» QUELLES POLITIQUES POUR ENCOURAGER L'INNOVATION VERTE ?

Philippe Aghion, *professeur à l'université de Harvard.*
David Hemous, *doctorant à l'université de Harvard.*
Reinhilde Veugelers, *professeur à la Katholieke Universiteit Leuven.*

La plupart des simulations économiques récentes montrent que le coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ne pourra pas être maintenu à un niveau « raisonnable » sans faire appel à un portefeuille de technologies allant bien au-delà de celui dont on dispose actuellement [1]. Des innovations radicales sont en particulier nécessaires à long terme et pour faire face aux risques de catastrophes majeures que les différents rapports du GIEC ne permettent pas d'exclure. Comment faire en sorte que les acteurs privés orientent leurs efforts en direction de la recherche de nouvelles technologies propres ?

Dans leurs évaluations du coût du changement climatique et de celui des interventions pour en limiter les conséquences, les économistes n'ont jusqu'à présent pas tenu grand compte de l'innovation, mettant de côté le rôle que pourraient jouer les incitations à la création et à la diffusion de technologies vertes. La technologie n'est bien sûr pas complètement absente de la réflexion économique, mais elle est le plus souvent considérée comme un facteur exogène susceptible d'atténuer le changement climatique et de permettre de nous adapter à ses conséquences. L'arrivée et la diffusion de nouvelles technologies sont appréhendées comme des processus mécaniques et automatiques. Il est impossible dans ce cadre de penser l'effet des politiques publiques sur l'innovation, et les conséquences que ces politiques pourraient avoir sur le coût et les effets du réchauffement. Cet article propose de dépasser cette limite du raisonnement économique traditionnel.

1. Cet article s'inspire d'un travail publié pour le *think tank* Bruegel, intitulé : « Turning the innovation machine on for climate change ».

Il montre d'abord que l'innovation n'a jusqu'à présent pas suffisamment été mise au service de la lutte contre le changement climatique. Il utilise dans un second temps les résultats d'un modèle récent[2] pour mettre en évidence comment la prise en considération « endogène » de l'innovation modifie (i) les évaluations du coût d'un report de l'action contre le réchauffement climatique, (ii) la combinaison optimale de politiques publiques qu'il convient de mettre en place, et (iii) les termes des négociations internationales portant sur le climat entre pays riches et pays en développement.

L'importance de l'innovation verte aujourd'hui

Les efforts d'innovation actuels sont-ils suffisants ? Permettront-ils, s'ils restent au même niveau, de lutter convenablement contre le changement climatique ? Afin d'y voir plus clair, nous dressons le tableau des performances récentes en matière d'innovation dans les technologies vertes.

La R&D des entreprises

Les innovations vertes peuvent être développées par les entreprises « en interne », ou bien, comme c'est le plus souvent le cas, adoptées de l'extérieur. Pour l'Union européenne à 27, l'enquête « *Community Innovation* » fournit des données sur l'innovation des entreprises, et notamment sur les raisons poussant les entreprises à innover, parmi lesquelles sont distinguées « l'amélioration de l'efficacité énergétique » ainsi que « la réduction des impacts environnementaux, ou l'amélioration de la santé et de la sécurité ». Au cours des années 2004-2006, les dernières pour lesquelles on dispose de données, ces deux motifs sont ceux qui sont le moins souvent cités. Ils n'apparaissent dans aucun pays européen comme des motifs importants d'innovation – même pas dans les pays scandinaves, pourtant connus pour leur souci de l'environnement. En outre, les différentes vagues successives de l'enquête ne révèlent aucune augmentation des préoccupations d'« amélioration de l'efficacité énergétique » – qui auraient même plutôt tendance à diminuer ! Ces statistiques ne permettent donc pas de mettre en évidence un quelconque appétit des industriels pour le développement « en interne » de technologies vertes.

2. Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L et Hemous D. (2009), « The environment and directed technical change », MIT, Harvard, NBER working paper.

Les brevets « verts »

L'importance de l'innovation environnementale peut également être appréhendée à travers le nombre de brevets « verts » déposés. Les données les plus récentes de l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle montrent qu'en moyenne sur les années 2001 à 2005, seuls 1,5 % des brevets déposés par les entreprises concernaient des technologies environnementales ; une proportion aussi faible est stupéfiante ! Le taux de croissance annuel moyen du nombre de brevets « verts » déposés offre une image un peu plus optimiste : il s'est élevé à 11,6 % sur la période 2004-2008 – un chiffre qui reste néanmoins inférieur à celui des technologies informatiques (14 %) et d'autres technologies émergentes comme les nanotechnologies (20 %).

Si l'on cherche à dresser un tableau par pays, le Japon se détache nettement, avec 45 % de tous les brevets environnementaux déposés. On peut mesurer la spécialisation d'un pays dans l'innovation environnementale en rapportant la part des brevets environnementaux que détient ce pays dans le stock de brevets environnementaux mondial (0,45 pour le Japon) à la part des brevets de tous types détenus par ce même pays dans le stock mondial total de brevets (0,39 pour le Japon). Un ratio supérieur à 1 – comme c'est le cas au Japon (1,14), en Chine (1,34) et au Canada (1,38) – dénote une spécialisation environnementale.

Tableau 1 – Les brevets « verts » par pays

	Proportion des brevets environnementaux mondiaux	Spécialisation dans les brevets environnementaux
Japon	45 %	1,14
États-Unis	15 %	0,68
Allemagne	9 %	1,04
Corée du Sud	7 %	1,07
Chine	5 %	1,34
France	3 %	1,03
Royaume-Uni	2 %	0,95
Canada	1 %	1,18

Source : Organisation mondiale de la propriété intellectuelle, 2008 ; brevets déposés par les entreprises dans les technologies environnementales (moyenne sur les années 2001-2005).

Bien que les États-Unis détiennent 15 % des brevets environnementaux mondiaux, ils ne sont pas spécialisés dans ce domaine (ratio de 0,68). En Europe, l'Allemagne et la France sont les deux principaux innovateurs verts, tous deux étant légèrement spécialisés, à l'inverse du Royaume-Uni.

Regards croisés sur l'économie n° 6 – 2009 © La Découverte

L'OCDE examine plus en détail les tendances de croissance du nombre de brevets dans chacune des grandes catégories de technologies vertes. Non seulement, comme on l'a vu, la part des brevets environnementaux toutes catégories confondues est dérisoire, mais aucune catégorie ne semble croître particulièrement vite. La seule exception concerne les piles à combustible, pour lesquelles le nombre de brevets déposés a augmenté de 24,6 % par an en moyenne sur la période 1995-2005 – il est vrai à partir d'une base restreinte. Les brevets portant sur des technologies nucléaires sont ceux dont le nombre augmente le plus lentement.

Tableau 2 – Proportion et croissance des brevets relatifs aux différents types de technologies vertes

	Toutes les technologies	Énergies renouvelables*	Pollution automobile	Piles à combustible	Nucléaire	TIC	Nanotechnologies	Biotechnologies
Proportion de brevets (2003-2005)	100 %	0,42 %	0,85 %	0,6 %	0,45 %	36 %	1,1 %	5,8 %
Taux de croissance annuel moyen (1995-2005)	12,1 %	15,8 %	12,9 %	24,6 %	5,8 %	15,5 %	18 %	5,5 %

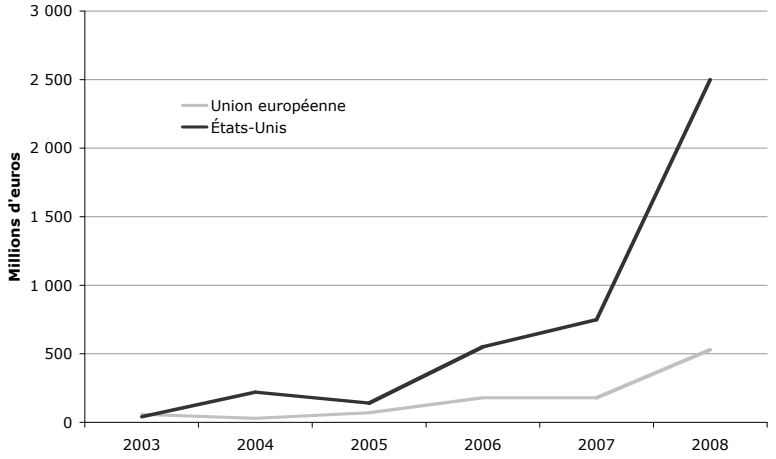
Source : Calculs de l'auteur à partir du compendium de statistiques sur les brevets de l'OCDE, 2008.
Note : Énergies renouvelables : éolien (28,8 %), énergie solaire (29,2 %), géothermie (28 %), océan (7,6 %), biomasse (4,8 %), déchets (26,7 %).

Le financement des start-up vertes par le capital-risque

Les statistiques que nous venons de présenter ne sont disponibles qu'après un certain délai ; aussi est-il envisageable que nous passions à côté du décollage récent de l'innovation dans certaines technologies vertes. Afin de se faire une idée des tendances les plus récentes, il est utile d'examiner les informations disponibles sur les financements de type capital-risque.

Les données de Dow Jones VentureSource soulignent l'intérêt croissant des capital-risqueurs pour les énergies renouvelables. Comme le montre le graphique 1, cet intérêt est effectivement récent, puisqu'il date de 2007. Les États-Unis et l'Europe ont connu une augmentation comparable du nombre de transactions réalisées dans les énergies renouvelables. Qui plus est, le taux de croissance des investissements dans ce domaine dépasse les taux de croissance de tous les autres secteurs du capital-risque. Les investissements dans les énergies vertes ont en particulier continué à croître en 2008, alors qu'ils chutaient partout ailleurs en raison de la crise financière.

Graphique 1 – Sommes levées (en €) auprès de capital-risqueurs par des compagnies d'énergie renouvelable en Europe et aux États-Unis



Source : Dow Jones VentureSource

Les énergies propres ne représentent encore que 7 % de tous les investissements en fonds propres dans des compagnies européennes faisant appel au capital-risque au deuxième trimestre 2009. Une dynamique s'est cependant enclenchée, qui semble se poursuivre. Dans son enquête annuelle 2009 sur les tendances mondiales du capital-risque, Deloitte note qu'en dépit de la crise, 63 % des capital-risqueurs interrogés prévoient une augmentation de leurs investissements dans les technologies propres : c'est le pourcentage le plus élevé tous secteurs confondus. Les hausses anticipées sont particulièrement fortes en Asie-Pacifique et en Europe (hors Grande-Bretagne) ; elles sont plus faibles aux États-Unis et au Royaume-Uni. Pour Deloitte, l'intérêt croissant des investisseurs s'explique par l'anticipation d'une hausse du soutien public aux technologies propres, que ce soit en termes de (co-)financement ou d'incitations données au secteur privé. Toute la question est de savoir si le frémissement observé survivra à la fin des plans de relance publics conjoncturels et des espoirs qu'ils suscitent.

Pourquoi le marché ne produit-il pas suffisamment d'innovations vertes ?

Comment expliquer le faible taux historique d'innovations vertes ? Pourquoi est-il probable que le secteur privé, laissé à lui-même, ne soit pas capable de générer suffisamment d'innovations environnementales ? On peut avancer quatre explications.

Regards croisés sur l'économie n° 6 – 2009 © La Découverte

Une première raison tient à ce que les économistes qualifient d'« externalité environnementale », autrement dit au fait que les producteurs, qui cherchent à maximiser leur profit, ne sont pas tenus de prendre en compte dans leurs choix de production et d'investissement les dommages qu'ils font subir au climat. Ils n'ont, dans ce cadre, aucun intérêt de court terme à réduire leur pollution et à innover seuls.

Une deuxième raison a trait à ce qu'on qualifie d'externalité de connaissance : dans une situation de laisser-faire, les entreprises ont tendance à orienter leurs efforts d'innovation en direction des secteurs dans lesquels elles disposent déjà d'un avantage technologique. Elles innovent, autrement dit, dans les domaines dans lesquels elles sont déjà bonnes. La plupart du temps, il s'agit malheureusement de secteurs émetteurs de CO_2.

Troisièmement, l'innovation est souvent freinée à cause d'un problème d'appropriabilité : les entreprises rechignent à innover si elles ne peuvent pas bénéficier pleinement des retombées financières de leurs découvertes. Cet effet est susceptible de jouer un grand rôle pour les technologies vertes, car celles-ci sont particulièrement complexes et impliquent des processus cumulatifs au cours desquels les retombées sont importantes. Les nouvelles technologies environnementales courent le risque d'être insuffisamment protégées par le droit traditionnel des brevets, si celui-ci n'est pas renforcé par des mécanismes d'appropriation complémentaires.

Enfin, un dernier obstacle à l'innovation n'est autre que la difficulté d'accéder à des financements adéquats, en raison de l'imperfection des marchés financiers. Cette contrainte est d'autant plus forte pour les innovations environnementales que celles-ci sont, d'un point de vue technique, particulièrement risquées – notamment les plus radicales d'entre elles. Leur commercialisation présente en outre des risques élevés en raison des conditions de marché actuellement incertaines. L'addition des incertitudes techniques et commerciales pèse lourdement sur les phases initiales de développement.

Quelle politique climatique optimale ?

Le fait que le marché livré à lui-même ne produise pas suffisamment d'innovations environnementales plaide fortement pour une intervention publique. Mais au-delà de la nécessité d'une intervention se posent trois grandes questions : (i) *comment* le gouvernement doit-il intervenir : en taxant et/ou en distribuant des subventions ? ; (ii) *quand* convient-il d'agir : immédiatement ou plus tard ? Quels sont les coûts associés à un report de l'intervention dans le temps ?

Les actions peuvent-elles être temporaires ou faut-il qu'elles soient permanentes ? ; (iii) *qui* doit agir ? L'intervention doit-elle obligatoirement être multilatérale et coordonnée, ou une action unilatérale peut-elle également se justifier ?

Comment intervenir ?

Pour les économistes, résoudre le problème des externalités environnementales passe essentiellement par la fixation d'un prix du carbone – que celui-ci soit déterminé par un système de taxes ou sur un marché de permis à polluer. L'existence d'un tel prix permet en effet de réduire la production et la consommation de produits rejetant des GES et oriente l'innovation en direction des technologies vertes, si le prix est suffisamment prévisible sur le long terme. L'instauration d'un prix du carbone apporte aussi une solution au problème relatif aux externalités de connaissance. Comme l'ont montré de nombreuses études, les innovations dans le domaine des économies d'énergie ont ainsi été historiquement encouragées par la hausse des prix de l'énergie.

Mais ce type d'intervention publique a aussi un coût qu'il ne faut pas occulter : lorsque, sous l'effet du renchérissement du carbone, l'innovation se déplace des secteurs développés (et polluants) vers les secteurs jeunes (et propres), la croissance du PIB ralentit au départ, car la productivité est initialement plus faible dans les nouveaux secteurs que dans ceux arrivés à maturité technologique. Cette perte de croissance perdure tant que les nouveaux secteurs verts n'ont pas rattrapé les anciens, ce qui peut prendre un certain temps.

Dans ce contexte, ne recourir qu'à une taxe carbone risque de provoquer une baisse excessive de la consommation à court terme : il ne s'agit pas du scénario le moins coûteux. La solution optimale implique en fait deux instruments : non seulement une taxe sur le carbone (ou de façon équivalente un marché de permis d'émissions) pour résoudre le problème des externalités environnementales, mais aussi des subventions directes à la R&D dans les technologies propres (ou de façon équivalente une taxe sur les profits réalisés dans les secteurs polluants), pour résoudre les problèmes liés aux externalités de connaissance et au manque d'appropriabilité.

Par ailleurs, l'efficacité de l'intervention publique dépend de façon cruciale du degré de substituabilité entre les technologies vertes et les technologies polluantes : l'intervention est d'autant plus efficace que les deux types de technologies sont facilement substituables. En effet dans ce cas – qui est, heureusement, le plus probable –, une action même relativement modeste peut avoir des effets très importants, dans la mesure où dès que les technologies propres ont pris un

Regards croisés sur l'économie n° 6 – 2009 © La Découverte

essor suffisant grâce à l'aide publique, les entreprises sont incitées à continuer à innover dans ce domaine du fait des externalités de connaissance ; la dynamique s'entretient alors d'elle-même. Ceci implique également qu'il suffit d'une intervention temporaire pour lutter contre le réchauffement climatique. Si les technologies sont imparfaitement substituables en revanche, l'intervention publique doit être permanente pour empêcher un désastre environnemental.

Quand intervenir ?

La prise en compte du changement technologique endogène plaide en faveur d'une intervention immédiate des pouvoirs publics. La raison principale en est que reporter l'intervention permet aux anciens secteurs utilisant des technologies polluantes d'accroître leur avance en termes de productivité, et de renforcer ainsi leur domination. Il faut alors une intervention publique plus longue en faveur des technologies vertes avant que ces dernières ne puissent rattraper et remplacer les technologies polluantes. Au cours de cette période de transition, la croissance, comme on l'a vu, est inférieure à son potentiel : retarder l'intervention a donc un coût. De surcroît, des réductions d'émissions de GES plus rapides sont plus coûteuses que des réductions progressives – et il n'est d'ailleurs pas certain que des réductions très rapides soient possibles. Compte tenu de nos connaissances technologiques et des incertitudes commerciales, le développement et l'adoption à suffisamment large échelle de nouvelles technologies prendra du temps : pour prévenir le désastre écologique et éviter d'avoir à s'acquitter de coûts exponentiels, il faut s'attaquer au problème dès maintenant.

La bonne nouvelle est que les taxes destinées à inciter à l'innovation (taxe sur les facteurs de production polluants et les profits des entreprises polluantes) peuvent être progressivement réduites au cours du temps : dès que les technologies vertes ont acquis un avantage suffisant en termes de productivité, le cercle vertueux de l'innovation environnementale s'enclenche – surtout si les facteurs de production propres et polluants sont suffisamment substituables.

Qui doit agir ?

Comment faire si certains refusent de soutenir les technologies vertes ? Une action unilatérale de la part des pays riches a-t-elle un sens ? À nouveau, l'endogonéisation du progrès technique éclaire d'un jour nouveau ces questions qui se trouvent au cœur de la réflexion économique sur le réchauffement.

Bien que quelques pays émergents comme la Chine fassent d'importants efforts d'innovation verte, la plupart des pays du Sud ne font qu'imiter ou

adopter des technologies propres inventées dans les pays riches (ce qu'on peut qualifier d'externalité de connaissance mondiale).

Ce n'est pas nécessairement problématique : si les pays du Nord incitent leurs entreprises à l'innovation dans les technologies vertes, *et s'ils facilitent la diffusion de ces technologies vers les pays du Sud*, des progrès très substantiels pourraient être accomplis dans la lutte contre le changement climatique. En particulier il n'est pas forcément nécessaire de taxer les facteurs de production polluants dans les pays du Sud pour éviter la catastrophe planétaire. L'incitation aux innovations vertes dans le Nord doit permettre d'enclencher dans les pays riches le cercle vertueux du changement technologique environnemental, qui à son tour – si les technologies sont partagées – doit déclencher un processus d'imitation à l'échelle planétaire, d'où un cercle vertueux de croissance verte globale. En d'autres termes, les pays du Nord ont la responsabilité d'assumer le *leadership* en faisant le premier pas, et ils doivent adopter une attitude proactive en matière de transferts de technologie Nord/Sud. Voilà qui constitue un argument en faveur d'une action unilatérale des pays développés et de la maximisation des transferts Nord/Sud (plus les retombées technologiques Nord/Sud étant importantes, plus l'imitation des pays du Sud pouvant fonctionner à plein régime).

Bien sûr, cet argument n'apporte aucune réponse à l'épineux problème des « fuites de carbone » qui apparaît dès lors qu'on prend en considération le commerce international : dans un monde de libre-échange, si la pollution est taxée dans un pays mais pas dans un autre, les entreprises sont incitées à se délocaliser et à innover dans le « paradis polluant », puis à exporter leurs produits et leurs innovations à partir de celui-ci dans les pays du Nord. Pour résoudre ce problème, les pays développés doivent instaurer (ou menacer de façon crédible d'instaurer) une « taxe carbone aux frontières » (voir l'article d'Oliver Godard dans ce numéro).

Conclusion

Les analyses précédentes suggèrent quelques principes susceptibles de guider les politiques climatiques destinées à inciter à l'innovation verte. Tout d'abord, l'intervention publique devrait contribuer à développer l'innovation privée, pas s'y substituer. Les gouvernements devraient donc prévoir des « stratégies de sortie », à mettre en œuvre dès que l'innovation environnementale privée parviendra à s'auto-alimenter. En second lieu, l'intervention publique devrait commencer aussi vite que possible, tout particulièrement en ce qui concerne les subventions à la recherche et à la diffusion de technologies vertes.

Regards croisés sur l'économie n° 6 – 2009 © La Découverte

Enfin, ce n'est pas un seul mais une combinaison d'instruments qu'il convient d'utiliser, à savoir : la fixation d'un prix du carbone (taxe ou marché), des subventions pour la R&D verte (aide aux premiers usages des technologies innovantes, suppression des barrières hors marché, facilitation de la substitution entre technologies propres et technologies polluantes), un soutien aux transferts de technologies vertes Nord/Sud, et enfin ne pas exclure le recours a une taxe carbone aux frontières pour endiguer le développement de paradis polluants.

Ce n'est malheureusement pas ce qu'on constate à l'heure actuelle. Malgré les protestations de bonnes intentions, les politiques menées sont défaillantes à deux niveaux.

Tout d'abord, l'engagement public dans la R&D verte est trop faible, incohérent dans le temps, et pas coordonné au niveau international (tableau 3).

Tableau 3 – Dépenses de R&D publiques destinées au « contrôle et au souci de l'environnement », Europe, États-Unis, Japon

Pays	Dépenses totales (millions d'€), 2005	En % des dépenses publiques totales de R&D	En % des objectifs de R&D publique	Taux annuel moyen de croissance des dépenses de R&D publiques, 2000-2005
UE à 27	2 196	2,7 %	7 %	4,3 %
États-Unis	424	0,4 %	1 %	- 4,6 %
Japon	242	0,9 %	2 %	- 3,1 %

Sources : Eurostat, *Government Budget Appropriations or Outlays on R&D data (GBAORD).*
Notes : Pour l'UE, le taux de croissance concerne les pays de l'UE à 15. Les données pour les États-Unis et le Japon sont provisoires.

Les dépenses publiques de R&D environnementale ne représentent qu'une infime fraction des dépenses publiques totales de R&D, et leur part ne semble pas avoir augmenté entre 2000 et 2005. L'Union européenne fait mieux que les États-Unis et le Japon, mais cet agrégat cache un manque de coordination des dépenses au sein des pays-membres (France : 2,7 % des dépenses publiques totales de R&D ; Allemagne 3,1 % ; Royaume-Uni 1,8 %), ce qui rend celles-ci moins efficaces que les dépenses américaines ou japonaises.

Enfin, les dépenses publiques ne suffisent pas à enclencher le processus d'innovation verte privé : en l'absence d'un prix du carbone suffisamment élevé et prévisible, les incitations à l'adoption de technologies privées vertes demeurent trop faibles. Les toutes dernières données semblent montrer un léger décollage de l'innovation verte, mais celle-ci a besoin d'une impulsion de la part des pouvoirs publics pour que la dynamique actuelle puisse être amplifiée.