

Modélisation et Facteur 4

Fanny Henriet

Paris School of Economics-CNRS & Banque de France

Nicolas Maggiar

Banque de France

Katheline Schubert

Paris School of Economics, Université Paris 1

4 février 2014

Problématique

La France s'est fixé et a inscrit dans la loi¹ l'objectif du Facteur 4, consistant à diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2050, par rapport à leur niveau de 1990. Le Conseil européen et le Parlement européen ont affiché le même objectif à l'échelle de l'Union européenne. Bien qu'une telle réduction des émissions de GES, si elle est limitée à l'Union européenne, ne soit clairement pas suffisante pour lutter efficacement contre le changement climatique car le poids de l'Europe dans les émissions mondiales de GES est trop faible, elle est utile, au moins sur deux plans : celui de l'effet d'entraînement sur d'autres pays pour l'instant réticents à s'engager dans une démarche similaire, et celui de l'atout économique que pourrait constituer un passage précoce à une économie décarbonée. L'objectif est très ambitieux et l'atteindre ne peut s'envisager sans changements radicaux, notamment sur les technologies et les comportements. Pour qu'ils s'amorcent, le rôle des politiques publiques est déterminant. L'introduction d'une "fiscalité carbone" induisant une augmentation des prix à la consommation des combustibles fossiles, à l'origine d'une part très importante des émissions de GES, est indispensable. La question du niveau et du taux de variation au cours du temps de cette taxe carbone est plus épineuse.

Cette question a bien sûr déjà été posée. La réponse "officielle" est, en France, celle de la Commission Quinet. Cette commission, mise en place en 2008, avait pour objectif de déterminer la valeur du carbone qu'il conviendrait d'utiliser dans l'évaluation des choix d'investissements publics (voir [6]). Cette valeur est définie comme celle qui, si elle s'appliquait dans l'ensemble de l'économie, permettrait d'atteindre le Facteur 4. La commission s'est appuyée sur les résultats de simulations réalisées à l'aide des trois modèles GEMINI-E3 [9], POLES [2] et IMACLIM-R [7], qui déterminent la valeur initiale du carbone et son profil temporel permettant aux économies européennes de diviser leurs émissions de GES par 4 à un horizon de quarante ans, et a conclu en préconisant une taxe initiale de 32 euros par tonne de CO₂, croissant approximativement au taux de 6% par an. Dès lors, pourquoi revenir sur cette question ?

Notre objectif est double. Tout d'abord, nous désirons revisiter cette question dans le cadre d'un modèle macroéconomique simple aux fondements théoriques solides, dans lequel l'ensemble des hypothèses sur les possibilités

1. Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

de substitution dans l'économie entre l'énergie fossile et les autres biens et facteurs et sur le progrès technique sont explicites. Ensuite, constatant les insuffisances de l'hypothèse de progrès technique exogène, nous désirons proposer une première formalisation, certes perfectible, de l'orientation du progrès technique.

Les trois modèles utilisés à l'occasion de la commission Quinet sont des modèles de factures différentes. GEMINI-E3 est un modèle d'équilibre général calculable sectoriel, POLES un modèle "bottom-up" sectoriel extrêmement détaillé, et IMACLIM-R un modèle hybride, sectoriel et très détaillé lui aussi. Leur niveau de désagrégation et de détail leur permet de décrire précisément un certain nombre d'effets sectoriels mais aussi parfois microéconomiques. La contrepartie de cette richesse est une grande complexité qui rend parfois difficile de retracer l'origine précise des résultats obtenus, ces derniers différant fortement entre les trois modèles. Concernant la question qui nous intéresse ici, les trois modèles comportent des hypothèses sur les possibilités de substitution dans les différents secteurs de l'économie et sur l'ampleur des progrès technique sectoriels économisant l'énergie fossile (gains d'efficacité énergétique et pénétration des énergies renouvelables). Ces progrès technique sont soit exogènes soit le résultat de mécanismes d'apprentissage par la pratique calibrés en se fondant sur des dires d'experts (IMACLIM-R). Ces hypothèses ont une influence majeure sur les résultats obtenus, mais la complexité des modèles, leur grande taille et surtout leur désagrégation sectorielle poussée sont telles qu'il n'est pas possible de déduire de ces multiples hypothèses une information claire sur les possibilités de substitution "moyennes" ou sur le taux moyen de progrès technique portant sur l'énergie. Or il est clair qu'à possibilités de substitution données, le progrès technique économisant l'énergie fossile allège l'ampleur de la valeur du carbone nécessaire pour atteindre l'objectif de réduction des émissions. Il est donc très important d'une part d'avoir une estimation précise des substitutions possibles, et d'autre part de distinguer clairement le rôle de l'instrument (taxe) et celui du progrès technique pour atteindre l'objectif.

Notons que le débat "petit modèle intégré fondé sur la théorie versus gros modèle sectoriel détaillé pragmatique" est très présent dans la littérature sur la modélisation qui conclut, sans surprise, à la complémentarité des deux approches.

Nous présentons dans [3] et [4] un modèle macroéconomique stylisé d'équilibre général calculable dans lequel les hypothèses sur les substitutions et le progrès technique sont explicites et leur influence peut être facilement analysée.

Nous modélisons une économie ouverte produisant un bien générique, qui peut être consommé ou investi, et qui importe de l'énergie fossile comme seule source d'énergie². Le prix en devise étrangère des énergies fossiles est exogène et croît à taux constant, de manière à refléter le rareté croissante de ces ressources non renouvelables et à représenter une extraction de type Hotelling. Alors qu'usuellement l'énergie est seulement prise en compte comme un intrant dans le processus de production, nous introduisons également ici la consommation d'énergie fossile des ménages, et le fait que les combustibles fossiles sont utilisés conjointement avec des biens durables (chauffage dans le résidentiel, carburant pour le transport). La consommation d'énergie fossile peut être réduite par des substitutions déclenchées par une augmentation du prix de l'énergie au moyen d'une taxe sur le CO₂, ou par un progrès technique spécifique. Le modèle comporte deux types de progrès technique, permettant d'économiser respectivement le travail et l'énergie fossile. Concernant ce dernier, nous avons à l'esprit à la fois l'amélioration de l'efficacité énergétique et le

2. En 2009, l'énergie fossile représente 67,5% de la consommation totale d'énergie finale en France.

remplacement de combustibles fossiles par des énergies renouvelables. Nous n'introduisons donc pas explicitement les énergies renouvelables dans le modèle. Enfin, nous prenons en compte les rigidités dans l'ajustement du stock de logement des ménages et du stock de capital du secteur productif en introduisant des coûts d'ajustement sur les stocks de biens durables et de capital.

Nous estimons les élasticités de substitution entre énergie fossile et autres biens et facteurs. Du côté des ménages, nous choisissons une élasticité de substitution unitaire entre les biens non durables et l'agrégat biens durables - énergie, en nous appuyant sur la littérature. Nous estimons l'élasticité de substitution entre le stock de biens durables et la consommation d'énergie fossile, et obtenons une valeur de 0,5, soit une faible substituabilité. Du côté des entreprises, nous obtenons une élasticité de substitution de 0,5 entre le capital et l'énergie fossile, et également de 0,5 entre le travail et l'agrégat capital - énergie fossile. Soit de nouveau des possibilités de substitution faibles. Nous estimons également les deux taux de progrès techniques sur données historiques françaises. Nous obtenons un taux de progrès technique portant sur l'énergie de 2% par an, supérieur à celui sur le travail (1,6% par an), ce qui implique que sans intervention publique la consommation d'énergie fossile de l'économie diminue, mais à un faible taux : 0.4% par an. A ce rythme, une réduction de 75% de cette consommation serait atteinte en 347 ans.

Nous étudions deux versions du modèle, l'une dans laquelle les taux des deux types de progrès technique précédents sont exogènes ([3], [4]), et l'autre dans laquelle la direction du progrès technique est endogène [4].

Modèle à progrès technique exogène

Dans la première version du modèle, les taux de progrès technique économisant le travail et économisant l'énergie sont ceux qui résultent des données historiques françaises (respectivement 1,6 et 2% par an). La question à laquelle nous voulons répondre est la suivante : si les taux de progrès technique restent ceux observés dans le passé récent, quelle est la trajectoire de prix du carbone qui permet de diviser les émissions de CO₂ par 4 en 40 ans ? L'hypothèse implicite est que les politiques mises en place dans nos simulations - l'augmentation des prix des combustibles fossiles - n'ont pas d'effet sur le taux de progrès technique, et qu'aucune politique spécifique visant à augmenter ce taux n'est mise en oeuvre. Avec cet exercice, nous déterminons si la hausse des prix du carbone nécessaire pour atteindre l'objectif est raisonnable compte tenu de l'horizon considéré. Nous montrons que ce n'est pas le cas. Plus précisément, la taxe carbone³ du rapport Quinet est loin d'être suffisante pour diviser par 4 les émissions à un horizon de 40 années, puisqu'elle provoque une réduction des émissions de seulement 25%, au prix d'une perte de bien-être modérée. Nous en déduisons que dans les grands modèles appliqués, il y a plus de possibilités de substitution et/ou plus de progrès technique permettant d'économiser l'énergie. Il est nécessaire d'augmenter énormément ce taux de progrès technique (jusqu'à plus de 7% par an) pour atteindre le Facteur 4. Ceci est facile dans cette première version du modèle, puisque le progrès technique y est exogène et que son augmentation est sans coût d'aucune sorte. Compter sur un tel progrès technique tombé du ciel et gratuit paraît un peu trop optimiste, voire trompeur. En revanche, il est probable que l'augmentation des prix de l'énergie déclenchera un supplément de recherche visant à économiser l'énergie, potentiellement au détriment du progrès technique portant sur le travail, qui est le moteur de la croissance économique. C'est pour examiner cette possibilité que nous construisons une deuxième version du modèle.

3. Nous faisons l'hypothèse que les recettes de la taxe carbone sont redistribuées aux ménages de façon forfaitaire.

Modèle à direction du progrès technique endogène

Dans la seconde version du modèle nous considérons que l'effort de recherche de l'économie est une proportion constante de l'output, et que l'allocation de cet effort entre un secteur de recherche mettant au point des innovations économisant le travail et un secteur de recherche mettant au point des innovations économisant l'énergie fossile est endogène. Nous rendons ainsi endogène la *direction* du progrès technique. Un arbitrage apparaît alors entre croissance économique et transition énergétique⁴ :

- un taux de progrès technique portant sur le travail élevé assure à l'économie un taux de croissance élevé, aux dépens d'émissions de CO₂ élevées ;
- un taux de progrès technique portant sur l'énergie élevé permet de réduire les émissions de CO₂ au delà de ce que permettent les possibilités de substitution, aux dépens de la croissance économique.

La modélisation s'inspire de Smulders et de Nooij [8] et de Acemoglu *et al.* [1]. L'incitation à innover dans le domaine des technologies économisant le travail plutôt que dans celui économisant l'énergie fossile dépend de trois effets :

- un "effet productivité" direct, qui pousse à innover dans le secteur qui a la plus grande productivité ;
- un "effet prix" qui encourage l'innovation dans le secteur qui a le prix le plus élevé, afin de permettre d'économiser le facteur le plus cher ;
- un "effet taille de marché" qui encourage l'innovation dans le secteur qui a le plus grand marché potentiel pour les biens intermédiaires qui seront créés à partir des innovations.

Les résultats de la simulation de la taxe carbone du rapport Quinet sont les suivants. Tout d'abord, elle permet de stimuler fortement le progrès technique portant sur l'énergie, puisque son taux passe à court terme de 2% à plus de 6%. Le coût en terme de croissance économique est notable, puisque le taux de croissance passe de 1,6% à 1,2%. Ensuite, la baisse de la consommation d'énergie qu'elle entraîne à long terme est de 40%. Ceci est clairement plus élevé que quand le progrès technique est inchangé (25%), mais encore insuffisant pour le Facteur 4. Nous simulons alors les effets d'une combinaison de taxe carbone Quinet et d'une subvention au secteur de la recherche en technologies permettant d'économiser l'énergie fossile qui augmente de 20% la profitabilité de ce secteur. Cette mesure a un effet de redirection du progrès technique très puissant et donc un fort effet récessif, mais ne permet toujours pas d'atteindre le Facteur 4 : la consommation d'énergie fossile ne diminue au bout de 40 ans que de 60%.

Conclusion

Ce modèle comporte au moins deux limites. La première concerne l'absence de technologies de dépollution, qui permettraient, à consommation d'énergies fossiles inchangée, de limiter les émissions de CO₂. On peut penser par exemple aux dispositifs de dépollution en bout de chaîne (filtres industriels), ou encore à la capture et séquestration du carbone. La seconde limite est que dans le modèle le changement climatique n'a aucun impact sur le bien-être des ménages : il n'y a pas de fonction de dommages. Il n'est alors bien sûr pas possible d'évaluer les bénéfices de la politique environnementale. La forte incertitude pesant sur l'évaluation des fonctions de dommages justifie cette

4. Voir Popp [5] pour des évidences empiriques sur cet effet d'éviction.

hypothèse. On se contente d'admettre ici que l'objectif du Facteur 4 est un objectif souhaitable, et de quantifier son coût économique.

Malgré ces limites, le modèle permet d'identifier clairement les mécanismes économiques en jeu dans la politique fiscale de lutte contre le réchauffement climatique, de se faire une idée des ordres de grandeur, et de mettre en évidence le rôle majeur du progrès technique dans l'atteinte du Facteur 4. Il montre à quel point cet objectif sera difficile à atteindre, sauf à fournir un effort extrêmement massif.

Références

- [1] Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn et D. Hemous, The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, 102(1), 131–166, 2012.
- [2] Criqui, P., P. Russ et D. Deybe, Impacts of Multi-gas Strategies for Greenhouse Gas Emission Abatement : Insights from a Partial Equilibrium Model, *The Energy Journal*, n° spécial, 251–274, 2006.
- [3] Henriët, F., N. Maggiar et K. Schubert, La France peut-elle atteindre l'objectif du Facteur 4 ? Une évaluation à l'aide d'un modèle stylisé énergie-économie, *Economie et Prévision*, à paraître, 2013.
- [4] Henriët, F., N. Maggiar et K. Schubert, A stylized applied energy-economy model for France, *The Energy Journal*, à paraître, 2013.
- [5] Popp, D., ENTICE : endogenous technological change in the DICE model of global warming, *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(1), 742–768, 2004.
- [6] Quinet, A., *La valeur tutélaire du carbone*, Centre d'Analyse Stratégique, La Documentation Française, 2009.
- [7] Sassi, O., R. Crassous, J.-C. Hourcade, V. Gitz, H. Waisman et C. Guivarch, IMACLIM-R : a modelling framework to simulate sustainable development pathways, *International Journal of Global Environmental Issues*, 10(1), 5–24, 2010.
- [8] Smulders, S. et M. de Nooij, The impact of energy conservation on technology and economic growth, *Resource and Energy Economics*, 25(1), 59–79, 2003.
- [9] Vielle, M. et A. Bernard, La structure du modèle GEMINI-E3, *Economie et Prévision*, 136(5), 19–32, 1998.