



## Quelle efficacité des dispositifs de certificats blancs dans les politiques de maîtrise de la demande d'énergie ?

Louis-Gaëtan Giraudet, Dominique Finon, Philippe Quirion

### ► To cite this version:

Louis-Gaëtan Giraudet, Dominique Finon, Philippe Quirion. Quelle efficacité des dispositifs de certificats blancs dans les politiques de maîtrise de la demande d'énergie ?. Carassus J., Duplessis B. Économie et développement urbain durable - 1. Modèles économiques appliqués à la ville. Financement et coût de l'investissement durable, Presses des mines, pp.73-93, 2010, ISBN : 9782911256134. <hal-00799694>

**HAL Id: hal-00799694**

**<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-00799694>**

Submitted on 14 Mar 2013

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

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

# Quelle efficacité des dispositifs de certificats blancs dans les politiques de maîtrise de la demande d'énergie ?

Louis-Gaëtan Giraudet (CIRED)

Dominique Finon (CNRS/CIRED)

Philippe Quirion (CNRS/CIRED)

## RESUME

Les dispositifs de « certificats blancs » obligent les fournisseurs d'énergie à promouvoir les économies d'énergie, soit en incitant leurs clients à investir dans des technologies efficaces (isolation, chauffage et éclairage performants, etc.), soit en achetant des certificats à un fournisseur ayant dépassé l'objectif qui lui a été attribué. Nous tentons d'établir les propriétés théoriques de ce nouvel instrument de maîtrise de la demande d'énergie et de les valider par une analyse empirique des expériences européennes. À l'aide d'un modèle microéconomique simple, nous montrons que par rapport à d'autres instruments, les certificats blancs sont un bon compromis entre l'efficacité économique et les effets « redistributifs » qui conditionnent leur acceptabilité. Ils présentent un fonctionnement hybride entre subvention aux équipements efficaces et taxe sur l'énergie, où la contrainte est répercutée sur le prix de l'énergie. Ces propriétés servent à éclairer l'analyse des dispositifs britannique, italien et français et de leurs résultats, qu'il convient d'opérer dans une perspective dynamique. Si le modèle ne peut expliquer certains caractères déterminants, il reproduit les tendances communes, en particulier le développement de partenariats entre les obligés et les installateurs d'équipements efficaces. L'analyse empirique montre également l'importance de l'apprentissage et de la

construction de filières d'efficacité énergétique au fur et à mesure de l'exploitation des gisements d'économies d'énergie.

## INTRODUCTION

Les obligations de « certificats blancs » ont été introduites dans la panoplie des politiques énergétiques européennes en 2002 en Grande-Bretagne, en 2005 en Italie et en 2006 en France. Cette démarche est portée par un regain d'intérêt pour la maîtrise de la demande d'énergie, qui avait été quasiment abandonnée à la suite du contre-choc pétrolier de 1986. Les politiques de maîtrise de la demande sont généralement justifiées par leur capacité à corriger deux grandes défaillances de marché : les effets externes liés à la consommation d'énergie (émissions de CO<sub>2</sub>, dépendance aux importations d'énergies fossiles) et surtout les barrières conduisant à l'*energy efficiency gap* ou sous-investissement dans l'efficacité énergétique. On constate en effet que ces investissements, pourtant rentables sur le long terme, sont entravés par l'information imparfaite, les contraintes de financement des particuliers ou encore les asymétries d'incitation entre propriétaires et locataires<sup>1</sup>. La multiplicité des barrières appelle la multiplicité des instruments économiques<sup>2</sup> et la politique française de maîtrise de la demande associe par exemple réglementations thermiques, subventions destinées à réduire le temps de retour des investissements des particuliers (crédit d'impôt, éco-prêt à taux zéro) et labels destinés à accélérer la diffusion de l'information (classes de performance énergétique des équipements, diagnostic de performance énergétique des logements).

La mise en place de certificats blancs vient compléter cet arsenal en s'inspirant des politiques de *demand side management* ou *integrated resource planning*, développées aux Etats-Unis à partir des années 1980. Ces politiques visaient à optimiser le système électrique en imposant aux monopoles électriques régulés d'arbitrer leurs investissements entre génération d'électricité

---

<sup>1</sup> Sorrell, S., E. O'Malley, J. Schleich, S. Scott, 2004, *The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment*, Edward Elgar Ed.

Gillingham, K., R. Newell, K. Palmer, 2009, "*Energy Efficiency Economics and Policy*". Annual Review of Resource Economics, In Press

<sup>2</sup> Agence Internationale de l'Energie, 2008, *Promoting energy efficiency investments. Case studies in the residential sector*

en amont et mesures d'efficacité énergétique en aval. L'obligation de certificats blancs leur emprunte l'idée que les opérateurs énergétiques, en prise directe avec les consommateurs, sont un vecteur privilégié pour réduire la demande d'énergie des secteurs de consommation diffuse tels que le bâtiment résidentiel et tertiaire. Cependant, leur mise en place dans le contexte européen des marchés de l'énergie libéralisés nécessite des adaptations.

Dans cette perspective, la définition des certificats blancs s'appuie sur quatre principes<sup>3</sup>. Premièrement, des objectifs quantitatifs d'économies d'énergie à réaliser chez les consommateurs sont imposés aux entreprises énergétiques, fournisseurs d'électricité et de gaz naturel dans le cas général. Cette obligation est contraignante puisque les « obligés » s'exposent à une pénalité s'ils ne respectent pas leur objectif. Elle est définie au prorata de leurs ventes ou de leurs chiffres d'affaires, ce qui ne fausse pas la concurrence dans laquelle ils sont engagés. Deuxièmement, les obligés peuvent s'acquitter de leur obligation par différents moyens : promotion de mesures d'efficacité énergétique auprès de leurs clients, sous-traitance de ces actions à d'autres agents ou encore achat de certificats d'économies d'énergie sur un marché alimenté par des concurrents ayant dépassé leur objectif, voire des tiers non obligés. Cette dernière possibilité constitue apparemment le caractère le plus innovant et a été mise en avant lorsque le dispositif a été présenté aux politiques en Italie et en France. Elle s'inscrit dans la généralisation des outils de marché au sein des politiques environnementales européennes, comme les quotas de CO<sub>2</sub> et les obligations de « certificats verts » pour les énergies renouvelables. La flexibilité apportée par ces différentes options doit aider les obligés à investir des domaines qui n'appartiennent pas à leur cœur de métier. En particulier, ils peuvent déployer de nouveaux *business model* pour surmonter la contradiction qui règne entre leur activité historique de vente d'énergie et l'obligation de promouvoir des économies d'énergie qui leur est imposée. Troisièmement, en régime de marché, ils sont théoriquement libres de répercuter la contrainte dans leur prix de vente d'énergie. Quatrièmement, dans un souci de réduction des coûts administratifs du dispositif, des actions standardisées privilégiant les calculs *ex ante* aux vérifications *ex post* sont mises en place pour certifier les économies d'énergie.

---

<sup>3</sup> Pour un exposé approfondi des concepts fondamentaux, voir Bertoldi, P., S. Rezessy, "Tradable white certificate schemes: fundamental concepts", Energy Efficiency (2008) 1:237-255

Au final, le « certificat blanc » désigne l'unité de certification et d'échange du dispositif.

Si les principaux dispositifs existants<sup>4</sup> respectent ces quatre principes, leur insertion dans des contextes institutionnels différents conduit à des spécificités nationales. En Grande-Bretagne, pays où la libéralisation des marchés de l'énergie est ancienne et effective, les échanges sont légalement possibles mais découragés en réalité par des procédures administratives lourdes. En revanche, le dispositif comprend des exigences fortes de réduction de la pauvreté énergétique. En Italie, l'obligation porte sur les distributeurs d'énergie, mais des économies d'énergie peuvent être réalisées par des acteurs non obligés et revendues aux obligés. En France, où les marchés de l'énergie sont légalement ouverts mais encore très concentrés, le périmètre des actions éligibles est très large et la participation d'acteurs non obligés est également possible. Les premiers résultats de ces expériences sont partout marqués par des dépassements d'objectifs, avec des réalisations néanmoins contrastées et une importance variable des échanges de certificats blancs.

La nature à la fois contraignante et flexible de l'instrument et la variété de ses déclinaisons pratiques n'en facilitent pas l'analyse économique. Jusqu'à présent, les différentes théories mobilisées, en particulier la microéconomie standard<sup>5</sup> et l'économie des coûts de transactions<sup>6</sup> n'ont pas permis de dégager une représentation stylisée des certificats blancs satisfaisante. Au niveau empirique, les études nationales<sup>7</sup> et comparatives<sup>8</sup>, bien que riches

---

<sup>4</sup> Des dispositifs analogues existent dans l'état australien de Nouvelles Galles du Sud, dans la région belge des Flandres et au Danemark.

<sup>5</sup> Perrels, A., "Market imperfections and economic efficiency of white certificate systems". Energy Efficiency (2008) 1:349-371

Sorrell, S., D. Harrison, D. Radov, P. Klevans, A. Foss, "White certificate schemes: Economic analysis and interactions with the EU ETS". Energy Policy 37 (2009) 29-42

<sup>6</sup> Langniss, O., B. Praetorius, "How much market do market-based instruments create? An analysis for the case of "white" certificates". Energy Policy 34 (2006) 200-211

Mundaca, L., L. Neij, N. Labanca, B. Duplessis, L. Pagliano, "Market behaviour and the to-trade-or-not-to-trade dilemma in 'tradable white certificate' schemes". Energy Efficiency (2008) 1:323-347

<sup>7</sup> Pour la Grande-Bretagne voir Lees, E., 2008, Evaluation of the Energy Efficiency Commitment 2005-08. Report to DECC.

Pour l'Italie voir Pavan, M., "Tradable energy efficiency certificates: the Italian experience", Energy Efficiency (2008) 1:257-266.

Pour la France voir Bodineau, L., A. Bodiguel, 2009, "Energy Savings Certificates (ESC) scheme in France: initial results". Proceedings of the ECEEE summer study, 669-675

d'enseignements, peinent à dégager des principes communs. Face à ces difficultés, nous posons ici les questions suivantes. *En dépit d'un principe ambivalent et de mises en pratiques variées, peut-on proposer une représentation stylisée des certificats blancs qui soit validée par les premiers résultats des expériences européennes ? Quels mécanismes fondamentaux peuvent être mis en évidence par une telle représentation ?*

Pour y répondre, nous considérons l'obligation de certificats blancs comme un double mécanisme : en amont une obligation répartie équitablement entre agents en concurrence avec des mécanismes de flexibilité, et en aval un mode d'information, de transformation des marchés d'équipements et surtout de subvention à l'efficacité énergétique. À partir d'un modèle microéconomique développé par Giraudet et Quirion<sup>9</sup>, nous présentons d'abord une comparaison statique du dispositif des certificats blancs à d'autres politiques de maîtrise de la demande (taxe, subvention, réglementation) en s'intéressant à l'effet de subvention de l'instrument. Nous mettons ensuite ces résultats en regard d'une évaluation des expériences actuelles de certificats blancs réalisée par Finon et Giraudet<sup>10</sup>, qui appréhende le mécanisme dans une perspective dynamique, en prenant en compte ses aspects amont et aval. La suite de l'article est organisée de la façon suivante : la deuxième partie présente le modèle et ses principaux résultats ; la troisième partie confronte ces résultats aux réalisations des dispositifs britannique, italien et français ; la quatrième partie replace ces deux approches, essentiellement statiques, dans une perspective dynamique ; la cinquième partie conclut.

---

<sup>8</sup> Eyre, N., M. Pavan, L. Bodineau, 2009, "Energy company obligations to save energy in Italy, the UK and France: what have we learnt?" Proceedings of the ECEEE summer study, 429-439

<sup>9</sup> Giraudet, L.-G., P. Quirion, 2008, "Efficiency and distributional impacts of tradable white certificates compared to taxes, subsidies and regulations". Revue d'économie politique, 119(6), 885-914

<sup>10</sup> Finon, D., L.-G. Giraudet, 2009, "The dynamic efficiency of white certificates schemes: the gods are in the details", Proceedings of the 10th European IAEE Conference, Vienna, Austria, 7-10 september 2009

## ANALYSE STATIQUE DU DISPOSITIF DES CERTIFICATS BLANCS

Le modèle présenté ici a été développé par Quirion<sup>11</sup> avant d'être redéfini dans un cadre plus général par Giraudet et Quirion. La représentation adoptée répond à deux objectifs. D'abord, le modèle doit être suffisamment simple pour comparer dans un même cadre des instruments aux modes d'action différents. De plus, il doit reproduire les principaux comportements des agents concernés par les politiques de maîtrise de la demande : les ménages et les producteurs d'énergie et de biens efficaces en énergie. Dans la partie qui suit, la description du modèle n'est pas reprise dans le détail et la représentation graphique est privilégiée.

### *Le modèle en situation de référence*

Le modèle d'optimisation en équilibre partiel comprend trois biens, produits par trois producteurs et consommés par un ménage représentatif : l'énergie ( $e$ ), un bien *green* ( $g$ ) désignant tout capital générateur d'efficacité énergétique, qu'il soit matériel (chaudière à condensation, panneau d'isolation, ampoule basse consommation, etc.) ou immatériel (formation à la conduite automobile économique), et un troisième bien composite ( $c$ ) représentant tous les autres biens consommés par le ménage. Les trois biens sont produits avec des rendements décroissants par les trois producteurs qui maximisent leur profit selon le programme générique C (Figure 1a). Ils sont consommés par le ménage selon un système de demande à élasticité de substitution constante emboîtée (Figure 1c), qui opère un arbitrage à deux niveaux.

Au niveau le plus désagrégé, la consommation des biens  $e$  et  $g$  permet au ménage d'autoproduire un quatrième bien « virtuel », le service énergétique ( $SE$ ) : l'usage d'électricité et d'ampoules permet par exemple de fournir un service d'éclairage, généralement exprimé en énergie utile. La forme fonctionnelle choisie rend les biens  $e$  et  $g$  partiellement substituables, ce qui signifie qu'un même niveau de service énergétique (un certain niveau d'éclairage) peut être produit par différentes combinaisons de  $g$  et  $e$ , par exemple peu de  $g$  et beaucoup de  $e$  dans le cas d'un équipement inefficace (ampoule à incandescence) ou beaucoup de  $g$  et peu de  $e$  dans le cas d'un

---

<sup>11</sup> Quirion, P., 2004, Les certificats blancs face aux autres instruments de politique publique pour les économies d'énergie : bilan de la littérature économique et priorités de recherche, Rapport pour l'Institut Français de l'Énergie

équipement efficace (ampoule basse consommation). Ce comportement est représenté par le programme de maximisation B (Figures 1a et 1b), où le service énergétique autoproduit est déterminé par la combinaison de  $e$  et  $g$  sur l'isoquante qui minimise la contrainte budgétaire.

Au niveau le plus agrégé, un niveau d'utilité constant (ultime mesure de bien-être du ménage) est satisfait par la consommation du service énergétique et de tous les autres biens, représentés par le seul bien composite. En fonction des arbitrages qui s'opèrent au niveau le plus désagrégé entre  $e$  et  $g$ , le prix implicite du service énergétique (dérivé des prix de  $e$  et  $g$ ) varie par rapport au prix du bien composite et un deuxième arbitrage s'opère entre la consommation de ces deux biens substituables, selon un programme de maximisation A analogue<sup>12</sup> au programme B (Figure 1a). Cette représentation endogène du niveau de service énergétique permet de dissocier dans un cadre de rationalité et d'information parfaite les effets d'efficacité énergétique (arbitrage entre  $e$  et  $g$ ) des effets de sobriété énergétique (arbitrage entre  $SE$  et  $c$ ). Cette distinction permet en particulier d'évaluer l'effet rebond associé à chaque politique, c'est-à-dire l'atténuation des gains d'efficacité énergétique par une hausse du service énergétique.

Le calibrage des paramètres n'est pas détaillé ici, mais permet de représenter grossièrement le secteur résidentiel français. En scénario de référence, on fait l'hypothèse d'une substituabilité faible entre  $c$  et  $SE$  ( $\sigma_a = 0,5$ ) et d'une substituabilité standard entre  $e$  et  $g$  ( $\sigma_b \approx 1$ ). Des analyses de sensibilité aux élasticités de substitution sont réalisées par la suite.

### *Représentation des instruments*

On compare l'efficacité d'un dispositif de certificats blancs avec objectif individuel attribué au producteur d'énergie en fonction de ses ventes (comme c'est généralement le cas) aux instruments usuels de maîtrise de la demande

---

<sup>12</sup> Ces deux programmes diffèrent néanmoins car dans A, la contrainte fixe un niveau d'utilité constant tandis que dans B, le niveau de service énergétique peut être modifié par le premier programme. Cette différence se traduit graphiquement par la mobilité de l'isoquante ( $e,g$ ) dans B, alors que l'isoquante ( $SE,c$ ) est immobile dans A.



d'énergie<sup>13</sup> : une taxe sur la consommation d'énergie finale dont les revenus sont reversés forfaitairement aux ménages ; une subvention aux biens efficaces en énergie financée par un prélèvement forfaitaire au contribuable et une réglementation imposant un certain niveau d'efficacité énergétique, représenté par un rapport  $SE/e$  fixe. Les effets principaux de ces instruments sont représentés sur la Figure 3. La taxe sur l'énergie réduit l'offre d'énergie de  $O_e$  à  $O_e'$  (3a), la subvention aux producteurs de bien  $g$  augmente l'offre de  $g$  de  $O_g$  à  $O_g'$  (Figure 3b) et la réglementation sur les équipements efficaces en énergie réduit la demande d'énergie de  $D_e$  à  $D_e'$  (Figure 3c). Chaque modification de la quantité et du prix d'un des deux biens  $e$  et  $g$  modifie en retour la consommation et le prix de l'autre bien par déplacement le long de l'isoquante, et la nouvelle contrainte budgétaire définit un niveau final de service énergétique  $SE'$ , comme le montre la Figure 3d.

Les certificats blancs sont représentés de la façon suivante : les fournisseurs d'énergie remplissent leur objectif individuel en subventionnant les producteurs de bien  $g$  et recouvrent cette contrainte en augmentant leur prix de vente d'énergie. Ils sont donc représentés comme un instrument hybride entre taxe sur l'énergie et subvention aux équipements efficaces.

Tous les instruments sont comparés pour une même réduction de quantité d'énergie, c'est-à-dire une réduction de  $e$  à  $e'$  de 2%, valeur correspondant approximativement aux objectifs quantitatifs associés à ces politiques. La variable de décision politique associée à chaque instrument (taux de taxe, montant de l'obligation de certificats blancs, montant de la subvention, taux de réglementation) permettant cette réduction est donc déterminée de façon endogène. L'efficacité de chaque instrument est évaluée par le surcoût qu'il occasionne par rapport au coût de la situation de référence, calculé comme la dépense des ménages en bien  $e$ ,  $g$  et  $c$  moins le profit des trois producteurs, dont on déduit les éventuels transferts.

---

<sup>13</sup> Dans l'article de Giraudet et Quirion (référence <sup>9</sup>), deux instruments supplémentaires sont représentés : une taxe sur la consommation d'énergie finale reversée forfaitairement aux fournisseurs d'énergie et un dispositif de certificats blancs dont l'objectif est réparti de façon absolue, sans critère particulier de vente. Les résultats du premier sont très proches de ceux de la taxe reversée aux ménages et ceux du second sont très proches de la subvention.

## *Principaux résultats*

Les principaux résultats sont présentés à la Figure 4. Comme on peut le voir sur la Figure 4a, dès lors que le niveau de service énergétique varie de façon endogène ( $\sigma_a > 0.007$ ) et à mesure que l'on augmente les possibilités de substitution de  $SE$  et  $c$ , les coûts de chaque instrument par rapport à la situation de référence diffèrent. En particulier, le coût de la taxe décroît, le coût de la réglementation et des certificats blancs augmente légèrement et le coût de la subvention augmente fortement. Ce classement n'est pas modifié lorsque l'on fait varier les possibilités de substitution entre  $e$  et  $g$  ( $\sigma_b$ , Figure 4b). Rappelons que si l'on se réfère à la Figure 1c, deux moyens permettent de réduire la consommation de  $e$  : substituer  $g$  à  $e$  ou réduire  $SE$  au profit de  $c$ . On voit sur la Figure 4c que la consommation de bien  $g$  augmente fortement avec la subvention, très peu avec la taxe et à niveau intermédiaire équivalent pour la réglementation et les certificats blancs. Ces augmentations de différentes ampleurs de la consommation de bien  $g$ , combinées avec une même réduction de la consommation du bien  $e$  pour chaque instrument, aboutissent à des effets contrastés sur le niveau de service énergétique, qui croît fortement avec la subvention, diminue avec la taxe et augmente légèrement avec les certificats blancs et la réglementation. Ainsi, les taxes permettent d'atteindre la même réduction de consommation d'énergie avec moins d'investissements en efficacité énergétique ( $g$ ) que les autres instruments car elle diminue le niveau de service énergétique. Au contraire avec la subvention, une forte quantité de bien  $g$  est nécessaire pour compenser la hausse du niveau de service énergétique. Les certificats blancs ont une position intermédiaire entre ces deux instruments, dont ils empruntent partiellement les modes d'action. La hausse de  $SE$  observée dans tous les cas sauf la taxe correspond en fait à un effet rebond, qui est à l'origine des différences de coût entre instruments. Son ampleur dépend des possibilités de substitution entre  $c$  et  $SE$  ( $\sigma_a$ ), qui varient dans la réalité en fonction des types d'équipements considérés. Par exemple le service énergétique produit par un réfrigérateur est moins substituable à l'ensemble des autres biens qu'un déplacement produit par une automobile, et génère donc potentiellement moins d'effet rebond.

Les prix des biens exposés sur la Figures 4d ont également une évolution contrastée. Le prix  $P_e$  du bien  $e$  a naturellement tendance à décroître à mesure que la consommation d'énergie diminue, la courbe d'offre étant croissante. Mais avec les certificats blancs et encore davantage avec la taxe, cet effet est plus que compensé par l'augmentation de prix nécessaire aux producteurs pour

couvrir le coût de l'instrument : cela explique par exemple l'écart entre le prix hors taxe  $P_e^{HT}$ , et le prix taxé comprise  $P_e^{TC}$ , auquel on aboutit (Figure 3a). Étant donnée la courbe d'offre croissante, le prix  $P_g$  du bien  $g$  a naturellement tendance à croître en réponse à l'accroissement de demande qui s'observe dans chaque cas, mais avec les certificats blancs et encore plus avec la subvention, cet effet est contrebalancé par la subvention plus ou moins importante apportée dans chacun des cas.

### *Conclusions et limites du modèle*

Cette première analyse propose un classement des instruments en termes d'efficacité : la taxe est l'instrument le moins coûteux, la subvention est le plus coûteux et les certificats blancs et la réglementation se situent à un niveau intermédiaire équivalent. Ces différences de coût proviennent de l'effet rebond. Les effets des instruments sur les prix complètent cette analyse par des considérations de redistribution et d'acceptabilité. La taxe, qui augmente tous les prix<sup>14</sup>, paraît difficile à mettre en œuvre politiquement. La subvention diminue tous les prix, mais l'effet rebond qu'elle génère aboutit à des coûts élevés également difficiles à justifier. Entre ces deux instruments, les certificats blancs ont des effets opposés sur les prix, mais toujours plus modérés que dans les cas précédents, ce qui peut faciliter leur mise en œuvre.

Ces conclusions sont à relativiser, dans la mesure où le modèle ne prend pas en compte un certain nombre de problèmes propres à la maîtrise de la demande d'énergie rappelés par Quirion<sup>15</sup> tels le faible réalisme comportemental dans un secteur connu pour s'éloigner largement des hypothèses d'information et de rationalité parfaites, les coûts de transaction ou encore les effets d'apprentissage. Il donne néanmoins un premier éclairage sur le dispositif des certificats blancs, qui semblent un bon compromis entre efficacité et redistribution.

---

<sup>14</sup> C'est d'ailleurs ce qui en fait un instrument si efficace : la hausse conjointe des prix génère une hausse du prix implicite du service énergétique et donc une réduction de la demande de service énergétique, tandis que le contraire se produit avec la subvention.

<sup>15</sup> Voir référence <sup>11</sup>

## ÉVALUATION DES EXPERIENCES EUROPEENNES DE CERTIFICATS BLANCS

Par rapport aux autres instruments représentés dans le modèle, les certificats blancs impliquent en pratique une multitude d'acteurs et prennent des formes très diverses en fonction de l'environnement institutionnel dans lequel ils s'insèrent. On peut alors s'interroger sur l'intérêt d'un modèle aussi simple pour évaluer leurs performances en termes d'efficacité et de redistribution. En particulier, comment la représentation adoptée rend-elle compte du rôle des échanges et des mécanismes de flexibilité ? Reflète-t-elle les résultats divergents qui émanent des différences d'architecture telles que la participation de non-obligés en Italie et en France, l'obligation portée sur les distributeurs plutôt que sur les fournisseurs d'énergie en Italie ou encore l'impossibilité de répercuter la contrainte dans les tarifs du gaz et de l'électricité en France ? Malgré ces différences, est-il possible de dégager des tendances communes dans les résultats des expériences européennes ?

Nous nous concentrons ici sur la comparaison des systèmes de certificats blancs existant en Grande-Bretagne, en Italie et en France<sup>16</sup>. Après avoir rappelé succinctement les architectures et résultats nationaux, largement détaillés par ailleurs<sup>17</sup>, nous évaluons la portée explicative du modèle pour analyser deux traits communs mis en évidence par Finon et Giraudet<sup>18</sup> : l'influence des options de flexibilité sur les relations entre acteurs et l'influence des incitations sur la stratégie des obligés.

### *De la représentation stylisée aux expériences pratiques*

Le producteur d'énergie représenté dans le modèle peut être assimilé en réalité à l'ensemble des fournisseurs ou distributeurs d'énergie obligés. Il s'acquitte de son obligation en subventionnant un producteur de bien  $g$ , assimilable aux autres acteurs de l'efficacité énergétique. Dans le cas

---

<sup>16</sup> Selon la période à laquelle on fait référence, le dispositif britannique est nommé EEC1 (Energy Efficiency Commitment, 2002-2005), EEC2 (Energy Efficiency Commitment, 2005-2008) ou CERT (Carbon Emissions Reduction Target, 2008-2011) ; le dispositif italien est nommé TEE (Titoli di Efficienza Energetica, 2005-2012) ; le dispositif français est nommé CEE (certificats d'économies d'énergie, 2006-2009).

<sup>17</sup> Pour des comparaisons exhaustives, voir notamment les tableaux de Mundaca et al (référence <sup>6</sup>) et Bertoldi et Rezessy (référence <sup>3</sup>).

<sup>18</sup> Voir référence <sup>10</sup>

britannique et français, cet agent représente plus particulièrement les producteurs, revendeurs et installateurs d'équipements efficaces situés en amont du fournisseur d'énergie obligé. Dans le cas italien, il représente plutôt les sociétés de service énergétique situées en aval des distributeurs d'énergie. L'unicité du producteur d'énergie dans le modèle empêche tout échange de certificats blancs entre obligés et les seules options de flexibilité représentées sont les transferts des producteurs d'énergie vers les producteurs de bien *g*, non obligés.

	Niveau annuel de l'obligation	Acteurs obligés	Secteurs couverts et nombre d'actions standardisées	Possibilités d'échanges
<b>Grande-Bretagne 2005-08</b>	Obligation triennale 43 TWh/an	8 fournisseurs de gaz et électricité ; parts de marché équilibrées (11 à 32%)	Ménages (50% de l'obligation auprès des bas revenus) ; 37 actions standardisées	Limitées par des contraintes administratives : tout échange nécessite accord du régulateur
<b>Italie 2005-09</b>	Obligation annuelle 25 TWh/an (estimé)	30 <i>distributeurs</i> de gaz et électricité ; 50% de l'obligation pour ENEL	Tout secteur ; 22 actions standardisées	Échanges bilatéraux et bourse ; Participation des non obligés
<b>France 2006-09</b>	Obligation triennale 18 TWh/an	2560 fournisseurs d'énergie (hors carburant) ; 80% de l'obligation pour EDF et GDF Suez	Tout secteur hors installations ETS ; 170 actions	Échanges bilatéraux ; Participation des non obligés

*Tableau 1 : comparaison des dispositifs européens*

Cette représentation se conforme diversement à la pratique. En termes de flexibilité, on peut dégager deux architectures polaires à partir des différences exposées dans le tableau 1. L'architecture « à l'anglaise » privilégie l'action propre des obligés : l'obligation porte sur les fournisseurs d'énergie, dont la proximité avec le client final favorise des actions directes d'économies d'énergie, et les échanges de certificats blancs sont légalement possibles mais limités par des contraintes administratives. À l'opposé, l'architecture « à l'italienne » a pour élément central les échanges de certificats blancs : l'obligation porte sur les distributeurs d'énergie opérant en réseau, qui n'ont pas d'avantage commercial

à réaliser des actions auprès de consommateurs finaux qui ne sont pas leurs clients, et les échanges de certificats blancs sont facilités par l'organisation de marchés et la participation d'acteurs non-obligés. Ces acteurs peuvent réaliser des économies d'énergie en propre et les vendre aux distributeurs obligés, constituant ainsi une offre supplémentaire de certificats blancs. Le dispositif français se situe entre ces deux pôles : il partage avec le dispositif britannique l'obligation soumise aux fournisseurs d'énergie et avec le dispositif italien les flexibilités d'échanges.

Les échanges réalisés sont en grande partie conformes aux anticipations qui pouvaient être faites à la lumière de ces différentes architectures : en Grande-Bretagne, les échanges sont tout à fait négligeables (Mundaca et al., 2008). Ils présentent un intérêt limité pour les obligés, qui préfèrent recourir directement à des sous-traitants plutôt que d'acheter des certificats à des concurrents. En Italie, 70% des certificats blancs produits sont échangés. En France, où l'architecture est intermédiaire, les résultats se rapprochent du cas britannique : les volumes échangés ne dépassent pas 3% des réalisations finales et les prix sont très volatils<sup>19</sup>. Ainsi, des possibilités d'échange (communes à la France et à l'Italie, dans une version cependant plus organisée dans le dernier cas) ou du type d'acteur obligé (commun à la Grande-Bretagne et à la France), le second élément paraît déterminant pour expliquer l'existence d'échanges : c'est d'abord parce que les distributeurs d'énergie italiens ont peu de moyens d'agir auprès du consommateur final qu'ils recourent à l'achat de certificats blancs, à l'opposé des acteurs français et britanniques, qui disposent de prises plus directes sur les consommations finales.

En revanche, les réalisations techniques diffèrent largement dans chaque pays, comme l'atteste la Figure 2 : l'isolation domine en Grande-Bretagne, l'éclairage domine en Italie et l'amélioration des systèmes de chauffage domine en France. Les fournisseurs d'énergie britanniques ont mis à profit l'ancienneté du dispositif pour explorer les différents gisements d'économies d'énergie et ont bénéficié d'une source d'économies d'énergie considérable, inexistante en France et en Italie : l'isolation des murs creux, qui relève des techniques de construction propres à la Grande-Bretagne. Cette mesure concentre aujourd'hui la majorité des économies d'énergie réalisées et permet le déploiement de programmes de réhabilitation de grande ampleur. En Italie, 75% des économies

---

<sup>19</sup> Source : site internet du registre de CEE, <[www.emmy.fr](http://www.emmy.fr)>.

d'énergie porte sur la diffusion d'ampoules basse consommation et l'éclairage public. Ces résultats s'expliquent par un mode de certification particulier, qui favorise les actions de courte durée de vie (les économies d'énergie sont calculées sur 5 ans contre 20 ans en moyenne en France et Grande-Bretagne) et attribue des certificats blancs pour la simple distribution de coupons de réduction sur les ampoules basse consommation, ce qui est particulièrement adapté à des actions de distributeurs sans enjeux commerciaux. En France, les fournisseurs obligés semblent s'être focalisés sur leur cœur de métier, les usages thermiques et les systèmes de chauffage, pour lesquels ils ont mis à profit l'incitation complémentaire apportée par le crédit d'impôt. En effet, les dix principales mesures ayant produit des certificats blancs bénéficient dans le même temps d'un crédit d'impôt de 15 à 50%<sup>20</sup>. Les grands obligés n'ont pas eu besoin d'apporter d'aide directe aux clients et ont joué le rôle d'informateurs et de monteurs de projets, en se concentrant sur la construction de réseaux d'installateurs.

En définitive, si la nature des échanges paraît bien déterminée par l'architecture de chaque dispositif, la disparité des réalisations s'explique davantage par des spécificités réglementaires que par des considérations technologiques. Le modèle, simplifié pour pouvoir comparer les certificats blancs à d'autres instruments, ne peut prendre en compte ces éléments. Néanmoins, nous allons voir qu'il contribue à expliquer certaines tendances communes.

### *Options de flexibilité et relations entre acteurs*

Comme nous l'avons rappelé en introduction, la mise en place de certificats blancs dans des marchés énergétiques libéralisés s'est traduite par le couplage de l'obligation à des mécanismes de flexibilité. Parmi eux, les échanges et le marché de certificats blancs ont mobilisé toute l'attention des observateurs. Si l'obligation reste le principe fondamental du dispositif, qu'apportent les mécanismes de flexibilité associés, en particulier le marché ?

Pour appréhender la flexibilité de façon générale, nous reprenons en l'adaptant le cadre d'analyse de Radov et al., qui distinguent deux types d'options de flexibilité<sup>21</sup> :

---

<sup>20</sup> Direction Générale de l'Energie et du Climat, Lettre d'information certificats d'économies d'énergie, juillet 2009

<sup>21</sup> Radov, D., P. Klevnas, S. Sorrell, 2006, Energy Efficiency and Trading. Part I: Options for Increased Trading in the Energy Efficiency Commitment. Report to Defra.

- Les échanges verticaux entre acteurs distincts : les obligés et leurs partenaires (équipementiers et installateurs en amont des fournisseurs, sociétés de service énergétique en aval des distributeurs), via des relations de partenariat, sous-traitance, etc. Ces associations visent à minimiser les coûts de transaction<sup>22</sup> et ainsi diminuer le coût global de délivrance des économies d'énergie.
- Les échanges horizontaux entre acteurs de même type : les obligés. Sous forme de marché de certificats blancs, ces échanges permettent d'égaliser les coûts marginaux d'économies d'énergie supposés hétérogènes entre acteurs obligés et ainsi de réduire le coût total du dispositif.

Comme nous l'avons vu, seule la première option est représentée dans le modèle. En pratique, il semble qu'elle est également l'option de flexibilité privilégiée. En Grande-Bretagne et en France, les obligés travaillent avec les acteurs de l'amont et des réseaux importants se structurent à leur côté. En Italie, l'activité est dominée par le marché de certificats blancs. Mais une analyse plus précise révèle que peu d'échanges ont lieu directement entre obligés, qui respectent la grande majorité de leur obligation en achetant des certificats blancs. L'offre provient en général de compagnies de service énergétique, acteurs non-obligés qui appartiennent pour la plupart au même groupe énergétique que le distributeur obligé, notamment quand il n'y a pas de séparation complète entre fourniture d'énergie et distribution sur le réseau. Ils remplissent un rôle analogue aux fournisseurs d'énergie en Grande-Bretagne et en France en s'appuyant sur leur lien étroit avec le consommateur final. Dans la majorité des cas, ces acteurs non obligés négocient bilatéralement avec les distributeurs obligés le prix de leur service en termes de prix du certificat. Le

---

Les auteurs ajoutent une troisième option de flexibilité, « intertemporelle », qui correspond à la mise en réserve de certificats blancs issus des dépassements d'objectif et permet de réduire les risques de variation de coûts aux périodes suivantes. De toute évidence, cette option a été mobilisée dans chaque pays, où les objectifs ont été systématiquement dépassés. Mais elle nous paraît moins fondamentale que les deux autres et nous la laissons en dehors de notre analyse.

<sup>22</sup> On définit dans ce cas les coûts de transaction comme l'ensemble des coûts subis par un obligé qui ne peuvent être circonscrits comme des coûts de production. Par exemple la persuasion des clients représente un coût important pour les obligés, qui n'entre pas dans leur métier de base mais peut être pris en charge par un sous-traitant plus compétent, comme un installateur de chaudière. Voir également Mundaca, L., "*Transaction costs of Tradable White Certificate schemes: The Energy Efficiency Commitment as a case study*", Energy Policy 35 (2007) 4340-4354



marché italien ne doit donc pas être interprété comme relevant d'échanges horizontaux entre obligés mais plutôt comme des échanges verticaux entre obligés et non-obligés.

### *Incitations et stratégies des obligés*

Dans le modèle, les producteurs d'énergie répercutent la subvention aux producteurs de bien  $g$  par une hausse des prix de l'énergie pour maximiser leur profit. Les certificats blancs permettent ainsi d'atteindre une même réduction de consommation d'énergie avec des taux de subvention et de taxes inférieurs aux cas simples. Ce mécanisme hybride est diversement validé par l'observation, en fonction des contraintes réglementaires qui pèsent sur le système.

Dans les cas où les fournisseurs d'énergie en compétition peuvent librement fixer le prix de l'énergie, leur stratégie s'apparente effectivement à une subvention à la diffusion de mesures d'efficacité énergétique. C'est le cas en Grande-Bretagne, où les fournisseurs prennent en charge une part importante du coût des actions réalisées auprès des particuliers (73% selon Lees, 2008). Conjointement, le prix de l'énergie a augmenté. S'il est impossible de connaître la part de cette hausse attribuable au dispositif, les observateurs britanniques considèrent que la contrainte est probablement répercutée dans son intégralité. En France, les vendeurs de fioul domestique sont également libres de fixer leur prix et attribuent des primes aux particuliers. Dans les deux cas, la subvention correspond à une stratégie d'innovation de type *demand pull*, c'est-à-dire une stimulation active de la demande, par opposition au *technology push*, innovation plus en amont par développement technologique.

Les autres cas paraissent plus éloignés du modèle. Pour les principaux obligés français, les prix du gaz et de l'électricité sont encore en grande partie réglementés. Conjointement, on observe que leur contribution au coût des actions est beaucoup plus modeste que dans le cas britannique (8% selon Finon et Giraudet, 2009). La prise en charge de l'essentiel du coût des mesures par le crédit d'impôt leur permet de travailler en priorité à l'enrichissement de leurs offres commerciales, comme l'offre *Bleu Ciel* d'EDF qui a succédé à l'offre *Vivrelec* sur le marché des particuliers en incorporant de nouveaux services tels que les diagnostics de consommation énergétique ou les prêts bonifiés pour les travaux de rénovation<sup>23</sup>. Cette démarche s'accompagne d'une structuration de

---

<sup>23</sup> Basic Consulting, 2009, Enquête sur les services énergétiques pour les clients particuliers. Synthèse de l'étude réalisée par le Basic pour le compte de l'ADEME

réseaux de partenaires installateurs de chauffage et d'isolation autour des grands obligés. La stimulation de la demande est donc précédée d'une réorganisation du métier de fournisseur d'énergie vers un métier plus large de fournisseur de service énergétique associant vente d'énergie et d'efficacité énergétique<sup>24</sup>, comme le représente de façon très simplifiée le service énergétique *SE* utilisé dans le modèle.

Enfin en Italie, le recouvrement des coûts a été érigé en principe fondamental du dispositif et il conditionne grandement les résultats. Les distributeurs d'énergie, qui sont dans la majorité des cas des monopoles régionaux, sont rétribués à hauteur de 100€ par tonne équivalent pétrole (tep) économisée. Dans le même temps, ils achètent les certificats blancs au prix moyen de 70€/tep<sup>25</sup> et réalisent donc des bénéfices nets sur chaque action d'économie d'énergie<sup>26</sup>. Cette situation a un coût social important puisque la rétribution est financée par tous les consommateurs via une contribution tarifaire au service de distribution. Des récentes interventions du régulateur pour augmenter le prix des échanges de certificats blancs ont permis de diminuer ces bénéfices privés et le montant de la rétribution est en cours de révision.

## LA NECESSITE D'UNE APPROCHE DYNAMIQUE

Les conclusions des précédentes parties sont essentiellement statiques et ne sont valables qu'aux stades actuels des dispositifs. Les obligations de certificats blancs doivent être vues comme un dispositif évolutif qui a la capacité d'enclencher des apprentissages et de renforcer le rôle des autres politiques telles que le crédit d'impôt ou les campagnes d'informations (diagnostic énergétique, etc.). Cette dynamique peut être schématisée de la façon suivante :

1. Au début du dispositif, les obligés explorent les différents gisements technologiques et expérimentent les différentes options de flexibilité.

---

<sup>24</sup> Poiroux, R., 2008, Interview in Modèles d'organisation des services en réseaux et développement (urbain) durable, Flux n°74

Hinnells, M., 2008, "*Building market transformation: transforming markets from the inside*", BIEE 2008 working paper

<sup>25</sup> Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas, 2008, Terzo rapporto annuale sul meccanismo dei titoli di efficienza energetica

<sup>26</sup> Dans les résultats du modèle non présentés ici, les profits des producteurs d'énergie diminuent par rapport au scénario de référence avec tous les instruments sauf la taxe.

Ils mettent en pratique leurs compétences historiques et opèrent par *demand pull* auprès de leur clientèle captive sur des marchés cloisonnés ; les échanges horizontaux sont très rares mais les obligés peuvent recourir à des achats de certificats blancs pour obtenir une référence de coût marginal des économies d'énergie potentielles.

2. Les obligés se concentrent sur les échanges verticaux et consolident leur offre commerciale. En progressant vers des économies d'énergie plus coûteuses, le *technology push* commence à être associé au *demand pull*.
3. Grâce aux échanges verticaux, les obligés épuisent les gisements à bas coût et s'attaquent à des gisements plus éloignés de leur cœur de métier. Peu à peu, le *technology push* prend le pas sur le *demand pull*. Différentes associations verticales entre des obligés et leurs partenaires se retrouvent sur un même segment de marché, par exemple l'isolation, sur lequel il est désormais possible de conquérir de nouveaux clients. Des hétérogénéités de coût peuvent apparaître entre ces associations et stimuler des échanges horizontaux. Mais la réticence des obligés à échanger avec des concurrents plus habiles pour remplir leur obligation confine toujours cette modalité à la marge des options de flexibilité.
4. Les associations verticales évoluent vers la promotion de mesures intégrées, associant plusieurs technologies (isolation, changement de chaudière, etc.) disponibles sur un marché de l'efficacité énergétique globalisé. La structuration verticale se poursuit pour assurer la mise en commun des compétences, mais des hétérogénéités de coût entre associations existent et les échanges horizontaux prennent de l'importance.

On peut avancer que tous les pays sont passés par la phase 1, que les dispositifs italien et français se situent actuellement en phase 2 et que le dispositif britannique est en phase 3. Dans les premières phases, les spécificités nationales peuvent conduire à des réalisations très différentes. Mais dans les phases ultérieures, les modes opératoires des obligés et les performances des dispositifs doivent en partie converger. Cette dynamique n'en restera pas moins influencée par la durée de vie des actions, le montant de la pénalité, les modalités de participation des acteurs non obligés et surtout le niveau quantitatif de l'obligation et son étalement pluriannuel, qui incite ou non à la

mise en oeuvre d'actions programmatiques. De même, à mesure que l'on progresse vers des actions plus coûteuses, la répercussion de la contrainte peut augmenter significativement le prix de l'énergie.

## CONCLUSION

La complémentarité des deux approches nous permet d'inscrire les conclusions qui suivent dans un cadre exhaustif, prenant en compte les comportements microéconomiques et les dynamiques institutionnelles. Si les réalisations sont largement déterminées par des contingences nationales, on peut affirmer qu'actuellement, tous les dispositifs se trouvent à un stade de coût relativement bas, duquel se dégagent deux éléments communs : la prédominance des relations verticales entre obligés et tiers, et un mode opératoire caractérisé par l'action sur la demande plutôt que sur les technologies et les savoir-faire en amont. Les marchés de certificats blancs qui concentrent l'activité en Italie s'apparentent en fait à des échanges verticaux entre les obligés et leurs partenaires.

Mais ces conclusions sont valables à un certain stade et nous avons construit un cadre dynamique qui, sous réserve d'être validé par l'évaluation des prochaines périodes, permet de prévoir les évolutions suivantes. En Grande-Bretagne, où le dispositif est déjà mature, les échanges horizontaux devraient s'accroître et des dispositions légales organisant des marchés de certificats blancs pourraient être nécessaires. En Italie, les distributeurs d'énergie devraient consolider les échanges verticaux par sous-traitance et échanges de certificats blancs avec des fournisseurs de service. En France, les fournisseurs d'énergie devraient s'orienter vers des actions plus coûteuses comme l'isolation, en s'appuyant davantage sur le *technology push*. La hausse récente et à venir des objectifs quantitatifs dans les deux derniers cas (multiplication par 3 pour la période 2009-2012 en Italie ; multiplication envisagée par 5,5 de l'objectif français) devrait accélérer la transition de ces dispositifs vers des stades plus matures.

Ce cadre d'analyse permet également d'évaluer les évolutions légales en projet. En France, l'obligation devrait être étendue aux distributeurs de carburant<sup>27</sup>. Face à un gisement d'économies d'énergie considéré comme moins

---

<sup>27</sup> Rezessy, S., P. Bertoldi, J. Anable, P. Jochem, 2009, "*White certificates for the transport sector: an opportunity no taken?*" Proceedings of the ECEEE summer study, 1399-1408

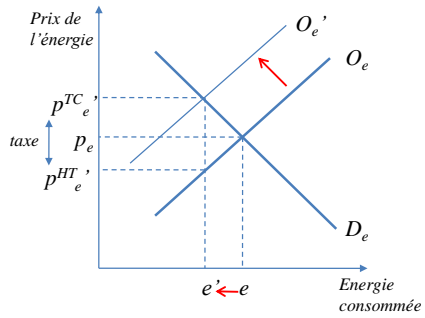
profond et moins accessible que dans le secteur résidentiel, les vendeurs de carburant auront des difficultés à produire eux-mêmes des certificats blancs et se porteront plus spontanément sur le marché, voire paieront la pénalité si l'offre reste insuffisante. Un tel transfert de moyens du secteur des transports vers le secteur du bâtiment ne manquerait pas de poser des questions d'acceptabilité. Au niveau européen, la question d'un dispositif commun aux 27 pays est régulièrement posée. Étant donné les fortes contingences nationales qui déterminent les performances des premiers stades des dispositifs et la nécessité d'organisations verticales préalables pour atteindre le gisement diffus, nous pensons qu'un tel dispositif ne peut raisonnablement s'envisager qu'entre des pays ayant déjà atteint la phase 4, caractérisée par une concentration de toutes les compétences dans quelques structures verticales qui cherchent à optimiser leur coût de production après avoir minimisé les coûts de transaction.

En définitive, les dispositifs de certificats blancs existants paraissent efficaces dans la mesure où ils délivrent des économies d'énergie à des coûts largement inférieurs au coût de production de l'énergie. Ils bénéficient de caractéristiques d'acceptabilité favorables et sont jugés positivement par la grande majorité des acteurs. Néanmoins, leurs performances dynamiques nécessitent une évaluation continue prenant en compte des éléments ayant mobilisé jusqu'à présent peu d'attention, comme l'interaction entre instruments de maîtrise de la demande d'énergie<sup>28</sup>.

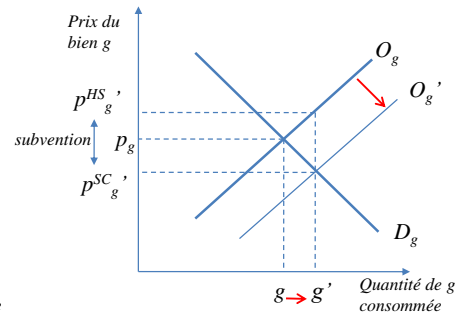
---

<sup>28</sup> Monjon, S., 2006, *"Interactions between tradable white certificates and tax credits—the French case"*. EuroWhiteCert Project, Work Package 5, Annex 7 Report.

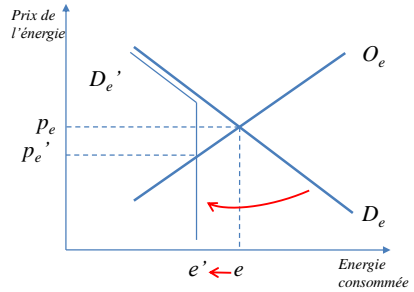
a. Effet de la taxe sur l'offre de e



b. Effet de la subvention sur l'offre de bien g



c. Effet de la réglementation sur la demande de e



d. Substitution entre e et g

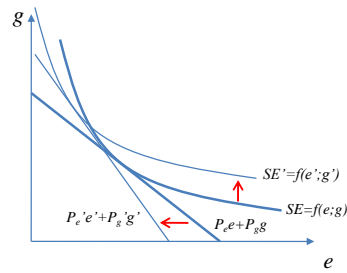


Figure 1: Principaux éléments du modèle

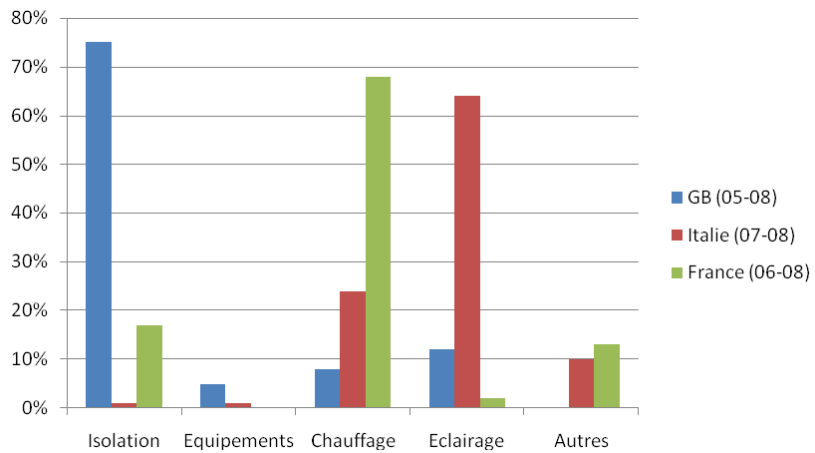


Figure 2 : Répartition des mesures (source : AEEG 2008, Lees 2008, DGEC 2009)

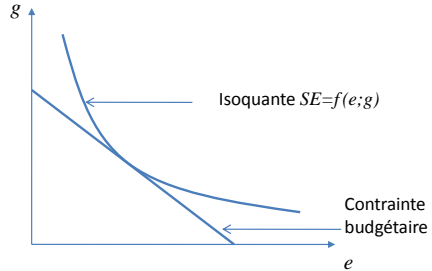
a. Programmes d'optimisation des agents

$$(A) \begin{cases} \text{Min}_{\{SE, c\}} P_{SE} SE + P_c c \\ \text{s.c. } \bar{U} = (\alpha_{SE} SE^{\frac{\sigma_a-1}{\sigma_a}} + \alpha_c c^{\frac{\sigma_a-1}{\sigma_a}})^{\frac{\sigma_a}{\sigma_a-1}} \end{cases}$$

$$(B) \begin{cases} \text{Min}_{\{e, g\}} P_e e + P_g g \\ \text{s.c. } SE = (\alpha_e e^{\frac{\sigma_b-1}{\sigma_b}} + \alpha_g g^{\frac{\sigma_b-1}{\sigma_b}})^{\frac{\sigma_b}{\sigma_b-1}} \end{cases}$$

$$(C) \forall i = \{e, g, c\}, \text{Max}_i \pi_i = P_i i - \left( \gamma_i i + \frac{\delta_i}{2} i^2 \right)$$

b. Représentation graphique du programme (B)



c. Système complet de demande du consommateur

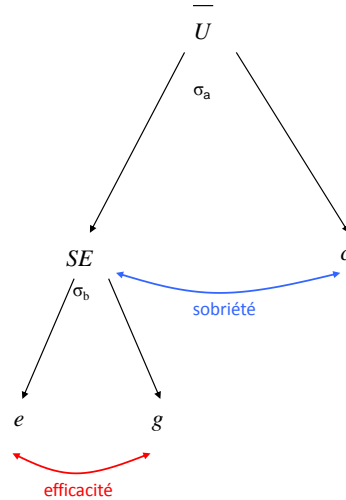


Figure 3 : Mode d'action des instruments



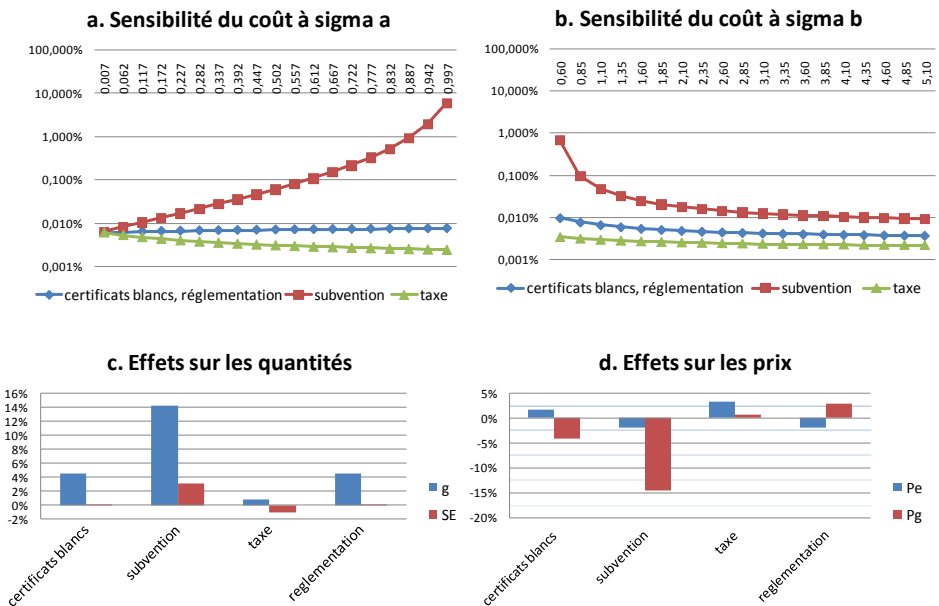


Figure 4 : Résultats exprimés en % de la situation de référence (graphiques a et b : échelle logarithmique ; graphiques c à f :  $\sigma_a = 0,5$  et  $\sigma_b = 1$ )





