

# **La transition énergétique entre objectif environnemental et réalité macro-économique**

Frédéric Gonand

*L'impact économique du dérèglement climatique, s'il peut être localement très élevé, reste globalement relativement contenu. En revanche, le coût de la pollution de l'air est important et immédiat. Augmenter l'efficacité énergétique constitue un élément essentiel d'une réponse à la nécessaire transition énergétique mais requiert des investissements significatifs à court et moyen terme.*

Les débats récents en France sur la transition énergétique ont, de l'avis des entreprises du secteur de l'énergie, fait relativement peu de place aux notions de coûts et de prix que les économistes ont l'habitude d'utiliser. Tout se passe comme si la politique de l'environnement poursuivait ses objectifs de long terme sans trop d'égards pour ses effets économiques, et sans comparaison avec les effets économiques du dérèglement climatique. Poser la question de la politique environnementale en termes économiques permet néanmoins d'éclairer utilement les décideurs sur les arbitrages à réaliser entre objectifs de long terme (essentiellement environnementaux) et objectifs de court terme (de nature plus économique). Cet article n'a pas pour objectif – loin s'en faut – d'épuiser le sujet des implications macro-économiques d'une politique de l'énergie à dimension environnementale. Il cherche néanmoins à évoquer, sous forme de

rappels, quelques réalités macro-économiques qui n'ont pas été les plus commentées au cours des derniers trimestres.

### **La question des objectifs macro-économiques d'une politique de l'énergie**

Les débats agités sur la transition énergétique reflètent parfois un désaccord implicite quant aux objectifs macro-économiques définis pour la politique de l'énergie. Deux orientations sont possibles, pas forcément contradictoires.

En premier lieu, une politique de l'énergie peut choisir de poursuivre des objectifs d'optimalité (exclusivement) économique. Elle cherche alors à modérer, voire à abaisser, le prix

moyen de l'énergie pour en faire un facteur de soutien de la compétitivité des entreprises et de

---

**Une politique de  
l'énergie peut choisir  
de poursuivre des  
objectifs d'optimalité  
économique ou un  
objectif exclusivement  
environnemental**

---

pouvoir d'achat des ménages. Cet objectif est déjà ambitieux pour un secteur capitalistique où dominent naturellement des entreprises de grande taille qui peuvent détenir un pouvoir de marché et tirer profit de diverses rentes de producteurs.

Mais la politique de l'énergie peut aussi choisir de poursuivre un objectif exclusivement environnemental, en cherchant à limiter les émissions de CO<sub>2</sub>, de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre quelque soit le coût macro-économique de court terme. Cette question du coût macro-économique de court terme de la transition énergétique peut légitimement retenir l'attention du décideur public, surtout en période de vaches maigres. Par contraste, à plus ou moins long terme, la transition énergétique apparaît *a priori* toujours justifiable du seul point de vue économique. En effet, le coût d'extraction des énergies fossiles a théoriquement tendance à augmenter au fur et à mesure de l'épuisement des réserves alors que le coût de production des énergies renouvelables ne connaît *a priori* pas ce problème à long terme.

Les deux objectifs – macro-économique pur, environnemental pur – peuvent en réalité être conjugués dans le cas d'une transition énergétique mise en œuvre avec une vitesse appropriée, qui préserve certains intérêts économiques tout en conservant des objectifs environnementaux. Dans cette perspective, une transition énergétique devrait idéalement être mise en œuvre ni trop lentement, ni trop vite. Pas trop lentement : à un moment donné, dans le futur, il faudra basculer des énergies carbonées (devenues rares donc chères) vers les énergies renouvelables (devenues relativement peu chères). Compte tenu des coûts d'infrastructures, la bascule des investissements doit être anticipée bien en amont. Si elle est effectuée « trop tard », elle conduira à payer l'énergie fossile à des prix relativement élevés alors que les énergies renouvelables étaient devenues moins chères. Mais la mise en œuvre de la transition énergétique pourrait aussi veiller à ne pas aller « trop vite » en ce sens que, si la transition bas carbone est effectuée « trop tôt », elle conduira à payer relativement cher à court terme les énergies renouvelables alors

que les énergies fossiles demeurent relativement compétitives, générant ainsi un coût économique significatif à court ou moyen terme.

Au total, les débats économiques sur la transition énergétique font fatalement émerger, implicitement ou non, la question du coût macro-économique transitoire d'une politique environnementale. D'où l'intérêt de connaître les coûts macro-économiques des atteintes à l'environnement et les coûts macro-économiques de politiques de lutte contre les atteintes à l'environnement.

### Le coût macro-économique des atteintes à l'environnement

Deux cas peuvent ici être évoqués : celui des coûts macro-économiques du dérèglement climatique et celui du coût macro-économique de la pollution de l'air qui constitue un sujet relativement autonome.

En ce qui concerne les coûts économiques du dérèglement climatique induits par les émissions de gaz à effet de serre et en particulier du dioxyde de carbone, la recherche actuelle ne suggère pas que le dérèglement climatique pèse sensiblement sur l'activité économique en moyenne dans le monde – et ces derniers mots ont leur importance. L'OCDE estime l'effet à -2,0 % de PIB mondial en niveau d'ici 2060, soit une perte de croissance au niveau mondial de -0,05 % par an en moyenne. Le rapport du groupe de travail II de l'IPCC (GIEC) confirme ces ordres de grandeur en retenant des pertes économiques comprises entre -0,2 et 2,0 % de revenu mondial pour une hausse des températures de 2,5 °C à long terme. Les autres travaux disponibles confirment ces ordres de grandeur, qui sont faibles<sup>1</sup>.

Néanmoins, la répartition géographique des pertes économiques liées au dérèglement climatique serait spécialement concentrée sur l'Asie du Sud et du Sud-Est (Inde, Indonésie). Elle reflèterait surtout l'effet de la montée du niveau des océans qui détruit du capital foncier dans des zones densément peuplées et où

1. Pour plus de détails sur cette question, cf. Gonand F., « Dérèglement climatique et croissance économique », *Revue de l'énergie*, n° 625, mai-juin 2015.

l'activité économique se développe aujourd'hui relativement vite.

Au-delà de ce problème de la répartition géographique inégale du coût macro-économique du dérèglement climatique, se pose aussi celui de l'éventualité d'un réchauffement climatique hors de contrôle. La possibilité existe et n'est désormais plus statistiquement négligeable d'événements climatiques extrêmes avec des hausses des températures sensibles. Les modèles climatologiques suggèrent qu'une hausse brusque de 6°C de la température moyenne à la surface de la planète sur ce siècle entraînerait un arrêt de la circulation thermohaline, une fonte de la couverture glaciaire dans l'Antarctique, des émissions massives de méthane en cas de dégel du permafrost et constituerait une menace directe sur la vie humaine dans certaines zones géographiques. Le coût économique associé, dont la probabilité d'occurrence demeure faible, serait néanmoins gigantesque s'il se matérialisait. Dans un tel contexte, il devient rationnel pour les économies contemporaines de s'assurer contre ce risque en mettant en place des politiques adaptées.

La question des coûts macro-économique de la pollution de l'air soulève des questions complémentaires et intéressantes. Les polluants atmosphériques peuvent être de nature variée. Les particules fines en suspension dans l'air sont un mélange de substances organiques et minérales, composées de sulfates, de nitrates, d'ammonium, de chlorure de sodium, de carbone, de matière minérale et d'eau. Les oxydes d'azote (NOx), apparaissent au cours de combustions à haute température, notamment dans les processus industriels et le transport automobile. Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) provient de la combustion des énergies fossiles telles que le charbon et le pétrole. Le monoxyde de carbone (CO) est surtout émis par le trafic automobile et les dispositifs de chauffage urbain. L'ozone atmosphérique (O<sub>3</sub>) résulte d'une réaction photochimique entre des polluants tels que les oxydes d'azote (NOx) émis par les véhicules et l'industrie et les composés organiques volatiles (COV), émis par les véhicules, les solvants et l'industrie.

Une littérature très récente s'intéresse au coût économique – notamment sur la productivité

du travail – associé à cette pollution de l'air. Une baisse de la concentration d'ozone troposphérique de 20 g/m<sup>3</sup> augmente la productivité du travail de 5,5 % [Graff Zivin et Neidell, 2012]. Pour mémoire, le seuil de l'OMS pour l'ozone est de 100 g/m<sup>3</sup>. Une hausse de 10 g/m<sup>3</sup> de la concentration en particules fines de moins de 2,5 microns réduit la productivité des ouvriers de près de 6 % [Chang *et al.*, 2014]. La baisse au niveau national de la concentration en particules fines de moins de 2,5 microns entre 1999 et 2008 aux États-Unis aurait ainsi permis de réaliser une économie de masse salariale cumulée de près de 20 milliards de dollars. Autre exemple : en Chine, la productivité du travail des ouvriers est amputée de 15 % en cas de pollution sévère aux particules fines de moins de 2,5 microns (jusqu'à 200 g/m<sup>3</sup>) ([Li *et al.*, 2015]. Naturellement, la pollution de l'air réduit aussi le nombre d'heures de travail effectuées via les arrêts maladie. Hanna et Oliva [2014] montrent ainsi que la fermeture d'une raffinerie à Mexico City, qui a permis de diminuer de près de 20 % la pollution au SO<sub>2</sub> dans la zone des 5 kilomètres à proximité, a déclenché une hausse de 3,5 % du nombre d'heures de travail effectuées.

Au total, les coûts économiques des atteintes à l'environnement sont sans doute importants au niveau agrégé, mais les travaux actuels suggèrent qu'ils seraient peut-être moins liés au réchauffement climatique en tant que tel – assez lent – qu'à d'autres phénomènes comme la pollution de l'air qui ne font l'objet de la recherche économique que depuis très peu d'années.

### **Les effets économiques d'une taxe carbone**

En taxant le pollueur sur la base de ses émissions de CO<sub>2</sub> ou de polluants atmosphériques, on l'incite à limiter sa pollution. Plus précisément, l'agent pollueur va comparer le coût de dépollution (correspondant, par exemple, à l'achat de filtres ou de combustibles ou à l'adoption de processus plus favorables à l'environnement) au montant de la taxe. Il lui sera préférable d'engager des coûts de dépollution s'ils sont moins chers que la taxe en

euros par tonne de polluant et qui lui permettront de limiter le montant de taxe assise sur les émissions. En d'autres termes, la taxe sur les émissions de polluants encourage la dépollution prioritairement chez les agents pour lesquels elle coûte relativement moins. Une taxe environnementale permet donc de réaliser des efforts de dépollution à moindre coût.

Un des problèmes d'une taxe carbone est néanmoins le risque de renchérir sensiblement le prix moyen pondéré de l'énergie (avec les effets induits sur l'emploi industriel) sans pour autant peser vraiment sur les émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, la demande d'énergie est très inélastique aux prix. À titre illustratif, la littérature tend à suggérer globalement que, pour diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> de 20 % (seulement) d'ici 2050, il faudrait mettre en œuvre une taxe carbone passant de 40 €/t en 2015 à plus de 200 €/t en 2050, avec une valeur moyenne sur la période de l'ordre de 100 €/t. Aujourd'hui, on en est très loin : la taxe carbone en France est inférieure à 20 €/t. Une taxe carbone de l'ordre de 50 €/t n'a globalement pas d'effet environnemental sensible sur les émissions, mais elle en aurait sur l'emploi.

Une taxe carbone peut cependant procurer un avantage économique significatif si elle se substitue à d'autres taxes plus décourageantes pour l'accumulation de capital ou l'offre de travail. On parle alors de « double dividende » pour souligner qu'au-delà des effets favorables pour l'environnement, les taxes environnementales peuvent avoir, sous certaines conditions, des effets économiques favorables en soi. À titre illustratif, si la taxe carbone est compensée par une baisse d'autres prélèvements obligatoires (comme des cotisations patronales), une réforme est possible, à la fois neutre pour les finances publiques et favorable à la croissance. En effet, un impôt indirect comme la taxe carbone a un effet moins pénalisant que des impôts directs ou cotisations sociales : remplacer le second par le premier génère un gain net. Gonand et Juvet [2015] suggèrent qu'une taxe carbone d'un montant de 1 % du PIB (environ 20 Md €) combinée à une baisse des cotisations sociales de 1 % du PIB serait par nature neutre pour le déficit public, mais aurait un effet favorable sur

le PIB compris entre +0,1 et +0,5 % de PIB à long terme selon les cas.

### De quelques caractéristiques économiques des énergies renouvelables

Au-delà des aspects strictement environnementaux, les énergies renouvelables diffèrent des hydrocarbures par leurs principales caractéristiques économiques. En premier lieu, elles concernent presque exclusivement le secteur de l'électricité (éolien, photovoltaïque, géothermie, biomasse, énergies marines...). Sur le marché de l'électricité, elles se traduisent par l'apparition de producteurs d'énergies intermittentes en fonction du vent ou de la nébulosité, qui rendent le pilotage des réseaux de transport et de distribution plus complexe. Par ailleurs, la production intermittente d'électricité pèse sur le prix de gros de l'électricité, mais augmente sa volatilité, renforce (beaucoup) des coûts de réseaux et pousse encore davantage les prix de détail de l'électricité à la hausse, via les taxes sur l'électricité finançant les énergies renouvelables (CSPE en France). Enfin, la production intermittente renforce le besoin de stockage de l'électricité, lequel n'est à ce jour pas encore disponible à des prix raisonnables et dans des quantités suffisantes.

Par ailleurs, les énergies renouvelables permettent de produire de l'électricité à un coût complet souvent significativement supérieur (voire plusieurs fois supérieur, dans certains cas) à celui des autres énergies disponibles. Aujourd'hui, le coût de production d'une nouvelle centrale nucléaire non EPR tournerait aux alentours de 70 €/MWh ; celui d'une centrale au gaz à 80 €/MWh ; celui d'une centrale au charbon (avec l'hypothèse d'un cours du CO<sub>2</sub> assez bas) serait proche de ces ordres de grandeur. En revanche, le coût de production de l'électricité issue de l'éolien *onsbore* tourne à 80-90 €/MWh ; l'éolien *offshore* peine à descendre en-deçà de 200 €/MWh et une installation photovoltaïque au sol peut produire à 120 €/MWh.

Une autre originalité économique de certaines énergies renouvelables – favorable

celle-ci – consiste à tirer profit actuellement d'un progrès technique significatif, ce qui est relativement rare dans le secteur de l'énergie en général et de l'électricité en particulier. Il existe en effet une « malédiction de l'énergie » selon laquelle le secteur réalise peu de gains technologiques, ou en tout cas des gains qui ne se répercutent pas dans les prix de détail – par contraste avec une autre industrie de réseaux comme les télécoms. Mais, dans le photovoltaïque, depuis quelques années, d'importants gains de productivité ont fait plonger et devraient continuer à faire plonger le coût de production par module.

Enfin, il convient de garder en mémoire que les énergies renouvelables constituent une activité spécialement capitalistique, où le coût moyen est constitué souvent à près de 80 % de coûts fixes (notamment dans l'éolien et le photovoltaïque au sol). En conséquence, le montage financier finançant l'unité de production est souvent aussi différenciant pour le coût du projet que la technologie de production. Le point est à garder en mémoire alors qu'un cycle de remontée graduelle des taux au niveau mondial paraît être amorcé.

### **Les effets sur l'emploi et la croissance d'une transition énergétique**

Dans ce contexte, il n'est pas surprenant de constater que les travaux disponibles, qui évaluent l'effet macro-économique de court terme d'une transition énergétique et ont été publiés dans des revues académiques internationales à comités de lecture rigoureux, indiquent que les politiques limitant la concentration de CO<sub>2</sub> pèseraient en moyenne sur le PIB mondial à hauteur de -2,5 % d'ici 2050 [Knopf *et al.*, 2010] – ce qui est peu car cela correspond à moins de 0,1 % de perte de PIB par an. L'OCDE fournit des ordres de grandeurs comparables. L'intuition est simple : la substitution d'énergies relativement plus coûteuses aux énergies carbonées renchérit à court terme le prix de

l'énergie, ce qui tend à peser sur la croissance. Toutefois, l'effet demeure contenu.

Parfois, certaines analyses – non publiées dans des revues scientifiques internationales – utilisent des structures de modèles habituellement employés pour des prévisions de court terme (1 à 2 ans) afin de faire des prévisions à l'horizon 2050. Elles suggèrent parfois un enrichissement important de la croissance en emplois, alors qu'*a priori* une transition énergétique se traduirait plutôt par un enrichissement de la croissance en capital (on accumule du capital plus sophistiqué et économe en énergie). Surtout, il convient de distinguer entre créations d'emplois nets (*i.e.*, dans l'ensemble de l'économie) et créations d'emplois bruts (*i.e.*, uniquement dans le secteur des renouvelables).

Au niveau macro-économique, ce sont naturellement les premières qui méritent d'être prises en compte par les décideurs. Et, de fait, aucun travail académique publié dans des revues scientifiques au niveau

international ne suggère aujourd'hui qu'une transition énergétique est susceptible de créer massivement des emplois nets à court terme. La prudence est donc de mise face aux simulations de transition énergétique prévoyant des lendemains qui chantent. À ce titre, la communication du gouvernement lors du vote de la loi de transition énergétique a été avisée en annonçant des effets sur l'emploi de la loi, certes optimistes mais néanmoins pas déraisonnables.

### **La difficile réduction des émissions de CO<sub>2</sub> supérieures à 50 % à long terme**

Les économistes de l'environnement ont l'habitude de calculer des courbes liant le taux d'une taxe carbone à la réduction associée des émissions de CO<sub>2</sub>. À titre illustratif, une taxe carbone de l'ordre de 100 €/t permettrait de réduire ces émissions de l'ordre de 20 % d'ici 2050 [Criqui et Mima, 2012 ; Kesicki, 2013]. Une réduction comparable des émissions à cet horizon pourrait aussi être obtenue par

une augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix électrique à environ 50 % (au lieu de 20 % aujourd'hui). La combinaison de ces deux instruments habituels de politique de l'environnement permettrait de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> en France d'environ 40 % d'ici 2050, ce qui demeure en deçà, et assez sensiblement, de l'objectif de 75 %.

Dans ce contexte, les gains d'efficacité énergétique, qui permettent de diminuer les émissions à niveau de croissance inchangé, prennent tout leur sens. Sans progrès dans l'efficacité énergétique, les objectifs de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 75 % d'ici 2050 sont hors d'atteinte, même avec des taxes carbone élevées et un développement sensible des énergies renouvelables.

En 2014, dans le monde, les gains d'efficacité énergétique ont permis de diminuer la hausse annuelle de la demande d'énergie de près des 2/3 par rapport aux années 2000 (de 2 à 0,7 %/an). Les progrès réalisés ont été significatifs, en particulier en Chine sur le passé récent, même si beaucoup reste à faire.

Dans les pays développés néanmoins, l'encouragement aux gains d'efficacité énergétique fait face à quelques problèmes. En premier lieu, l'efficacité énergétique requiert des investissements initiaux par nature relativement coûteux, surtout dans les pays relativement avancés dans ce domaine (ce qui est le cas de l'Europe). Par ailleurs, le déclin actuel du prix des énergies fossiles dégrade le rendement des investissements dans l'efficacité énergétique. Enfin, l'effet sur la demande d'énergie des gains d'efficacité énergétique est amorti par « l'effet rebond » : davantage d'efficacité énergétique implique plus d'argent économisé par les agents, donc plus de demande globale de biens et service et, en particulier, plus de demande indirecte d'énergie. Tout gain initial d'efficacité énergétique au niveau micro-économique ne se répercute pas en totalité – voire parfois pas du tout – au niveau macro-économique.

**Sans progrès dans l'efficacité énergétique, les objectifs de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 75 % d'ici 2050 sont hors d'atteinte**

## Conclusion

Nous avons rappelé que les effets économiques du dérèglement climatique sont en moyenne dans le monde relativement contenus, mais qu'ils peuvent localement être très élevés et devenir massifs à très long terme. En revanche, le coût économique de la pollution de l'air est immédiat et important. La littérature scientifique existante dans les revues académiques suggère que les politiques de transition énergétique peuvent être coûteuses à court et moyen termes et que la mise en œuvre des taxes carbone et le développement des énergies renouvelables ne devraient pas suffire à diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> à hauteur des objectifs affichés. Augmenter l'efficacité énergétique constitue un élément-clé de la bonne solution, mais cela requiert

des investissements significatifs à court et moyen termes. Dans tous les cas, la transition énergétique reste nécessaire au moins à long terme... car elle deviendra inévitable quand le pétrole, notamment, se fera rare. ■

## Bibliographie

- Chang T., Graff Zivin J., Gross T., Neidell M. (2014) "Particulate pollution and the productivity of pear packers", NBER Working Paper, 19944.
- Criqui P., Mirra S. (2012) "European climate - energy security nexus: A model based scenario analysis", *Energy Policy*, 41 (1), Elsevier, pp. 827-842.
- Gonand F., Jouvet P.-A. (2015) "The Second Dividend and the Demographic Structure", *Journal of Environmental Economics and Management*, 72, pp. 71-97.
- Graff Zivin J., Neidell M. (2012) "The Impact of Pollution on Worker Productivity", *American Economic Review*, 102(7), pp. 3652-3673.
- Henriet F., Maggiar N., Schubert K. (2014) "A stylized applied energy-economy model for France", *The Energy Journal*, 35(4), pp. 1-37.
- Kesicki F. (2013) "What are the key drivers of MAC curves? A partial-equilibrium modelling approach for the UK", *Energy Policy*, 58, pp. 142-151.
- Knopf B., Edenhofer O., Flachsland C., Kok M.T.J., Lotze-Campen H., Luderer G., Popp A., van Vuuren D.P. (2010) "Managing the Low-Carbon Transition - From Model Results to Policies", *The Energy Journal*, 31(1).
- Li T., Liu H., Salvo A. (2015) "Severe Air Pollution and Labor Productivity", IZA Discussion Paper, 8916.