



INSTITUT  
D'ÉCONOMIE  
INDUSTRIELLE

## SYNTHESE DE LA RECHERCHE :

### *Changement climatique et progrès technique endogène*

Présenté par

L'INSTITUT D'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE  
(IDEI)

Université de Toulouse 1 – Sciences Sociales  
Manufacture des Tabacs – Bât F  
Aile Jean-Jacques Laffont  
21 allée de Brienne  
31000 Toulouse

Et

LE CONSEIL FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE  
(CFE)

3 rue Treilhard  
75008 Paris

Décembre 2009

Contrat CFE - 47

L'objectif de cette recherche était de calibrer, sur données réelles, un modèle de croissance endogène dans lequel des ressources épuisables polluantes contribuent à l'effet de serre, et de décrire les liens entre politiques environnementales et innovations technologiques. Dans un travail méthodologique préliminaire, nous avons développé un modèle intégrant le module climatique du modèle DICE<sup>1</sup> et les caractéristiques technologiques du modèle ENTICE-BR<sup>2</sup>. L'output final est produit à partir de travail, de capital et d'énergie. Ce dernier input s'écrit comme la combinaison de deux facteurs imparfaitement substituables : un facteur physique, les ressources énergétiques, et un facteur « connaissance », qui permet l'amélioration de l'efficacité énergétique et donc de la conservation des ressources primaires. Le facteur ressource se compose d'une ressource fossile (non-renouvelable), et d'une ressource alternative renouvelable et non polluante appelée « backstop ». Cette dernière profite d'un second secteur de recherche spécifique dans lequel des innovations conduisent à la réduction de leurs coûts d'utilisation. Deux types de défaillances de marché affectent donc l'économie : la pollution provenant de la combustion de la ressource fossile et les effets de débordement (spillovers), inhérents à chaque secteur de R&D. Pour corriger ces deux types de distorsions, nous introduisons une taxe carbone et une subvention à la recherche dans chaque secteur de R&D.

L'intérêt de nos travaux par rapport aux modèles existants est que nous ne restreignons pas l'analyse à une comparaison des seuls scénarii optimaux et de laisser-faire, mais nous cherchons à caractériser au contraire l'ensemble des équilibres en économie décentralisée. Ceci nous permet d'identifier précisément les canaux de transmissions des effets des différentes politiques économiques, notamment à travers les prix de marchés.

Dans un deuxième article, nous avons actualisé la partie numérique du modèle sur la base de la version 2008 de DICE (qui n'était pas encore disponible au début du projet). Nous mettons par ailleurs l'accent sur certains résultats de second rang. En effet, en raison de diverses contraintes socioéconomiques, budgétaires ou politiques, les décideurs n'ont la plupart du temps pas la possibilité d'implémenter les outils de premier rang. Nous calculons ainsi le montant des subventions à la recherche qu'il serait souhaitable de mettre en place si le gouvernement n'était pas en mesure d'appliquer la taxe de 1<sup>er</sup> rang. De façon symétrique, nous illustrons par diverses simulations le fait qu'une taxe plus élevée puisse, au 2<sup>d</sup> rang, compenser des niveaux de subvention sous-optimaux.

Enfin, dans un 3<sup>ème</sup> article, nous prenons non seulement en compte la nécessité d'intensifier la recherche « verte » mais également de mettre au point des techniques d'abattement propres aux ressources fossiles, comme le piégeage et stockage du CO<sub>2</sub> (CCS)<sup>3</sup>. A cet effet, nous utilisons la technologie de séquestration contenue dans le modèle DEMETER<sup>4</sup> et calibrons à nouveau les paramètres à partir des données 2008 de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie). Cette fonction modélise le processus de transformation des émissions de CO<sub>2</sub> qui, moyennant des investissements spécifiques, permet d'obtenir du carbone séquestré. Le rendement de ce processus peut être amélioré par du progrès technique,

---

<sup>1</sup> Nordhaus, W.D., Boyer, J. (2000). *Warming the world: Economic models of global warming*. Cambridge, MA: MIT Press.

<sup>2</sup> Popp, D., (2006). ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models. *Energy Economics* 28, 188-222.

<sup>3</sup> Ceci se justifie notamment par la relative importance des réserves de charbon et le potentiel non négligeable de certaines ressources fossiles non-conventionnelles de type schistes bitumineux, toutes deux fortement chargées en éléments carbonés, face à des énergies renouvelables disponibles pour certaines à des coûts encore prohibitifs.

<sup>4</sup> Gerlagh, R. (2006). ITC in a global growth-climate model with CCS: The value of induced technical change for climate stabilization. *The Energy Journal*, Special issue, 223-240.

issu d'un secteur spécifique de R&D. La CCS modifie ainsi la dynamique d'exploitation et la transition vers les ressources renouvelables. De plus, elle réoriente les politiques de recherche et permet de moins pénaliser la croissance économique. Elle affecte également les effets redistributifs de la politique environnementale car il ne s'agit plus de taxer l'utilisation de la ressource fossile, mais les seules émissions polluantes résiduelles. Nous calculons analytiquement le nouveau profil de taxe optimale et montrons qu'en présence de plafonds de concentration de carbone dans l'atmosphère, celle-ci n'est plus monotone. Son maximum est alors atteint dès lors que l'on atteint le plafond.

Nous présentons ci-dessous un tableau synthétique expliquant l'impact des différents outils de politiques économiques sur l'ensemble des variables de l'économie, profils temporels de prix et de quantités. La lecture de ce tableau se fait de la façon suivante. Nous considérons quatre types d'effets, résumés par les rubriques A, B, C et D (cf. détails en bas du tableau). Chaque case indique le sens de variation de la variable correspondante pour chacune de ces situations. Le signe + indique que la variable augmente, le signe – qu'elle diminue et le signe ~ que ses variations sont insignifiantes. Le détail des effets quantifiés est analysé dans le rapport final de la recherche.

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>prix</b>	Prix fossile	–	–	~	–
	Coût utilisation fossile	+	+	~	+
	Prix backstop	–	~	–	–
	Prix énergie	+	+	–	+
	Valeur innov. dans la backstop	+	~	+	+
	Valeur innov. dans l'énergie	–	~	–	~
	Valeur innov. dans la CCS	+	+	~	+
<b>quantités</b>	Combustible fossile	–	–	– (faible)	–
	Backstop	+	+ (faible)	+	+
	Energie	–	–	+	–
	CCS	+	+ (faible)	~	+
	Innovation dans la backstop	+	~	+	+
	Innovation dans l'énergie	+	~	+	~
	Innovation dans la CCS	+	+ (faible)	~	+
	Inv. R&D dans la backstop	+	~	+	+
	Inv. R&D dans l'énergie	+	~	+	~
	Inv. R&D dans la CCS	+	+ (faible)	~	+
	Inv. dans la backstop	+	+	+	+
	Inv. dans la fossile	–	–	– (faible)	–
	Inv. dans la CCS	+	+ (faible)	~	+
	CO2 atmosph.	–	–	– (faible)	–
	Température	–	–	– (faible)	–
	Output final	– puis +	– puis +	+	– puis +
	Consommation	+	– puis +	+	– puis +

*A : Effets simultanés d'une taxe carbone et de subventions R&D.*

*B : Effets isolés d'une taxe carbone (de 2<sup>nd</sup> rang, avec des subventions nulles).*

*C : Effets isolés de subventions R&D (avec une taxe carbone nulle).*

*D : Effets de plafonds de concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, à l'optimum.*

Résumons brièvement les principaux résultats.

La taxe carbone provoque une baisse du prix-producteurs des ressources fossiles, c'est-à-dire un transfert de rente des pays producteurs de ressources vers les pays utilisateurs. Simultanément, elle provoque une augmentation du prix final, c'est-à-dire du coût d'utilisation de ces ressources, puisque au prix-producteur s'ajoute la taxe carbone et le coût engagé dans la séquestration. Plus la taxe est élevée, plus les émissions de CO<sub>2</sub> sont faibles, et ceci par le biais de 2 canaux : d'une part, on extrait moins de ressources fossiles, d'autre part on séquestre une partie plus grande du carbone. C'est pourquoi, au final, l'augmentation de la température moyenne diminue.

La subvention à la R&D verte a évidemment pour effet de stimuler les investissements dans cette activité. Dès lors, cela conduit à une baisse du prix de la backstop et à une utilisation plus intensive de ce type d'énergie. Puisque la backstop se substitue partiellement aux ressources fossiles, la demande (et donc l'utilisation) de ces dernières diminue, et le prix-producteur baisse. L'ensemble de ces effets fait qu'une augmentation de la subvention verte conduit à une baisse de la température mondiale, et donc des dommages subis par l'économie.

Dans plusieurs scénarii, la taxe carbone et les subventions-R&D apparaissent comme des outils complémentaires. C'est le cas lorsqu'on veut agir significativement sur l'extraction des ressources fossiles, le développement de la séquestration, et celui de la backstop non-carbonée. C'est le cas également si l'on veut stimuler au mieux les investissements dans la R&D, en particulier dans la R&D dédiée à la séquestration.

D'une certaine façon, les résultats présentés vont dans le sens de ceux de l'IPCC et de l'IAE : la séquestration du carbone est un élément important à prendre en compte dans la lutte contre le réchauffement climatique.

Enfin, il faut remarquer que cette analyse concerne les variations du produit mondial total. En fait, le bien-être de chaque génération dépend de sa consommation, c'est-à-dire du produit auquel il faut enlever l'ensemble des investissements (dépenses dans l'extraction des ressources fossiles et dans la production de la backstop non-carbonée, et dépenses de R&D). Il n'est pas exclu que, sur certaines périodes, les politiques environnementales provoquent une baisse de ces investissements, ce qui pourrait par exemple atténuer l'impact de ces politiques pour les premières générations.