes d'énergie, les certificats blancs souffrent moins de l'effet rebond que la réglementation (mais plus que les taxes). Par rapport à la réglementation, ils permettent en outre d'assainir le parc d'équipement ancien en diminuant le coût des biens durables économisant l'énergie. La contrepartie de cet avantage est que de ce fait, les certificats blancs risquent d'accroître le parc de bien d'équipements, d'où un autre type d'effet rebond. La réglementation apparaît donc plus intéressante pour les biens qui ne saturent pas le marché, comme les climatiseurs. Les certificats blancs semblent en revanche préférables pour les biens dont le marché est saturé et pour lesquels les nouvelles générations d'équipement sont nettement plus économes que les précédentes, comme les lave-linge ou les chauffe-eau.

Par ailleurs, les certificats blancs, comme les autres aides publiques ou parapubliques, entraînent inévitablement un effet d'aubaine important, dans le sens où des agents sont rémunérés pour des actions d'économie d'énergie qu'ils auraient entreprises de toute manière. Cet effet d'aubaine n'est pas forcément un réel problème si l'objectif est suffisamment ambitieux et si les coûts de transaction et administratifs sont maintenus à un niveau suffisamment faible. En revanche, il peut rendre le système inefficace si l'objectif est trop modeste, car seules seront financées des actions qui auraient été entreprises de toute manière. Mieux vaut donc accepter un certain effet d'aubaine et fixer un objectif ambitieux plutôt que renforcer les procédures de contrôle pour éliminer l'effet d'aubaine, ce qui semble voué à l'échec à moins de multiplier les coûts administratifs et de transaction jusqu'à rendre l'ensemble du système inefficace.

9.2. Conclusions sur les pistes de recherche

Aller au-delà de ces conclusions nécessite de mener des recherches appliquées. Deux principales familles de pistes de recherche se dégagent.

La première concerne le fonctionnement des instruments pris en isolation, indépendamment de leur interaction. Elle vise à éclairer le choix entre les instruments en fonction du contexte, en accordant une priorité à l'analyse des certificats blancs du fait du manque de travaux aussi bien *ex ante* qu'*ex post* sur cet instrument. Du fait de l'interdépendance des principales questions empiriques, il nous paraît important de traiter dans un cadre cohérent :

- les principales sources de potentiel sans regret (cf. section 4), qui devront avoir été quantifiées auparavant, si possible en lien avec l'étude projetée par l'AIE (Meier, 2004) ;
- les effets rebonds (cf. section 5), en séparant ceux qui transitent par les prix de l'énergie de ceux qui transitent par le prix des biens d'équipement, donc en distinguant les générations de bien d'équipement. La quantification de ce type de modèle devrait s'appuyer sur une analyse économétrique de l'effet des politiques passées ;
- l'incitation au progrès technique (cf. section 6), liée à l'attribution ou non d'une rente aux innovateurs par les instruments et à la volatilité du signal prix, qui peut soit inciter à la R&D en générant des comportements de prudence, soit décourager l'investissement de long terme que constitue cette R&D ;

- la robustesse à l'incertitude sur le coût de réduction des émissions, et en particulier la capacité à éviter aussi bien le charybde d'un coût excessif que le scylla d'un objectif laxiste au point de ne pas se distinguer du *business-as-usual* ;
- le risque de position dominante sur le marché des certificats blancs (cf. section 7).

Sur ces points, nous suggérons de recourir à la modélisation en équilibre partiel et de construire des modèles appliqués, en choisissant les secteurs pour lesquels les potentiels sont importants et les données disponibles. Par ailleurs, concernant une autre question importante, l'effet d'aubaine, nous suggérons de mettre l'accent sur l'analyse empirique *ex post*, en commençant par l'expérience des certificats d'économie d'énergie au Royaume-Uni.

La seconde concerne la coexistence entre instruments. Cette coexistence pose problème dans la mesure où les instruments préexistants, adoptés suite à divers lobbyings, n'ont aucune raison d'être optimaux. Trois questions principales se posent :

- la première est très empirique : dans un monde où les différents secteurs et sources d'énergie ne sont pas soumis aux mêmes taxes et incitations, comment faut-il prendre en compte ces distorsions préexistantes dans la conception des nouveaux instruments comme les certificats blancs ? Une modélisation à l'aide d'un modèle énergétique serait ici nécessaire pour identifier le niveau optimal d'incitation pour chaque secteur et source d'énergie ;
- la coexistence d'instruments risque de multiplier les effets d'aubaine en créant la possibilité de "doubles (voire triples) comptes". Un modèle théorique simple explicitant les bénéfices attendus de ces différents instruments (en ne se limitant pas à la lutte contre le changement climatique) permettrait d'éclairer ce point ;
- Enfin, l'idée de rendre les certificats blancs échangeables avec les quotas de CO₂ revient régulièrement dans les débats, dans l'optique d'égaliser les coûts marginaux entre sources de gaz à effet de serre. Cette idée nécessite pourtant un examen plus approfondi, d'une part parce que l'électricité resterait couverte deux fois, à la production et à la consommation, d'autre part parce que la lutte contre le changement climatique ne constitue que l'une des justifications au système de certificats blancs. Cette question pourrait être éclairée par le même type de modèle que la précédente.

Références

- AIE (2000) *Experience curves for energy technology policy*, AIE, Paris
- AIE and OCDE (2000) *Emission baselines – estimating the unknown*, OCDE, Paris
- AIE (2003) *Cool appliances – Policy strategies for energy-efficient homes*, AIE, Paris
- Anderson, S. and R. Newell (2002) *Information programs for technology adoption: The case of energy-efficiency audits*, RFF working paper 02-58
- Association négaWatt (2003) *Réglementation énergétique dans les bâtiments antérieurs à 1975*, rédaction Olivier Sidler, 2 octobre, disponible sur :
http://www.negawatt.org/doc_teledchargeables/Mesure%20nW%20Renov%20v1.02.pdf
- Baudry, P. (2004), *La création d'un marché de certificats d'économie d'énergie*, mimeo, EDF, 10 mars
- Bentzen, J. (2004), "Estimating the rebound effect in US manufacturing energy consumption" *Energy Economics*, 26: 123-134
- Binswanger, M. (2001) "Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?" *Ecological Economics* 36(1): 119-132
- Boemare, C. and P. Quirion (2003) *Interaction in EU climate policy – France policy brief*, Report for the European Community, CIRED, June
- Boemare, C., P. Quirion and S. Sorrell (2003) "The evolution of emissions trading in the EU: Tensions between national trading schemes and the proposed EU directive", *Climate Policy*, 3S2: S105-S124
- Charles River Associates (1999) *Analysis of the reduction of carbon emissions through tradable permits or the technology standard in a CGE framework*
- Chiroleu-Assouline, M., L. Ragot and K. Schubert (2003) *Incentive to innovate in a clean technology under monopolistic competition: a comparison of policy instruments*, Université de Paris 1, https://www.gruponahise.com/eaere2003/PAPER_8/8C_3SCHU.pdf
- Duhamel, E., C. Glanois, C. Lenoble et S. Treillard (2004) *L'amélioration de l'efficacité des appareils électriques*, Rapport pour l'atelier changement climatique, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, version provisoire disponible sur
http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/index.htm
- European Environment Agency (2002) *Energy and environment in the European Union*, Copenhagen
- Filhol, M. (2003) *Economie industrielle et systèmes d'incitation au développement de l'énergie éolienne*, Mémoire de DEA Economie de l'environnement et des ressources naturelles, CIRED, octobre
- Fischer, C., I. Parry et W. Pizer (2003), "Instrument choice for environmental protection when technological innovation is endogenous", *Journal of environmental economics and management*, 45: 523-545
- Giraud, P.N. (ed.) (2002) *Effet de serre : modélisation économique et décision publique*, Commissariat Général du Plan, La Documentation Française

- Glachant, M. (2000) *Les instruments et les institutions des Agences de l'eau : quelques réflexions sur leur efficacité économique en matière de pollution industrielle et domestique*, Cerna, Ecole des Mines de Paris, Rapport pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie, avril
- Greening, L.A., D. L. Greene and C. Difiglio (2000) "Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey", *Energy Policy* 28: 389-401
- Griliches, Z. (1992) "The search for R&D spillovers", *Scandinavian Journal of Economics*, 94: S29-S47
- Guardiola Molla, P., B. Naturel, L. Perret et G. Renaudie (2004) *Les certificats d'économie d'énergie*, Rapport pour l'atelier changement climatique, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, version provisoire disponible sur http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/index.htm
- Hahn, R. (1984), "Market power and transferable property rights", *Quarterly Journal of Economics*, 99, 753-765.
- Harrington, L. (2001) *A comparative assessment of refrigerator test methods*, ECEEE Summer study
- Hasset, K. and G. Metcalf (1995) "Energy tax credits and residential conservation investment: Evidence from panel data", *Journal of public economics*, 57: 201-217
- Helioui, K. (2004) *Le choix des permis d'émission négociables dans la lutte contre le réchauffement planétaire : Enseignements d'une analyse économique*, thèse de doctorat en sciences économiques, EHESS, CIRED
- Jaffe, A. and R. Stavins (1995) "Dynamic incentives of environmental regulations: the effects of alternative policy instruments on technology diffusion", *Journal of environmental economics and management*, 29: S43-63
- Jaffe, A., R. Newell and R. Stavins (2001) "Energy-efficient technologies and climate change policies: issues and evidence", in M. Toman, ed., *Climate change and policy: an RFF anthology*, RFF Press
- Jaffe, A., R. Newell and R. Stavins (2003), *Technology Policy for Energy and the Environment*, NBER disponible en ligne www.nber.org/~confer/2003/ipes03/jaffee.pdf
- Jakob, M. and R. Madlener (2003) "Exploring Experience Curves for the Building Envelope: An Investigation for Switzerland for 1970–2020", *CEPE Working Paper Nr. 22, March 2003*, CEPE ETH Zentrum, WEC CH-8092 Zürich www.cepe.ethz.ch
- Joskow, P. and D. Marron (1992) What does a Negawatt really cost? Evidence from utility conservation programs, *Energy journal*, 13(4): 41-74
- Jung, Krutilla et Boyd (1996), "Incentives for advanced pollution abatement technology at the industry level : an evaluation of policy alternatives", *Journal of environmental economics and management* 30: 95-111
- Kamen, D. (2003) Clean energy and leadership at the University of California, University of California Clean Power/Green Building Standards Meeting, February 24, University of California, Berkeley – Renewable and Appropriate Energy Laboratory, available at: <http://www.ucop.edu/facil/greenbldgs/kammenpresentation.pdf>
- Langniss, O. and B. Praetorius (2004) "How much market do market-based instruments create? An analysis of white certificates", *Energy Policy*, forthcoming, ZSW/DIW

- Laponche, B. (2002) "Les mots pour le dire : de l'économie à l'intelligence", *Les cahiers de Global Chance*, n° 16, "maîtrise de l'énergie et développement durable", novembre
- Lewis (1996), "Protecting the environment when costs and benefits are privately known", *Rand Journal of Economics*,
- Martin, Y. (1999) *La réduction des émissions de CO₂ par les automobiles - Engagement volontaire de l'ACEA*, Note du 30-06-1999, <http://www.cgm.org/rapports/cd-rom/CD-Yves-Martin/d-Transports/documents/2.7.doc>
- Meier, A. (2004) *Quantifying market failures in the end use of energy*, draft proposal, IEA, 9 February
- Meyers, S., J. McMahon, M. McNeill and X. Liu (2002) *Introduction to prospective impacts of U.S. Energy Efficiency Standards for Residential Appliances*, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720, June
- Milliman et Prince (1989), "Firm incentives to promote technological change in pollution control", *Journal of Environmental Economics and Management* 17: 247-265
- Misiolek et Elder (1989) "Exclusionary Manipulation of Markets for Pollution Rights", *Journal of Environmental Economics and Management* 16: 156-66
- Moisan, F. (2004) "Les certificats blancs : un nouvel instrument de marché pour la maîtrise de l'énergie", *Revue de l'énergie*, 553: 21-28
- Montero (2002a) "Permits, Standards, and Technology Innovation", *Journal of Environmental Economics and Management* 44: 23-44
- Montero (2002b) "Market structure and environmental innovation", *Journal of Applied Economics*, Vol. V, No. 2: 293-325
- Morgenstern, R. and S. Al-Jurf (1999) "Can free information really accelerate technology diffusion?", *Technological forecasting and social change*, 61: 13-24
- Nadel, Steven (1990) "Lessons learned: A review of the utility experience with conservation and load management programs for commercial and industrial customers", Prepared for New-York State energy research and development authority, ACEEE, New-York
- NARUC (1994) *Regulating DSM program evaluation: Policy and administrative issues for public utility commissions*, ORNL/Sub/95X-SH985C. Co-authors: J. Raab and D. Violette, Washington DC: national association of regulatory utility commissioners.
- Ostertag, K. (2002) *"No-regret" potential in energy conservation: An analysis of their relevance, size and determinants*, Thèse européenne de science économique, Université Louis Pasteur (Strasbourg I)
- Pagliano, L., P. Alari and G. Ruggeri (2003) *The Italian energy saving obligation to gas and electricity distribution companies*, ECEEE Summer Study
- Parkinson et al. (2001) Accounting for the flexibility against uncertain baselines: lessons from case studies in the eastern European energy sector, *Climate policy*, 1: 55-73
- Parry, I. and J. Darmstadter (2003) *The Costs of U.S. Oil Dependency*, RFF Discussion Paper 03-59
- Popp, D. (1999) *Induced innovation and energy prices*, Working paper, Lawrence, KS: University of Kansas

- Popp, D. (2001) "The effect of new technology on energy consumption", *Resource and Energy Economics*, 23(4): 215-239
- Popp, D. (2002) "Induced innovation and Energy Prices", *American Economic Review*, 92(1): 339-349
- Quirion, P. (2003) *Choosing a climate policy under cost uncertainty: intensity targets, absolute targets or international tax?*, Conference "Climate Policy after 2012", Ghent University, Belgium, 17-18 November, to be published in J. Albrecht (ed.) *Climate Policy after 2012*, Routledge
- Schiellerup (2002) "An examination of the effectiveness of the EU minimum standard on cold appliances: The British case", *Energy Policy*, 30: 327-332
- Schumpeter, J. (1939) *Business Cycles*
- Sorrell, S., et al. (2000) *Reducing barriers to energy efficiency in public and private organisations*, Report for the European Commission, SPRU
- UNCTAD (1998) *Greenhouse gas emissions trading – Defining the principles, modalities, rules and guidelines for verification, reporting & accountability*
- Wiel, S., J. McMahon (2003) "Governments should implement energy-efficiency standards and labels – cautiously", *Energy Policy*, 31: 1403-1415
- Wirl, F. (1989) "Analytics of demand-side conservation programs", *Energy Systems and Policy*, 13: 285-300
- Wirl, F. (1999) "Conservation incentives for consumers", *Journal of Regulatory Economics*, 15: 23-40

Annexe. Un modèle d'équilibre partiel pour comparer les instruments d'économie d'énergie

On suppose qu'un consommateur représentatif minimise le coût qui lui permet d'atteindre un niveau de service énergétique donné SE , fixé de manière exogène. Pour cela il achète de l'énergie e au prix Pe et un bien durable vert g au prix Pg . Ces deux biens sont combinés selon une fonction de production de type Cobb-Douglas à rendements constants pour produire le service énergétique SE . Le ménage est preneur de prix sur les deux marchés. Son objectif est donc :

$$\text{Min } Pe e + Pg g \quad (1)$$

sous la contrainte : $g^a e^{1-a} \geq SE$, avec $a \in (0,1)$.

Les conditions du premier ordre donnent les demandes de biens :

$$g_d = (a Pe)^{1-a} ((1-a)Pg)^a SE \quad (2)$$

$$e_d = (a Pe)^{-a} ((1-a)Pg)^a SE \quad (3)$$

Les fournisseurs d'énergie maximisent leur profit en concurrence parfaite et produisent avec des rendements linéairement décroissants. Leur objectif est :

$$\text{Max } p_e = Pe e - \left(g e + \frac{d}{2} e^2 \right) \quad (4)$$

avec $g, d > 0$.

On en déduit une courbe d'offre d'énergie :

$$e_s = \frac{Pe - g}{d} \quad (5)$$

Les fournisseurs de biens durables propres maximisent également leur profit en concurrence parfaite et produisent avec des rendements linéairement décroissants. Leur objectif est :

$$\text{Max } p_g = Pg g - \left(l g + \frac{m}{2} g^2 \right) \quad (6)$$

avec $l, m > 0$.

On en déduit une courbe d'offre de bien durable propre :

$$g_s = \frac{Pg - l}{m} \quad (7)$$

On résout ensuite numériquement les équations d'offre et de demande (2), (3), (5) et (7) en laissant e exogène et en modifiant certaines de ces relations pour représenter les différentes politiques d'économie d'énergie, comme décrit ci-dessous.

A.1. Certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie

Les fournisseurs d'énergie doivent maintenant délivrer des certificats blancs aux pouvoirs publics, dans une quantité $c e$ proportionnelle à leurs ventes d'énergie. On suppose que ces

fournisseurs ne mènent pas eux-mêmes des actions leur permettant de générer des certificats, mais les achètent aux producteurs de biens propres qui peuvent générer des certificats pour toutes leurs ventes. P_c désigne le prix du marché des certificats. Une nouvelle équation apparaît, l'équilibre sur le marché des certificats :

$$c e = g \quad (8_{CB\%})$$

Les équations (4) à (7) sont modifiées comme suit :

$$\text{Max } p_e = P e e - P c c e - \left(g e + \frac{d}{2} e^2 \right) \quad (4_{CB\%})$$

$$e_s = \frac{P e - P c c - g}{d} \quad (5_{CB\%})$$

$$\text{Max } p_g = (P g + P c) g - \left(l g + \frac{m}{2} g^2 \right) \quad (6_{CB\%})$$

$$g_s = \frac{P g + P c - l}{m} \quad (7_{CB\%})$$

A.2. Certificats blancs avec objectif en valeur absolue

Les fournisseurs d'énergie doivent maintenant délivrer des certificats blancs aux pouvoirs publics, dans une quantité fixe c . L'équilibre sur le marché des certificats devient :

$$c = g \quad (8_{CBA})$$

Les équations (4) à (7) sont modifiées comme suit :

$$\text{Max } p_e = P e e - P c c - \left(g e + \frac{d}{2} e^2 \right) \quad (4_{CBA})$$

$$e_s = \frac{P e - g}{d} \quad (5_{CBA})$$

$$\text{Max } p_g = (P g + P c) g - \left(l g + \frac{m}{2} g^2 \right) \quad (6_{CBA})$$

$$g_s = \frac{P g + P c - l}{m} \quad (7_{CBA})$$

A.3. Taxe ou PEN aux enchères, recettes reversés aux consommateurs

Par rapport au modèle de la section A.1, seules les équations 4 et 5 sont modifiées :

$$\text{Max } p_e = (P e - t) e - \left(g e + \frac{d}{2} e^2 \right) \quad (4_T)$$

$$e_s = \frac{P e - t - g}{d} \quad (5_T)$$

t est le taux de la taxe, par unité énergétique, ou le prix des PEN. En outre, les consommateurs reçoivent une subvention publique d'un montant $t e$. On suppose que cette subvention n'a pas d'incidence sur le comportement des consommateurs.

A.4. PEN distribués gratuitement ou taxe dont les recettes sont reversés aux fournisseurs d'énergie

Par rapport au modèle précédent, seule l'équation 4 est modifiée, sans que ça n'ait d'influence sur le comportement des entreprises :

$$\text{Max } p_e = (P_e - t)e - \left(g e + \frac{d}{2} e^2 \right) + GF \quad (4_{\text{PEN}})$$

GF (pour grandfathering) constitue la quantité de PEN créés, ou la subvention agrégée versée aux fournisseurs d'énergie.

Il est également ajouté une équation d'équilibre du budget public, ou d'équilibre sur le marché des PEN :

$$t e = GF \quad (8_{\text{PEN}})$$

A.5. Réglementation

Le ménage minimise ses dépenses conformément à l'équation (1), mais il est maintenant soumis à une nouvelle contrainte : $g \geq g_{\min}$, dont on suppose qu'elle est contraignante. Par rapport au modèle de la section A.1, les équations 2 et 3 deviennent :

$$g_d = g_{\min} \quad (2_{\text{R}})$$

$$e_d = g_{\min}^{-\frac{a}{1-a}} SE^{\frac{1}{1-a}} \quad (3_{\text{R}})$$

A.6. Résultats numériques

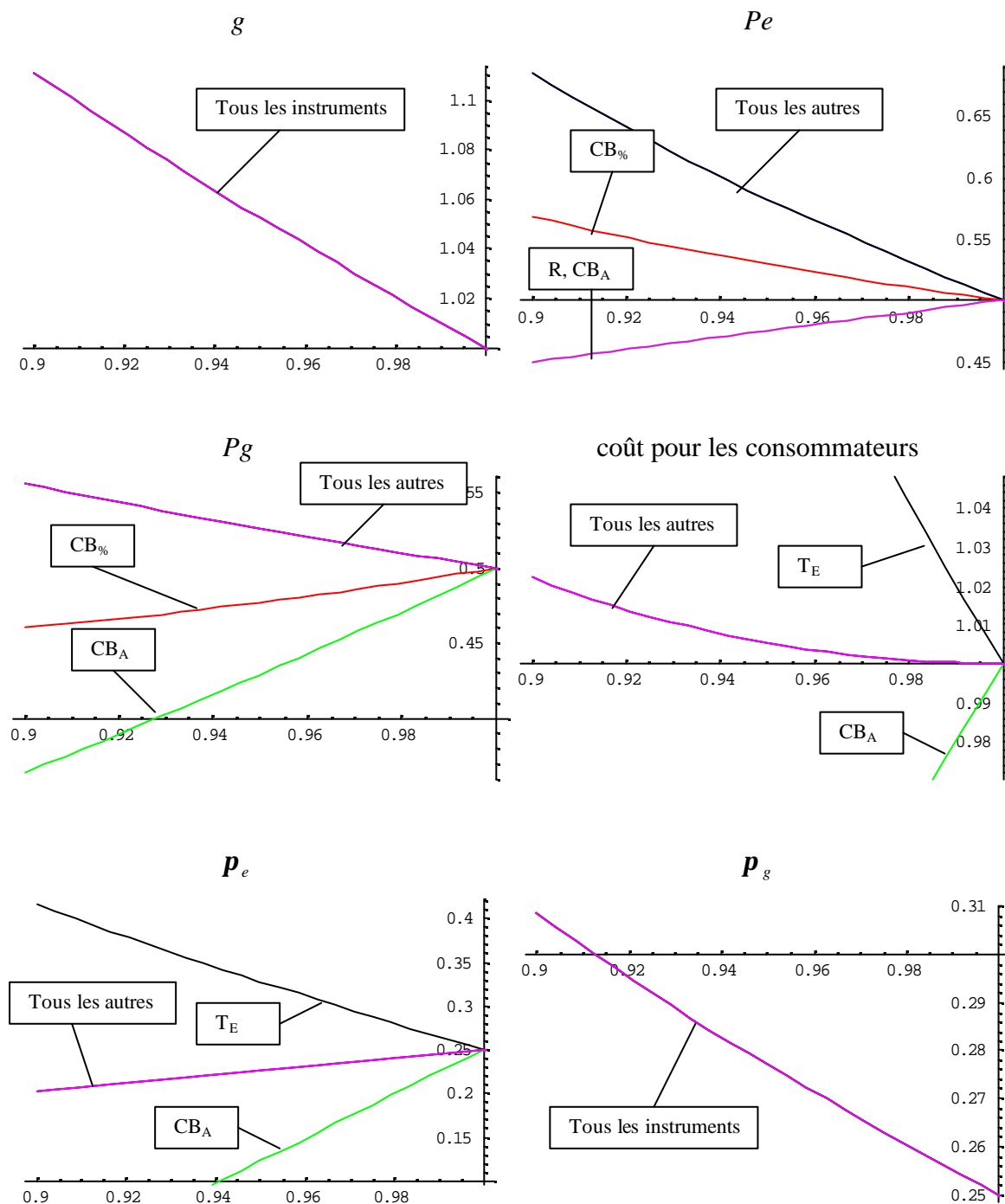
Dans chacun des six graphiques ci-dessous, on représente en abscisse la quantité d'énergie vendue et consommée, normalisée à 1 en l'absence d'intervention publique. A l'extrémité gauche de l'axe, on a donc 10 % d'économies d'énergie par rapport au scénario de référence. Chacun des graphiques représente l'évolution d'une même variable pour les cinq instruments.

Les paramètres retenus sont les suivants :

$$SE = 1; a = 0,5; g = 0; d = 0,5; l = 0; m = 0,5;$$

Graphique A.1. Résultats du modèle pour un niveau donné d'économies d'énergie

(Sur l'axe des abscisses, la valeur 0.9 correspond à 10% d'économies d'énergie)



Instruments étudiés dans le modèle :

CB_% : système de certificats blancs avec objectif en pourcentage des ventes d'énergie

CB_A : système de certificats blancs avec objectif absolu

T_C : taxe dont les recettes sont reversées aux consommateurs d'énergie

T_E : taxe dont les recettes sont reversées forfaitairement aux fournisseurs d'énergie

R : réglementation