



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search  
<http://ageconsearch.umn.edu>  
[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

## **Des subventions à la R&D “verte” sont-elles préférables à une taxe carbone pour lutter contre le changement climatique ?**

*Le changement climatique, conséquence d'un excès d'émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, est susceptible de perturber gravement l'économie mondiale dans les décennies à venir. En 2006, dans un rapport dont les résultats ont été largement diffusés, l'économiste Nicholas Stern estimait qu'en l'absence d'intervention concertée de la part de la communauté internationale, la température moyenne pourrait s'élever de plus de 3° C d'ici la fin du siècle, ce qui coûterait chaque année aux habitants de la planète l'équivalent de 5 % du produit mondial brut (Stern, 2007). Nous étudions et comparons deux types d'instruments que les pouvoirs publics ont à leur disposition pour encourager la réduction des émissions carbonées, la taxe carbone et les subventions à la Recherche et Développement (R&D) « verte ». Nous montrons que ces deux politiques sont, non pas antagonistes, mais bien complémentaires, chacune renforçant le rôle de l'autre dans la correction de l'externalité qui a justifié sa mise en place.*

D'un strict point de vue économique, les émissions de GES s'apparentent à une externalité environnementale négative qu'il convient, au même titre que d'autres formes de pollution, de corriger à l'aide d'instruments économiques. S'agissant des émissions de CO<sub>2</sub>, (le CO<sub>2</sub> représentant plus de 70 % des GES d'origine anthropique, nous nous limitons à cette seule source d'émissions dans cette étude) la taxe carbone fait partie de la batterie d'instruments à disposition. En renchérissant le prix des énergies fossiles, elle vise à en réduire l'utilisation, favorisant ainsi les substitutions pour des formes d'énergies alternatives non carbonées.

L'amélioration de l'efficacité des technologies non carbonées ou de « décarbonisation » permet aussi de lutter contre les GES. Le progrès technique joue alors un rôle prépondérant dans les dispositifs de réduction des émissions. Or, la prise en compte du progrès technique issu de la recherche implique l'émergence d'un deuxième type de distorsion dans l'économie : les externalités liées à l'activité de R&D comme, la diffusion de la connaissance au-delà de celui qui en est à l'origine, les phénomènes d'imitation, etc. Celles-ci empêchent les innovateurs de capturer la totalité de la rente associée à leur innovation si bien qu'ils innoveraient moins que ce qui serait optimal pour la société. Des étu-

des empiriques montrent que, tous secteurs confondus, la valeur marchande d'une innovation demeure de 3 à 4 fois inférieure à sa valeur optimale, expliquant ainsi les sous-investissements en R&D. Ces externalités peuvent être également corrigées, par exemple par des subventions à la R&D. Néanmoins, en réduisant le coût d'utilisation des énergies de substitution, ces subventions sont susceptibles d'avoir également des effets sur la consommation d'énergie fossile, et donc sur les émissions de CO<sub>2</sub>.

### **Quels instruments pour lutter contre les émissions de GES ?**

La mise en relation de ces deux types d'externalités, climatique et R&D, suppose donc l'émergence d'interactions a priori complexes. L'objectif de cette recherche est d'identifier les lignes de force le long desquelles les politiques associées, taxe carbone et subventions à la R&D verte, se déploient et d'analyser leurs effets conjoints. Nous utilisons un modèle de croissance endogène de type “top-down” présentant deux sources d'externalités liées au climat et à la recherche, respectivement corrigées par une taxe carbone et un système de subventions, pour simuler plusieurs scénarios (lire l'encadré). Ces scénarios sont mentionnés dans le tableau 1.

### Encadré méthodologique : Description du modèle

Le modèle utilisé est de type "top-down", c'est-à-dire qu'il prend en compte les interactions entre croissance économique et climat à une échelle globale. Il est dérivé du modèle DICE de Nordhaus (2008) et est illustré par la figure 1.

Nous considérons une économie concurrentielle dans laquelle un bien final de consommation (Q) est produit à partir de capital (K) et d'énergie (E), elle-même produite à partir de deux sources d'énergie primaire imparfaitement substituables : une énergie fossile (F) issue d'un stock de ressource non renouvelable et une énergie renouvelable non carbonée (B). Les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la combustion de la ressource fossile peuvent être séquestrées et stockées dans des réservoirs géologiques (CCS). Les émissions résiduelles s'accumulent dans l'atmosphère, ce qui provoque une hausse de la température moyenne. Cette variation de température rétroagit sur l'économie via une fonction de dommage qui réduit le niveau de production. Cette fonction synthétique prend en compte à la fois les dommages graduels de faible à moyenne ampleur, mais aussi les dommages catastrophiques et irréversibles qui imposent l'établissement d'un plafond maximal de concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> à ne pas dépasser. Il existe trois secteurs de R&D endogène, respectivement dédiés à l'efficacité énergétique (H<sub>E</sub>), la production d'énergie renouvelable (H<sub>B</sub>) et la séquestration (H<sub>S</sub>). La production finale est répartie entre consommation (C), investissements directs en capital (I<sub>K</sub>), production des énergies primaires (I<sub>B</sub> et I<sub>F</sub>), séquestration (I<sub>S</sub>), et investissements en R&D spécifique (R<sub>B</sub>, R<sub>E</sub> et R<sub>S</sub>).

L'externalité climatique est corrigée par une taxe sur les émissions résiduelles de CO<sub>2</sub>, et les distorsions liées à la recherche par des subventions dans chaque secteur de R&D. Nous déterminons alors analytiquement l'ensemble des équilibres de cette économie, chacun correspondant à une combinaison particulière de politiques économiques. L'analyse numérique du modèle restreint toutefois ce spectre à une sélection de scénarios (cf. tableau 1).

Le modèle est ensuite calibré à partir de données mondiales issues de modèles existants (DICE, ENTICE-BR, DEMETER) ou de rapports d'organismes indépendants (AIE, GIEC).

Figure 1 : Description du modèle

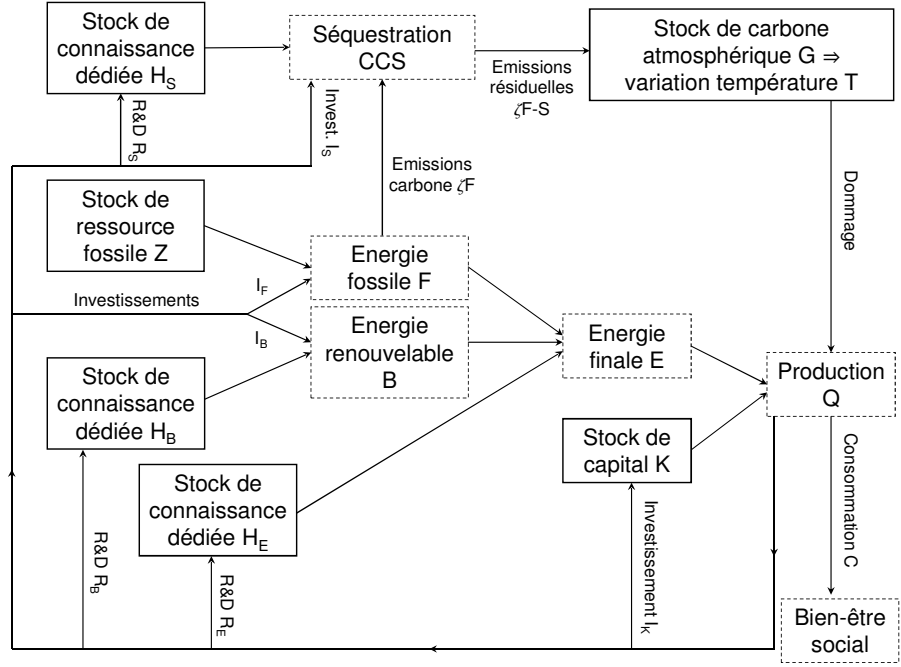


Tableau 1 : Les scénarios étudiés

Scénario	Taxe carbone	Subvention R&D	Description
A	non	non	Laisser-faire
B	oui	non	Optimum de 2 <sup>nd</sup> rang avec taxe carbone et sans subvention R&D
C	non	oui	Optimum de 2 <sup>nd</sup> rang avec subvention R&D et sans taxe
D	oui	oui	Optimum de 1 <sup>er</sup> rang
E	oui	oui	Optimum avec plafond de 550 ppmv
F	oui	oui	Optimum avec plafond de 450 ppmv

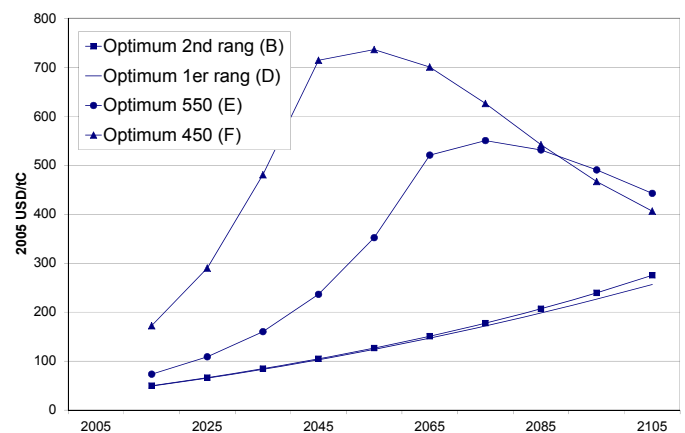
Les scénarios A et D représentent les deux situations extrêmes de laisser-faire (correction d'aucune distorsion) et d'optimum de 1<sup>er</sup> rang (correction optimale des deux distorsions). Leur comparaison permet de mesurer l'effet conjoint des deux instruments. Entre les deux, les scénarios de 2<sup>nd</sup> rang B et C proposent chacun de corriger unilatéralement l'une des deux sources d'externalités à l'aide de l'instrument approprié. Ils permettent donc de mesurer les effets disjoints des deux politiques sur l'économie. Enfin, E et F sont des scénarios optimaux "forcés" dans lesquels les subventions R&D sont fixées aux mêmes niveaux que

dans D, mais la taxe carbone est établie de façon à stabiliser de manière optimale la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> en deçà d'un certain plafond. Ces seuils sont fixés à 550 ppmv (partie par million par volume) pour E et 450 ppmv pour F, ce qui correspond respectivement à des hausses de température d'environ 2° C et 3° C par rapport aux niveaux de 1990.

### La taxe carbone

La figure 2 représente les trajectoires des différentes taxes carbone qu'il faudrait mettre en place pour maximiser le bien-être social dans chaque scénario.

Figure 2 : Les différentes taxes optimales

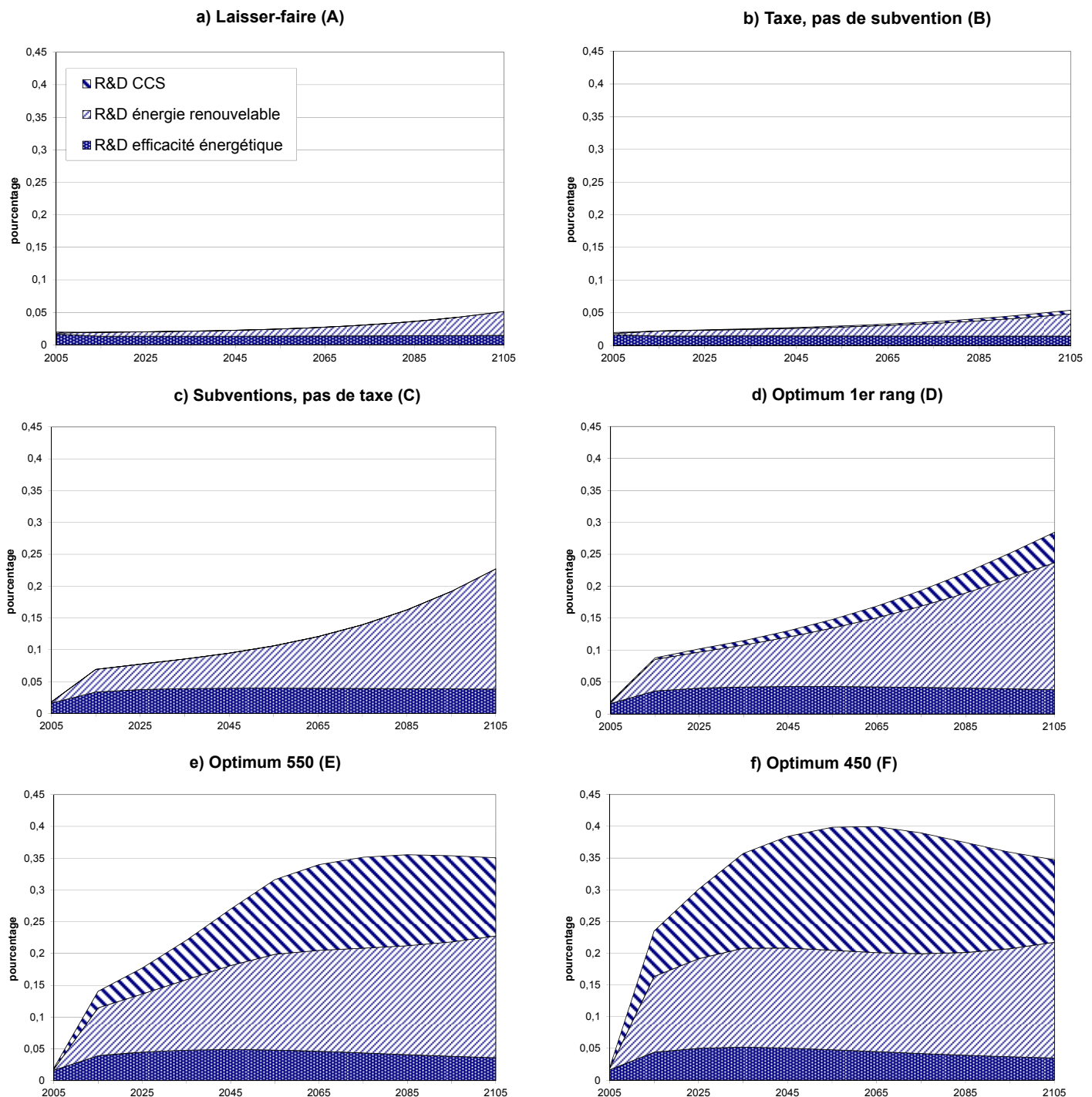


La taxe optimale de 1<sup>er</sup> rang (scénario D) part d'un niveau initial de 49 \$/tC (dollars par tonne de carbone) et augmente de façon permanente pour atteindre 256 \$ en 2105. L'absence de politique de soutien à la R&D implique un niveau de taxe de 2<sup>nd</sup> rang légèrement supérieur à celui de 1<sup>er</sup> rang, surtout sur le très long terme. En revanche, les objectifs de stabilisation de 550 et 450 ppmv nécessitent des niveaux de taxes nettement plus élevés. Ils démarrent respectivement à 73 \$ et 172 \$, puis augmentent rapidement pour atteindre leurs maximums respectifs de 550 \$ et 735 \$ en 2075 et 2055, avant de décroître une fois que les plafonds de concentration ont été atteints. Plus ce plafond est contraignant, plus la taxe augmente vite à court terme et atteint tôt son point culminant.

## Les investissements en R&D

La figure 3 représente l'intensité des investissements en R&D dans chaque secteur (c'est-à-dire la part des efforts de recherche dans la production) pour chaque scénario. En l'absence de toute régulation (scénario A), ces investissements sont très faibles, de même lorsque seule l'externalité environnementale est corrigée (scénario B). Pour réellement stimuler la R&D, la correction des externalités liées à la recherche par des subventions spécifiques est nécessaire (scénarios C et D). Cependant, l'emploi de subventions sans taxe carbone se révèle inefficace pour diriger la recherche vers le secteur de la CCS (capture et séquestration du carbone - scénario C), le secteur de

Figure 3 : Intensité des investissements en R&D



l'énergie renouvelable backstop semblant seul bénéficiaire de cette correction. Pour réellement accroître les efforts de recherche dans la CCS, le recours à une taxe carbone en plus des subventions R&D s'avère nécessaire (scénario D). Cette combinaison d'instruments porte les dépenses en R&D dans la CCS à près de 17 % des dépenses totales d'ici 2100. Ce résultat est renforcé par la prise en compte de plafonds de concentration impliquant des niveaux de taxe plus élevés (scénarios E et F).

Pour résumer, la mise en place d'une taxe carbone seule est insuffisante pour stimuler la recherche, quel que soit le secteur considéré. Afin de créer les bonnes incitations, un système de subventions dédiées à chacun des trois secteurs doit lui être adjoint.

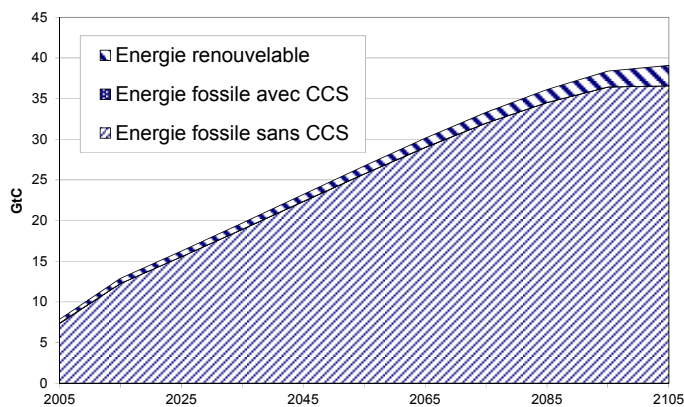
## La composition du « mix énergétique »

La figure 4 illustre l'évolution du mix énergétique (en gigatonne équivalent carbone – Gt C) au cours du siècle, selon les différents scénarios. On distingue la consommation d'énergie fossile sans recours à la CCS, la consommation d'énergie fossile couplée à la CCS et la consommation d'énergie renouvelable non carbonée.

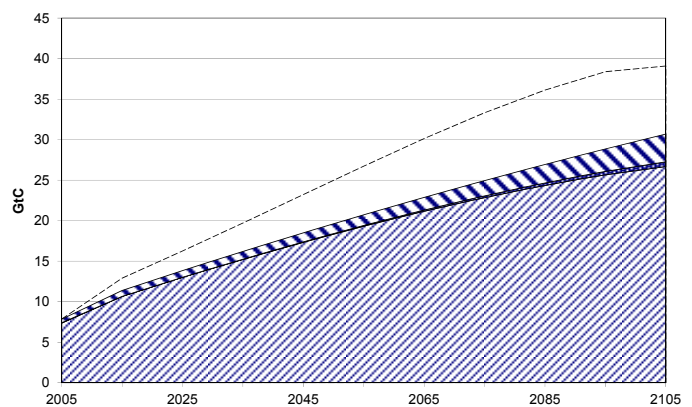
Le scénario A induit une consommation totale d'énergie qui devrait quintupler d'ici la fin du siècle du fait de l'absence de politique restrictive (cette consommation de laisser-faire est reportée sur les autres graphiques à l'aide de la courbe en pointillés). De plus, la CCS n'est pas du tout déployée et la consommation d'énergie renouvelable reste faible.

Figure 4 : Composition de la consommation totale d'énergie selon les sources d'énergies primaires

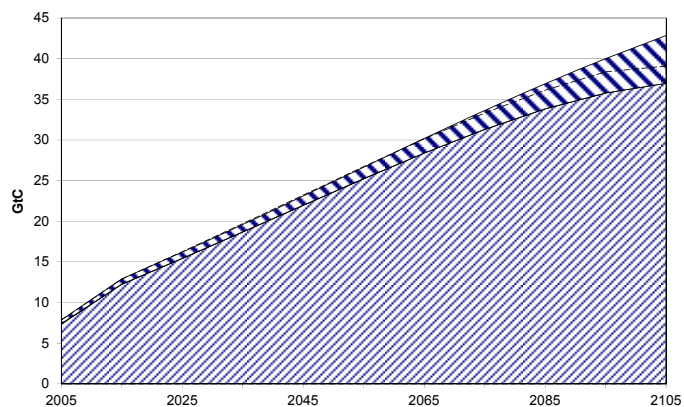
a) Laisser-faire (A)



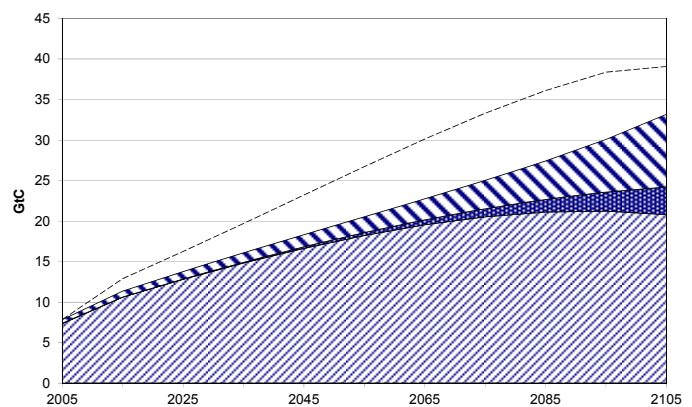
b) Taxe, pas de subvention (B)



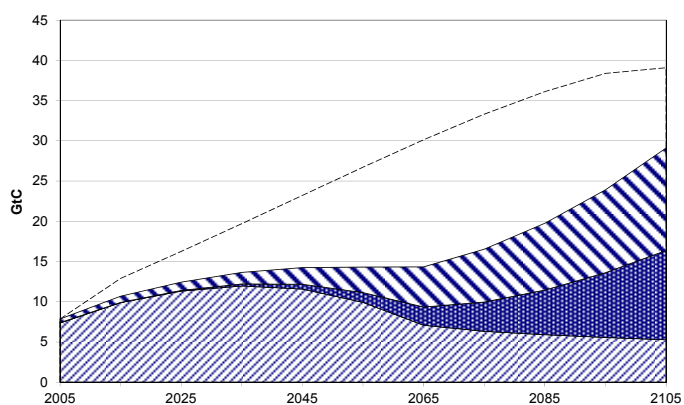
c) Subvention, pas de taxe (C)



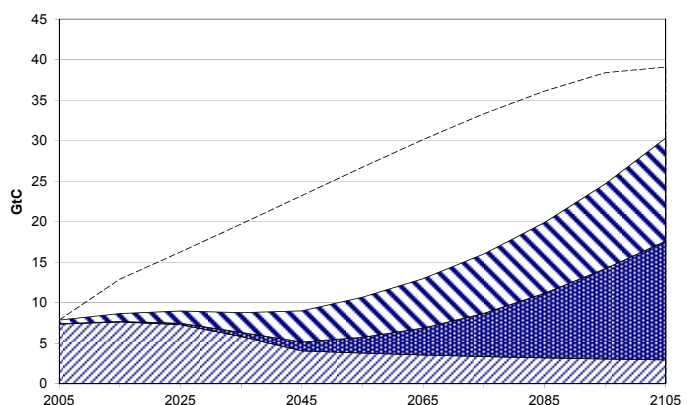
d) Optimum 1er rang (D)



e) Optimum 550 (E)



f) Optimum 450 (F)



L'introduction d'une taxe carbone seule (passage de A à B) n'a aucun effet sur l'utilisation de l'énergie renouvelable tandis qu'elle réduit considérablement la consommation d'énergie fossile et qu'elle n'incite que très peu à séquestrer le carbone. Cela se traduit par une diminution substantielle de la consommation totale d'énergie. De façon symétrique, l'introduction unilatérale de subventions à la R&D (passage de A à C) n'a d'effet ni sur l'utilisation des énergies fossiles, ni sur le recours à la CCS. Elle implique par contre une plus grande pénétration de l'énergie renouvelable dans le mix énergétique, ce qui accroît la consommation totale d'énergie. L'emploi simultané des deux types de politiques (passage de A à D) fait clairement apparaître un effet complémentaire entre chacune d'entre elles. En effet, ce scénario renforce l'effet unilatéral de la taxe sur la consommation d'énergie fossile et la séquestration des émissions (jusqu'à 4 % en 2100). En outre, il renforce également l'effet des subventions de R&D sur l'utilisation de l'énergie renouvelable.

Enfin, les deux scénarios avec contrainte de stabilisation (E et F) impliquent des changements plus radicaux dans le mix énergétique, du fait de la hausse importante des coûts d'utilisation de l'énergie fossile. Cette dernière est fortement réduite à court terme, avant que les possibilités de substitution ne deviennent réellement effectives. Ceci entraîne une baisse de la demande totale d'énergie en 2050 de 47 % dans le scénario E et de 60 % dans le scénario F par rapport au scénario A. A mesure que les investissements en R&D, substantiels dans ces deux scénarios, rendent compétitives les technologies de production de l'énergie renouvelable et de séquestration, la consommation totale d'énergie a tendance à croître à nouveau. Celle-ci est mue par un fort développement de l'énergie renouvelable (de 42 à 46 % de l'énergie totale en 2100 selon les niveaux de plafond) et par un recours grandissant à l'énergie fossile couplée à un dispositif de séquestration (de 40 à 49 % de l'énergie totale en 2100 selon le plafond).

## L'impact sur le climat et sur l'économie

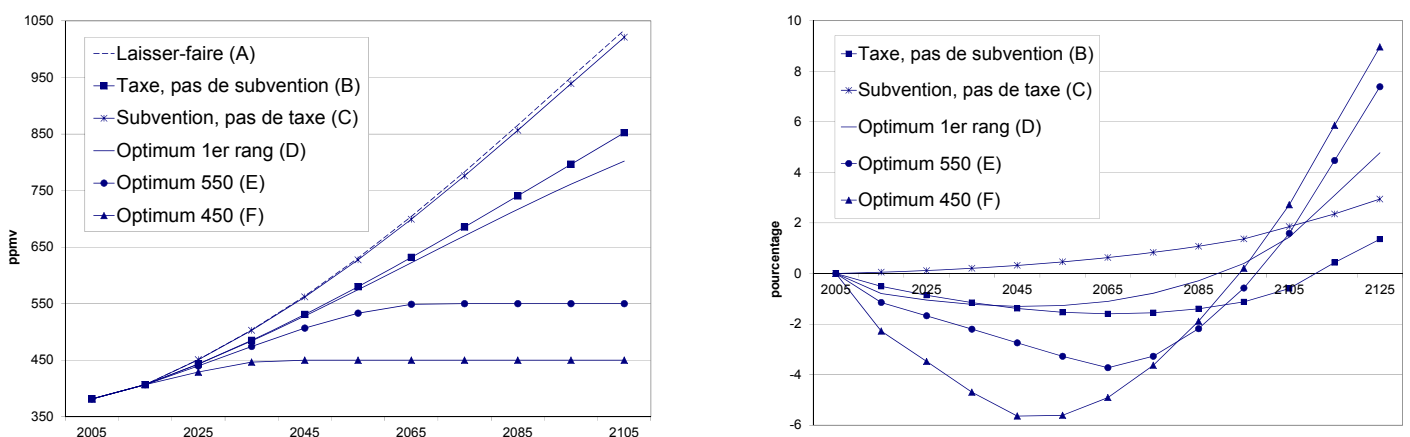
Les conséquences des différents scénarios en termes d'émissions sont représentées par la figure 5-a. La courbe de concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> la plus élevée et qui croît le plus rapidement est obtenue dans le scénario

A, dans lequel aucune régulation n'est entreprise. A la fin du siècle, celle-ci atteint 1000 ppmv, seuil jugé critique par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat et qui correspond à une hausse de la température moyenne de plus de 6° C. Le recours unilatéral à des subventions à la recherche ne permet quasiment pas d'infléchir cette tendance (scénario C). En revanche, la mise en place d'une taxe carbone s'avère plus efficace pour diminuer ces concentrations, qui n'atteignent alors plus que 850 ppmv en 2100 (scénario B). La combinaison des deux politiques (scénario D) renforce l'effet unilatéral de la taxe carbone puisqu'il permet d'abaisser la concentration à 800 ppmv à la fin du siècle. Enfin, les plus faibles niveaux de concentration sont évidemment observés dans les deux scénarios contraints E et F.

Les répercussions sur l'économie sont à mettre directement en relation avec ces courbes de concentration (cf. graphique dans Grimaud et al., 2011). Ainsi, le coût de l'inaction (scénario A) se chiffre à 5 % du produit mondial brut (PMB) en 2100. La mise en place simultanée des deux types de politiques optimales permet de contenir ce coût à 3,5 % du PMB d'ici le même horizon. L'imposition de plafonds de concentration de 550 ppmv et de 450 ppmv limite respectivement ces pertes à 1,8 % et 1 % du PMB.

Enfin, le coût social intergénérationnel de chaque combinaison de politiques économiques peut être estimé en comparant la trajectoire de PMB obtenue dans chaque scénario régulé avec celle du scénario de laissez-faire. Les écarts qui en résultent sont donnés dans la figure 5-b. Les conclusions de ces comparaisons sont les suivantes : i) La taxe carbone induit des pertes de richesse pour les premières générations et des gains pour les générations futures. Plus cette taxe est contraignante, plus l'amplitude de variation entre pertes de court terme et gains de long terme est importante, signifiant une croissance économique d'autant plus forte pour les générations futures. ii) Les subventions à la R&D n'impliquent que des gains pour la société, ceux-ci augmentant au fil des générations. En revanche, les gains de long terme que ces subventions occasionnent demeurent inférieurs à ceux que permet de réaliser la taxe carbone, du moins dans les scénarios D, E et F. L'emploi simultané des deux types d'instruments permet donc une meilleure répartition intergénérationnelle des coûts des politiques de lutte contre le changement climatique.

Figure 5 : Impact sur le climat et sur l'économie



## Des instruments plus complémentaires qu'antagonistes

L'objet de cette recherche consistait à étudier les effets d'une politique de taxe environnementale et d'une politique de soutien à la recherche verte dans la lutte contre le changement climatique. Nous avons pour cela développé un modèle de croissance endogène de type "top-down" présentant deux sources d'externalités liées au climat et à la recherche, respectivement corrigées par une taxe carbone et un système de subventions. Une fois calibré, le modèle a permis, outre la comparaison standard du laissez-faire et de l'optimum de 1<sup>er</sup> rang, de calculer un certain nombre d'optima de 2<sup>nd</sup> rang. Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

i) Les effets indirects de chaque politique sont assez peu significatifs. L'emploi d'une taxe carbone seule

ne présente que très peu d'incitations à développer la recherche tandis que l'octroi de subventions à la recherche verte ne modifie que très peu les trajectoires d'émissions de CO<sub>2</sub>.

ii) L'utilisation simultanée des deux types d'instruments renforce l'effet individuel de chacun dans la correction de l'externalité pour laquelle il a été introduit, révélant ainsi une certaine complémentarité entre la taxe carbone et les subventions à la R&D verte.

iii) La séquestration géologique du carbone n'apparaît pas comme une option compétitive tant que l'on ne fixe pas de plafonds de concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> réellement contraignants. Dans le cas contraire, elle devient, au même titre que les énergies renouvelables, une solution efficace de moyen terme dans la lutte contre le changement climatique.

**Gilles Lafforgue**, INRA UMR 1081 LERNA, F-31000 Toulouse, France  
[gilles.lafforgue@toulouse.inra.fr](mailto:gilles.lafforgue@toulouse.inra.fr)

### Pour en savoir plus

**Grimaud A. et Lafforgue G. (2008).** Climate change mitigation policies: Are R&D subsidies preferable to a carbon tax? *Revue d'Economie Politique*, 118(6), 915-940.

**Grimaud A., Lafforgue G. et Magné B. (2011).** Climate change mitigation options and directed technical change: A decentralized equilibrium analysis. *Resource and Energy Economics*, 33(4), 938-962.

**Nordhaus W. (2008).** *A question of balance: Weighing the options on global warming policies.* Yale University Press.

**Special Issue: Endogenous technical change (2006).** *The Energy Journal*, 27(special issue 1).

**Stern N. (2007).** *The economics of climate change: The Stern review.* Cambridge University Press.