CAIRN.INFO
MATIÈRES À RÉFLEXION

LE REGARD DE L'ÉCONOMISTE : PORTÉE ET LIMITES DE L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE

Xavier Galiègue

ANDESE | « Vie & sciences de l'entreprise »

2012/2 N° 191 - 192 | pages 39 à 58

ISSN 2262-5321
DOI 10.3917/vse.191.0039

Article disponible en ligne à l'adresse :

---

https://www.cairn.info/revue-vie-et-sciences-de-l-entreprise-2012-2-page-39.htm

---

Distribution électronique Cairn.info pour ANDESE.
© ANDESE. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

LE REGARD DE L'ECONOMISTE : PORTEE ET LIMITES DE L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE

Par Xavier GALIEGUE
Laboratoire d'Economie d'Orléans

Résumé :

L'innovation environnementale qui dépasse le seul domaine de l'innovation des éco-industries connaît à l'heure actuelle un développement considérable. Pourtant ses effets sur la pression environnementale restent encore limités par la persistance d' « effets rebond », liés la rétroaction exercée par l'amélioration de l'efficience dans l'utilisation des ressources sur leur consommation globale. L'innovation a d'autre part tendance à augmenter la pression sur l'environnement, par le développement des pratiques d'obsolescence programmée, notamment dans les NTIC, dont l'utilisation requiert de plus une forte consommation d'énergie. Les différents canaux par lesquels l'innovation environnementale pourra aboutir à une croissance verte passent par des innovations technologiques, mais aussi par des changements de comportements et d'attitudes qui devraient s'auto-renforcer. Les outils disponibles pour promouvoir l'innovation environnementale sont nombreux : réglementations, taxes et subventions, marché des droits à polluer, mais leur combinaison contribue à brouiller les signaux prix alors qu'il faudrait parvenir à déterminer un prix du carbone évité unique pour guider les choix des technologiques environnementales.

Mots clés : Economie de l'innovation, économie de l'environnement, économie de l'énergie, innovation environnementale

Abstract:

Environmental innovation, which field is larger than the innovation of eco-industries, enjoys recently an impressive development. Nevertheless it doesn't entail significant decrease in the pressure on environmental resources, since the rise in resource efficiency has a feedback effect on its use, according to the « rebound effect ». Innovation moreover tends to increase environmental pressure through planned obsolescence, mainly in Information and Telecommunication Technologies (ITC). Different channels are available to promote environmental innovation, through technological innovation but also through use and attitudes changes, which will be self-enforcing. Many Policy tools are available to promote environmental innovation, regulation, tax and subsidies, cap and trade systems, but their combination leads to disparities in the carbon avoided price while economic theory requires a unique carbon price in order to guide environmental technique choice.

Keywords : Innovation economics, environment economics, energy economics, environmental innovation

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

INTRODUCTION

Souhaitée par tous, l'innovation environnementale fait l'objet d'un consensus qui serait rassurant s'il ne recouvrait pas un ensemble d'interprétations divergentes et d'intérêts souvent contradictoires. Elle est perçue par certains comme un moyen de maintenir le mode de vie des pays les plus avancés et la croissance des pays en développement, tout en préservant l'environnement. Pour d'autres au contraire elle doit ouvrir la voie à un changement radical de mode de vie et de croissance. Dans tous les cas elle devrait permettre de limiter la pression sur les ressources non renouvelables et les émissions de rejets polluants et de CO_2, pour aboutir à un cercle vertueux de « croissance verte », combinant de nouveaux débouchés à l'amélioration de l'efficience environnementale.

Le propos de cet article est de démontrer que l'examen des évolutions récentes aboutit à des considérations beaucoup plus nuancées : rien ne garantit que les innovations environnementales, si elles aboutissent à une meilleure utilisation des ressources environnementales, parviendront à limiter à court terme la pression sur ces ressources non renouvelables, dont la consommation continue d'augmenter en permanence. Plus inquiétant, si une part croissante de l'innovation est tournée vers la préservation de l'environnement, une part non négligeable ne l'est pas, et exerce au contraire une forte pression sur les ressources. En renouvelant en permanence les produits, l'innovation peut être destructrice à travers les pratiques d'obsolescence programmée qui sont généralisées dans les technologies les plus avancées. C'est le cas notamment des nouvelles technologies de l'information et de communication (NTIC), dont l'utilisation engendre un accroissement continu de la consommation d'énergie. Enfin, bon nombre d'innovations environnementales ne sont pas soutenables sans un soutien public massif qui pourrait s'avérer fragile si les techniques utilisées ne parviennent pas à être rentables dans un délai rapide, comme l'a révélé l'engouement pour des filières photovoltaïques ou l'éolien, tributaires d'un financement public menacé par les politiques d'austérité budgétaire.

L'innovation environnementale présente donc des aspects beaucoup plus complexes et engendre des effets beaucoup plus subtils que la perception qu'on en a de prime abord. Si elle repose sur le développement de techniques ayant leur propre dynamique, elle est aussi profondément façonnée par les attitudes et comportements individuels et collectifs. Elle est aussi structurée par des politiques publiques dont les outils sont multiples et les effets variés, qu'on peut observer par exemple en comparant les différences de performances énergétiques entre pays. Il faut donc veiller leur cohérence si on veut promouvoir une croissance plus économe en ressources non renouvelables.

De manière plus précise, cet article décrira d'abord le périmètre de l'innovation environnementale, qui connaît effectivement à l'heure actuelle un essor considérable, pour ensuite en détailler les effets macroéconomiques, et poser la question de l'impact environnemental global de l'innovation. On étudiera ensuite les différents canaux de transmission de cette innovation, qui repose sur le changement technique mais aussi sur des attitudes, usages et comportements. Un examen des différents outils mobilisés par les politiques publiques pour promouvoir l'innovation environnementale sera ensuite réalisé. On verra que si la mise en

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

cohérence de ces outils est difficile à mettre en œuvre, elle doit être considérée comme un objectif nécessaire à l'émergence d'une véritable croissance verte.

1. L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE EST EN MARCHE…

Dans le domaine de l'innovation environnementale, une première ambiguïté provient de la définition de son périmètre, dont le champ peut être très étroit si on la cantonne aux seules éco-industries, ou qui s'élargit considérablement si on considère les effets environnementaux de l'ensemble des innovations.
Le domaine des éco-industries, selon la classification établie par le rapport MEI de l'OCDE sur la mesure de l'innovation environnementale (Kemp et Pearson, 2008), porte sur un domaine restreint de technologies, qui va des technologies de contrôle de la pollution aux énergies renouvelables en passant par les technologies de gestion des eaux et de recyclage. Si on restreint le champ d'analyse à ces seules industries, la contribution des technologies environnementales à l'innovation est très faible : en termes de dépôts de brevet, 2,15 % des brevets déposés à l'organisation internationale des brevets l'étaient dans le domaine des technologies environnementales, avec une domination du Japon, qui produit à lui seul 35 % de ces brevets, contre 15 % pour les Etats-Unis (figure 1). En ramenant ces dépôts au total des dépôts de brevet, on obtient un indicateur d'avantage technologique relatif, où la Chine, la France, le Canada et l'Allemagne prennent les premières places, contrairement aux Etats-Unis, qui sont en retrait dans ce classement.

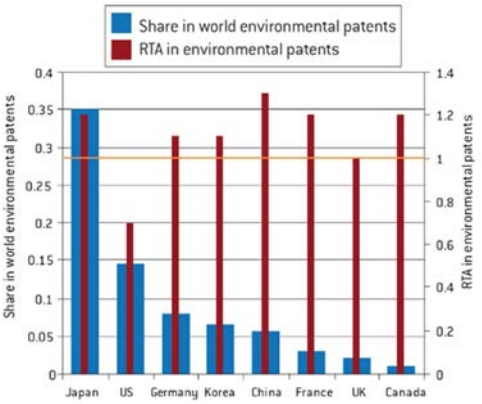
© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Table 1: Environmental technology patenting

	Share of technology 2003-05	Av. annual growth rate 1995-2005
All tech	100%	12.1%
Renewables	0.42%	15.8%
Auto-pollution control	0.85%	12.9%
Fuel cells	0.6%	24.6%
Nuclear	0.45%	5.8%
ICT	36%	15.5%
Nanotech	1.1%	18%
Biotech	5.8%	5.5%

Source: On basis of OECD, Compendium of Patent Statistics, 2008. Note: Renewables: wind (28.8 percent), solar (29.2 percent), geothermal (28 percent), ocean (7.6 percent), biomass (4.8 percent), waste (26.7 percent).

Figure 1: Countries' share of and specialisation in environmental patents



Source: WIPO 2009, Patent Cooperation Treaty applications relating to environmental technologies (2001-2005 average). Note: RTA is share of the country in world environmental patents relative to the share of the country in total world patents; RTA > 1 measures specialisation in environmental patents.

Source: Gabion, Veugelers, Serre (2009), Cold start for the green innovation machine, Bruegel Policy Contribution, n° 12, novembre 2009, disponible sur : www.bruegel.org/publications/show.html

Il faut toutefois noter que des efforts récents et considérables ont été réalisés dans la R&D tournée vers les technologies environnementales, principalement sous l'impulsion des dépenses gouvernementales. Sur les figures 2.1 et 2.2, on observe un accroissement considérable de ces budgets, qui sont passés de 3 Milliards de dollars au début des années 2000 à 8 Milliards en 2009 pour l'ensemble des pays membres de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

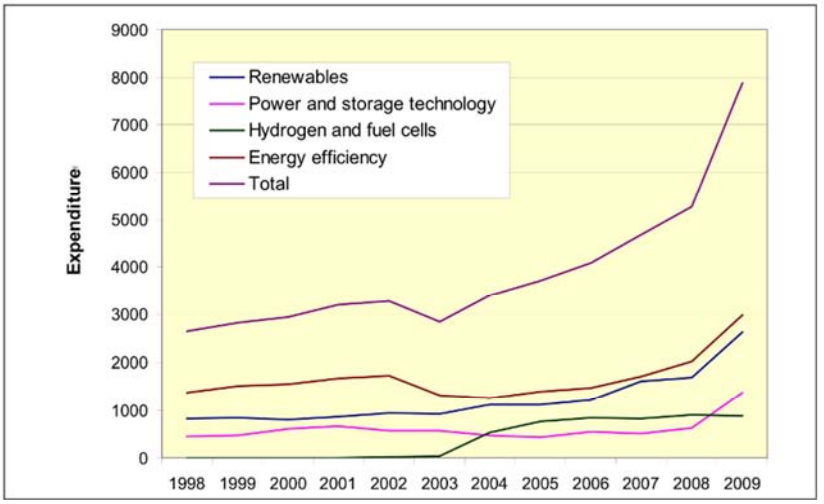


Figure 2.1 **Total IEA Government expenditures on relevant energy technology R&D** (million 2009 USD PPP)

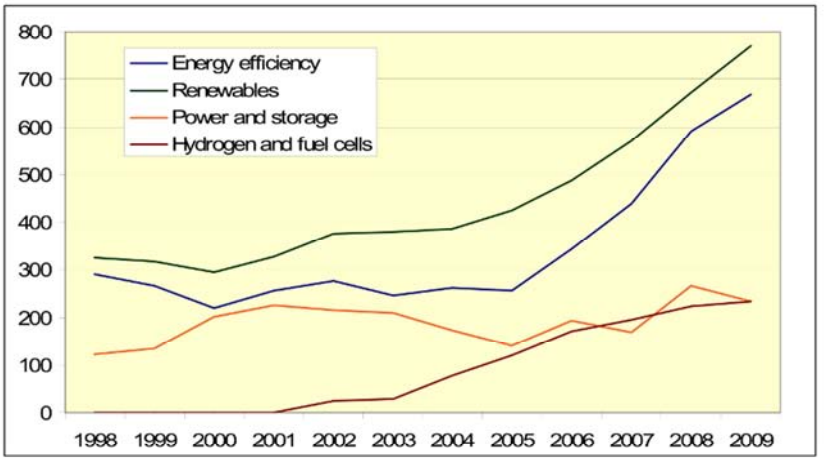
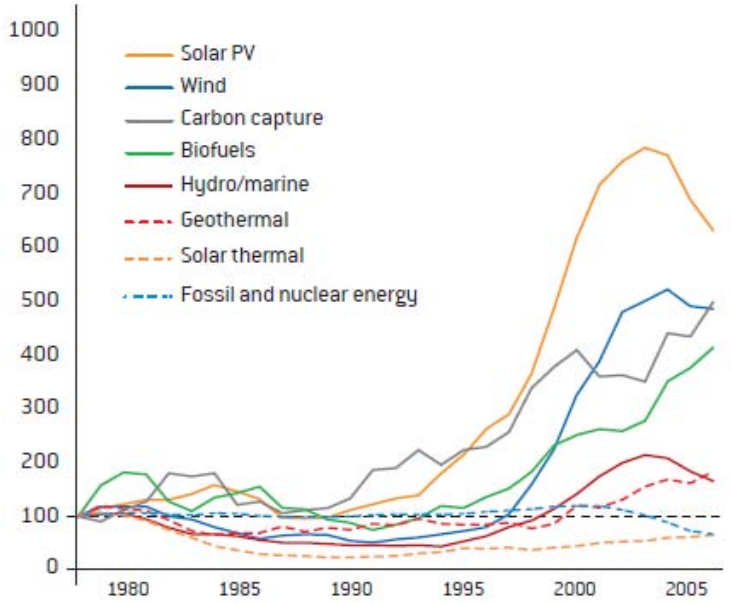


Figure 2.2 **Total European Government expenditures on relevant energy technology R&D (million 2009 USD PPP).**
Source: IEA, 2010

La même tendance est observée dans le domaine des brevets concernant les énergies propres (ou vertes), qui ont connu une croissance impressionnante sur les dernières années après une stagnation durant le début des années 90. Le pays dominant dans ce domaine reste le Japon (avec 29,7 % de ces brevets), suivi par les Etats-Unis (15,9 %) et l'Allemagne (15,2 %).

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Figure 1 :
Brevet Energies renouvelables, 1980-2005



Source : sur la base du rapport UNEP/EPO/ICTSD, 2010, Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy, in R. Veugelers, Activating the clean Innovation Machine, KUL Paper, 2012.

Comme on l'a dit précédemment, l'innovation environnementale ne peut pas être cantonnée aux seules éco-industries, elle concerne aussi l'ensemble des autres secteurs, dès lors qu'elles développent des innovations destinées à réduire impact sur l'environnement. Par exemple des secteurs comme ceux de l'automobile ou de l'aéronautique, qui sont parmi les plus gros investisseurs en recherche développement, consacrent une part non négligeable de ces budgets à l'amélioration de l'efficacité énergétique de leurs produits.
De ce fait, la réflexion engagée dès la fin des années 90 a abouti à une définition plus large de l'innovation environnementale qui est tournée vers le résultat de l'innovation plutôt que par la seule production d'éco-produits. Selon la définition proposée par A. Kemp et R. Pearson dans le rapport « Measuring Environmental Innovation » (MEI) de l'OCDE: « L'éco-innovation est la production, l'assimilation ou l'exploitation d'un produit, d'un procédé de production, d'un service, ou d'un outil managérial qui est nouveau pour l'organisation qui le développe ou l'adopte, et qui conduit, tout au long de son cycle de vie, à la réduction des risques environnementaux, de la pollution, et des autres impacts négatifs de l'utilisation de ressources (y compris de l'énergie) comparativement à d'autres alternatives pertinentes » (rapport MEI, OCDE, 2008). Cette définition élargie de l'innovation environnementale a ainsi été adoptée dans le cadre de l'enquête Innovation CIS-

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

VI, qui intègre maintenant un module portant sur les éco innovations. Ce module n'est pas obligatoire et n'a donc pas été appliqué par tous les pays administrant l'enquête CIS. Par exemple ce module figure dans le cadre de l'enquête CIS sur données françaises. Il comprend un ensemble de questions portant sur les innovations ayant engendré un bénéfice environnemental, par adoption ou création d'innovations, et un autre ensemble de questions recensant les différents motifs de l'innovation, portant sur les réglementations, les subventions et aides à l'innovation, la demande des consommateurs et les codes d'engagements volontaires. L'enquête CIS n'a pas encore abouti à un grand nombre d'exploitations dans ce domaine, mais les résultats obtenus sont convergents. Selon le rapport MEI, 60 % des innovations recensées sur la base néerlandaise Dynamo (Kemp et Pearson, 2007) auraient des effets environnementaux positifs. Une exploitation de l'enquête CIS-VI menée dans les provinces belges flamandes en Belgique aboutit à une proportion de 46 % d'entreprises ayant introduit une innovation environnementale au sens de l'enquête CIS (Veugelers, 2012). En tout état de cause une évolution semble en marche vers un « verdissement » de l'innovation, même si on observe des différences considérables entre pays dans le développement de cette innovation, que des exploitations de l'enquête CIS devraient révéler.

2. …MAIS AVEC DES EFFETS MACROECONOMIQUES AMBIGUS

Si les travaux sur l'innovation environnementale aboutissent à démontrer clairement une évolution vers des technologies plus respectueuses de l'environnement, il faut s'interroger sur leur effet global sur l'environnement.

Tout d'abord, améliorer l'efficacité du système productif dans l'utilisation de ses ressources n'aboutit pas toujours à réduire leur demande. C'est « l'effet rebond », qui a été observé de longue date dans un grand nombre de domaines, en particulier celui de l'efficacité énergétique : on a constaté en effet que l'augmentation de l'efficacité énergétique, depuis le premier choc pétrolier, n'avait pas entrainé de baisse de la consommation énergétique mais au contraire son augmentation. Dans le cas des Etats-Unis, alors que l'efficacité énergétique a doublé, la consommation d'énergie a augmenté de 37 % de 1974 à 2007 (figure 2). L'Europe s'est avérée plus vertueuse de ce point de vue, sans pour autant parvenir à infléchir significativement sa consommation d'énergie. Ce phénomène s'explique par la rétroaction des gains d'efficience sur la croissance économique : en allégeant la contrainte pesant sur la croissance, l'innovation engendre des gains de productivité et donc une croissance accrue, qui entraine à nouveau un accroissement de la demande énergétique. Fait aggravant, l'effet rebond concerne d'autres sources de pression sur l'environnement, et vient remettre en question la possibilité d'un « découplage », qui est à la base de toutes les réflexions portant sur la lutte contre le réchauffement climatique (cf. encadré).

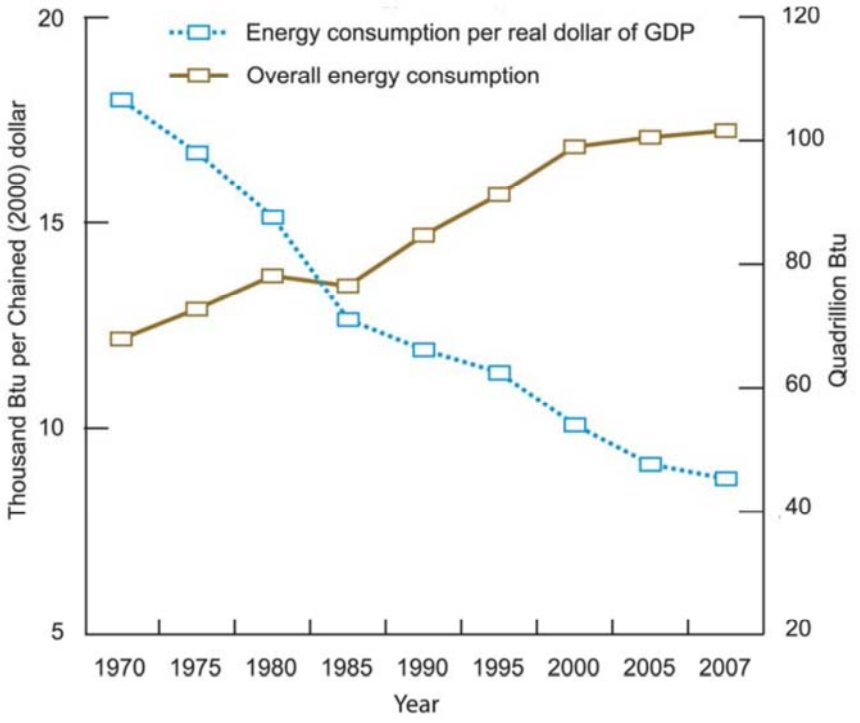
Si on revient au domaine de l'énergie, une des conséquences de l'effet rebond est de consacrer la prééminence des énergies fossiles dans la demande d'énergie mondiale : depuis les chocs pétroliers, et jusque dans les prévisions énergétiques de l'AIE à l'horizon 2050, on considère que le mix énergétique mondial comportera une part importante de combustibles fossiles, principalement par l'accès que vont

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

avoir une population croissante des pays émergents aux standards de vie des pays les plus avancés. Et de ce fait, les progrès qui pourront être apportés dans leur utilisation, que ce soit en termes d'amélioration de leur efficacité énergétique ou en termes de baisse de leurs rejets, auront pour effet de prolonger leur utilisation. De ce point de vue le passage à une croissance verte dans les pays riches aura pour effet de permettre aux pays les plus pauvres d'accéder à une croissance utilisant des énergies fossiles.

Figure 2 :

Consommation Totale d'Energie et Consommation d'Energie par Unité de PIB aux USA, 1970-2007. Source: E. Von Weizsacker, Factor Five, Rapport au Club de Rome, 2009



Ensuite, insister sur l'innovation environnementale ne doit pas faire oublier que l'innovation a longtemps été… non environnementale, et le reste pour une grande part : les innovations ayant abouti au développement de l'agriculture, de l'industrie et maintenant des services se sont longtemps peu préoccupées de la préservation de l'environnement, qui reste un souci récent. L'exemple le plus parlant est celui des NTIC, qui sont au cœur du processus de croissance contemporain et des politiques d'innovation. La production d'un ordinateur, d'un téléphone portable ou d'une tablette nécessite des volumes considérables d'énergie, d'eau et de matières premières : ainsi on ne retrouve que 2 % des flux de matière nécessaires à la production et à l'usage des produits de l'ensemble des NTIC dans les produits

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

finaux (Hilty et Ruddy, 2003). Leur production a donc un impact environnemental considérable, qui est aggravé par les pratiques d'obsolescence programmée.

« Effet Rebond » ou « Découplage » ?

L'« effet rebond » a été observé pour la première fois à l'issue des deux premiers chocs pétroliers, et a fait l'objet de multiples observations dans d'autres domaines (Sorrell, 2007, Von Weizsacker, 2009). Par exemple l'amélioration de la gestion de l'eau dans les aires arides aux USA a abouti à une densification de l'habitat, et donc au final à un accroissement de la demande d'eau. De même l'amélioration des systèmes de chauffage, de climatisation et d'éclairage a entrainé l'intensification de leur utilisation. En un sens l'effet rebond concerne tous les produits et activités dès lors que l'augmentation de leur efficience entraîne celle de leur utilisation. Il a été présent à toutes les étapes du développement de l'humanité, qu'on songe à l'apparition de l'agriculture qui a permis à la population humaine de s'affranchir des contraintes liées à un mode de vie de chasseurs-cueilleurs, pour parvenir finalement à une explosion démographique pouvant aboutir à des situations de pénurie alimentaire...

Dans le domaine de l'environnement, la persistance d'effets rebond pose la question de la soutenabilité de la croissance, et des moyens disponibles pour infléchir les comportements vers une moindre pression environnementale. Car reconnaître son caractère inéluctable revient à considérer que le seul moyen de limiter les atteintes à l'environnement est de limiter la croissance. C'est la thèse des défenseurs de la décroissance qui ont trouvé un écho récent dans l'ouvrage de Tim Jackson, *Prospérité sans croissance* (2010), issu d'un rapport pour la Commission britannique pour le Développement Durable. Cet ouvrage présente un ensemble d'arguments favorables à l'impossibilité du découplage croissance/pression sur l'environnement. En effet pour permettre la poursuite de la croissance au niveau planétaire, un tel découplage doit être *absolu*, et non relatif, (il doit réduire les rejets de manière absolue et non en proportion du PIB) et *net* plutôt que brut - il doit tenir compte non seulement de la production réalisée sur le sol des pays industrialisés, mais aussi des importations en provenance de pays en développement.

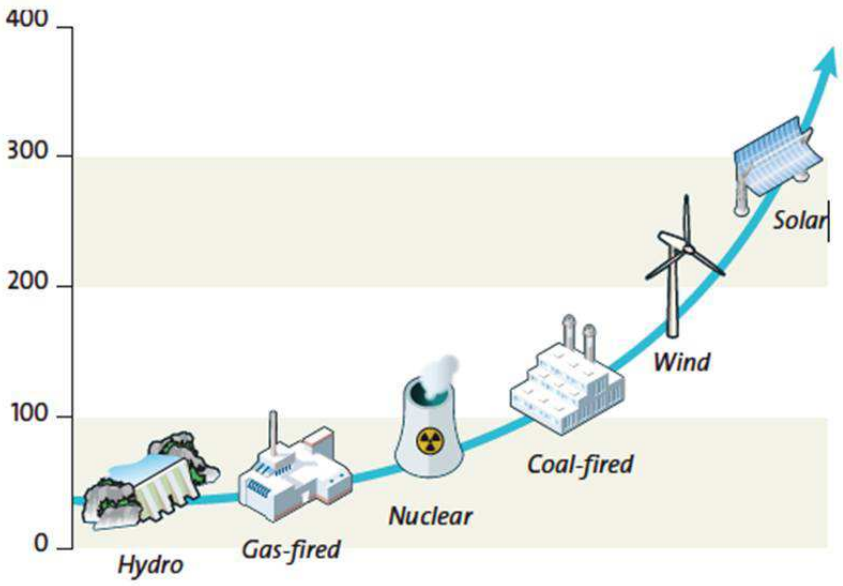
Pourtant, un certain nombre d'évolutions récentes viennent accréditer la possibilité d'un découplage, ou plutôt de découplages (Laurent, 2011), comme on l'observe en Europe sur certaines pollutions – et même si une partie de cette diminution des rejets provient de la délocalisation des industries les plus polluantes dans les pays en développement. Un tel découplage nécessite une inflexion des comportements et des attitudes, qui ne pourra se réaliser qu'en présence de politiques publiques temporellement cohérentes et d'une adhésion collective forte. Si l'effet rebond n'est pas une fatalité, il faut en effet créer des schémas incitatifs poussant les agents économiques à réinvestir les gains réalisés grâce à la meilleure utilisation des énergies fossiles dans des énergies renouvelables, plutôt qu'à accroître leur utilisation… ce que pourront peut-être faire les pays industrialisés, et sans doute moins facilement les pays en développement. Autrement dit aller au travail à bicyclette, même si nous pouvons nous permettre de prendre notre voiture tous les matins.

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Dans ce domaine l'innovation aboutit selon l'expression de L. Soete (2012), et de L. Calvano (2007), à un phénomène de « création destructrice » : le but de l'innovation est moins de proposer des produits performants que de rendre obsolètes les produits existants, afin de recréer un pouvoir de monopole, jusqu'à l'apparition de nouveaux produits les déclassant tout aussi vite. Ces pratiques d'obsolescence programmée ont tendance à s'étendre et se généraliser dans les NTIC, où l'imagination des ingénieurs et des commerciaux s'est révélée particulièrement féconde, qu'on pense à notre consommation de téléphone, smartphones, tablettes et autres ordinateurs, dont la durée va de 18 mois à 5 ans, dans le meilleur des cas. Ces pratiques aboutissent à une pression accrue sur les ressources, comme on a pu le constater sur le marché des terres rares dont sont friands ces produits. Fait aggravant, ces multiples produits engendrent une augmentation de la consommation d'énergie lors de leur utilisation, qui dépasse celle qui a été nécessaire à leur production. La consommation électrique liée aux NTIC n'a cessé de croître, qu'elle provienne des terminaux ou du fonctionnement des réseaux et des serveurs, en croissance exponentielle. En France cette part des TIC dans la consommation électrique totale est de 13,5 %, et elle ne cesse de croître. De ce point de vue le poids croissant du secteur des NTIC dans le PIB n'est pas une bonne nouvelle pour la planète, et cela d'autant plus qu'elle va se transmettre aux pays en voie de développement, qui sont en train de connaître un « digital provide »… alimenté en grande partie par une électricité produite à partir d'énergies fossiles. Incidemment, un paradoxe supplémentaire dans ce domaine provient des technologies les plus avancées de production d'énergie renouvelable, qui utilisent massivement des métaux rares et dont l'intensité en acier par Mégawatt est très élevée.

Figure 3 :

Intensité en Acier pour les différentes technologies de production d'énergie en tonnes d'acier par Mégawatt. Source : Rio Tinto, in H.F. Wellmer, Sustainable Development and Mineral Resources, Geosciences, BRGM, n°15, juin 2012.



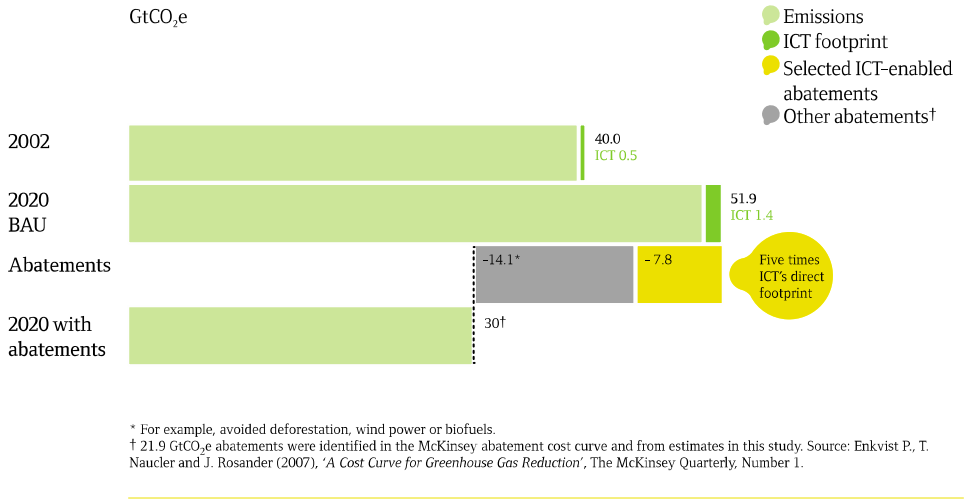
© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Comme pour le cas de l'effet rebond, il n'y a bien sûr pas de fatalité dans cette évolution. L'innovation environnementale concerne aussi les TIC, qui peuvent devenir vertes soit en réduisant leurs émissions en fin de processus, soit en le faisant tout au long du cycle de vie du produit, en recourant à l'éco-conception. Il ne faut oublier non plus que les NTIC sont parties prenantes d'un grand nombre d'innovations environnementales, notamment par le développement de systèmes intelligents de pilotage (Smart Grid), qu'ils concernent les réseaux électriques, les réseaux de transport ou l'organisation urbaine (Faucheux et alii, 2010). Selon le rapport Smart 2020 du Climate Group du Global e-Sustainability Initiative (GeSI), les TIC pourraient ainsi contribuer dans un scénario volontariste à la lutte contre l'effet de serre en engendrant des réductions des émissions de gaz à effet de serre substantielles compensant largement leurs émissions. Ce « verdissement » de la production et de l'utilisation des TIC aboutirait ainsi à une réduction d'émissions cinq fois supérieure aux émissions liées à ces techniques, par rapport à un scénario « Business as Usual ».

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Figure 4 :

L'impact des TIC : empreinte écologique globale et potentiel de réduction des émissions de CO_2



Source : SMART 2020 : Enabling the low carbon economy in the information age, the Climate Group, Global e-Sustainability Group, GESI, 2008.

3. QUELS CANAUX DE TRANSMISSION POUR L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE, DANS QUEL DELAI ?

On voit bien que la transition vers une économie décarbonée et la croissance verte ne va pas de soi et ne pourra pas se réaliser par la seule vertu du développement de l'innovation environnementale. La possibilité de découplage et la limitation des effets rebond reposent en effet sur des changements de comportements et d'attitudes qui peuvent être suscités par des signaux-prix, ou par une prise de conscience forte, alors qu'à l'inverse les innovations techniques peuvent aboutir à la perpétuation d'un modèle à forte pression environnementale.

Une typologie de l'innovation environnementale qui a été développée par Abernathy et Clarke (1985) et Dijk (2010), et reprise par Arrundel et alii dans le rapport Inno Grips 2011 donne un éclairage particulier sur ce point. Selon cette typologie, l'innovation environnementale prend en compte deux dimensions : tout d'abord, une dimension correspondant aux changements des usages et pratiques marchandes et institutionnelles, qui peuvent être préservés, ou au contraire bouleversés par le changement technique et les changements de préférence. Cette dimension recoupe l'aspect « tiré par la demande » des innovations environnementales ; ensuite, une dimension liée au degré du changement technique: selon qu'il est mineur ou majeur, une innovation entrainera des changements mineurs, ou majeurs dans les connaissances technologiques et les

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

compétences. On retrouve ici l'aspect « poussé par la technologie » de ces innovations.
L'interaction entre ces deux dimensions permet de définir quatre types d'innovations environnementales, en innovations incrémentales, sociales, techno-fixes et transformatrices. Plus précisément :

- -**les innovations incrémentales** apparaissent lorsqu'elles apportent une amélioration à une technologie existante, sans changer les usages et pratiques institutionnelles. C'est le cas par exemple des véhicules hybrides, des maisons passives ou des centrales à énergie solaire.
- -**les innovations sociales** portent sur un changement de pratiques associées à une amélioration technique mineure. C'est le cas du co-voiturage, du déplacement en vélo électrique ou en libre disposition (type Velib').
- **les innovations techno-fixes** concernent des changements techniques radicaux qui préservent les pratiques existantes, comme la propulsion des véhicules par hydrogène ou par biocarburants, la Capture et de Stockage du Carbone, ou les technologies d'extraction des gaz de schiste.
- enfin **les innovations transformatrices** correspondent à la mise en œuvre de nouveaux systèmes technologiques, qui se manifestent par un changement radical de techniques et de pratiques, comme le passage à un système complet de transport électrique, ou au développement des réseaux électriques intelligents (smart grid). Ces innovations nécessitent une reconfiguration complète des réseaux et une remise en question des pratiques et modes de vie.

Tableau 1 :
Une typologie des Innovations Environnementales

User, market & institutional practices		
Disrupt existing practices	**Social innovation** - Organised car-sharing - Integrated transit - Planning changes	**Transformative innovation** - Electrical transport system - Renewable-electric power supply
Sustain existing practices	**Incremental innovation** - improved windmills - Hybrid vehicles - Low energy appliances - Passive housing - Concentrating solar power	**Techno-fixes** - Carbon capture & storage - Hydrogen cars - Biofuels - Geothermal power
	Minor	Major

Change in technological knowledge & competences

Source : Arundel, Kanerva et Kemp (2011), p.89

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Il est clair que la transition énergétique contemporaine peut prendre ces quatre formes, selon une gradation dépendant des intérêts des différents protagonistes des systèmes énergétiques. Ainsi certains attendent du progrès technique qu'il permette de préserver les modes de vie actuels, au risque d'aboutir à un « effet rebond » dans l'utilisation des énergies fossiles. Les innovations apportées dans l'exploitation des gaz de schistes aux Etats-Unis sont un exemple parlant et édifiant de ce risque. A l'inverse d'autres estiment qu'un changement radical des pratiques et modes de vie pourrait suffire à réaliser ces transitions énergétiques, ce qui semble tout à fait irréaliste en l'absence d'innovations techniques.
Si on peut estimer que toutes les options technologiques présentées sur le tableau précédent peuvent être mobilisées pour aboutir à une croissance verte, il faut aussi tenir compte des délais de mise en œuvre des technologies environnementales, qui sont très variables. Le tableau suivant donne une estimation des années à partir desquelles les technologies utilisant des ressources renouvelables (solaire, éolien, algues) devraient parvenir à être compétitives avec la production d'électricité à partir de charbon : on y voit que, si certaines technologies sont d'ores et déjà compétitives, pour d'autres cette période est plus éloignée, allant jusque 2025-30, voire inconnue comme dans le cas de la capture et du stockage du CO_2, ce qui signifie que pour ces techniques un support public sera nécessaire pendant encore longtemps.

Table 2.1 Year to reach competitiveness with coal electrical generation

Energy type	Description	Year
Solar	CSP (concentrating solar power)	2015 – 2030, depending on region
Solar	Photovoltaic panels	2015 – 2020 in sunniest regions, 2035 in intermediate zones
Wind	Inshore	2010 (already competitive in best sites)
Wind	Offshore	Up to 2025, depending on location
Biodiesel (algae)	Using CO_2 stream from coal-fired electrical plants	2020 – 2025
CCS	Carbon capture and storage	?

Source: Kovacevic and Wesseler, 2010; Balagopal et al, 2010, Ummel and Wheeler, 2008

Source : Arundel, Kanerva et Kemp (2011), pp.19-20.

4. QUEL INSTRUMENT DE POLITIQUE PUBLIQUE ET A QUEL PRIX ?

La dernière question que pose l'innovation environnementale est relative aux instruments qui sont utilisés pour l'encourager. L'innovation environnementale a en effet peu de chances d'apparaître du seul fait du fonctionnement spontané des marchés. Elle permet de corriger une externalité négative, et d'en créer une positive, qui profitera à l'ensemble de la population. De ce fait elle a vu le jour sous la contrainte d'interventions publiques, qu'elles prennent la forme de réglementations, taxations ou subventions. Cette intervention publique joue sur deux tableaux : elle vient corriger l'externalité environnementale et encourager l'innovation pour augmenter les externalités de connaissance (Pop et alii, 2009). Par exemple l'évolution spontanée des marchés a pu certes aboutir au renchérissement du prix de l'énergie, qui expliquerait pour un quart à la moitié des

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

gains d'efficacité énergétique (Newell et alii,1999, Gillingham et alii, 2009), mais l'action des pouvoirs publics a été déterminante, dans le sens où les différences de taxation et de réglementation ont abouti à de grandes disparités dans l'efficience énergétique.

De manière plus précise, les instruments utilisés pour promouvoir l'innovation environnementale sont très différents selon qu'il s'agit de promouvoir directement des nouvelles technologies ou de susciter de nouvelles demandes pour des technologies à faible émission. Dans le premier cas les politiques de soutien à la R&D par des subventions à l'investissement et à des fonds de capital investissement sont privilégiées, dans le second il faut recourir à des signaux-prix via des politiques globales de taxation, ou par la mise en œuvre de systèmes de droit à polluer. Ces deux aspects de l'innovation sont évidemment complémentaires et auto-renforçants : les nouvelles technologies environnementales ne peuvent se développer que si des mesures appropriées permettent de solvabiliser leur demande, tandis que certaines nouvelles demandes ne peuvent être satisfaites que par l'apparition de technologies appropriées. En utilisant un modèle de croissance endogène, Acemoglu et alii (2012) (pour une présentation pédagogique voir Aghion et alii (2009)) ont ainsi pu démontrer que la trajectoire d'une économie pouvait être infléchie vers des technologies « propres » sans réduire sa croissance à condition d'adopter une taxation carbone modérée et une subvention forte à la R&D. La limite de ce type de modèles est relative au caractère ad hoc de leur structure et de leurs résultats qui dépendent souvent des valeurs de paramètres qui sont considérées comme compatibles avec celles qui sont utilisées sur des modèles plus appliqués (Hourcade et alii, 2011).

Une autre dimension doit être aussi prise en compte, qui est relative au champ de ces politiques environnementales : elles peuvent être globales et génériques, ou se focaliser sur des technologies spécifiques, avec dans le premier cas un risque de saupoudrage des mesures d'appui à l'innovation, et dans le second celui d'un ciblage trop fort, à l'efficacité globale limitée. Le tableau suivant, proposé par Lazarus et Kartha (2009), récapitule les différentes mesures de politique environnementale en fonction de ces deux aspects, et de leur caractère global ou spécifique

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Tableau 2 :

Les instruments des politiques environnementales en fonction des stratégies d'innovation et de leur cible.

	Poussé par la technologie (Technology Push)	Tiré par la Demande (Market pull)
Stratégies globales	Crédits d'Impôts à la R&D, ou autres incitations à la R&D Financement concurrentiel à la R&D (concours ou appel d'offres) Supports à des partenariats public-privé Stratégies de portefeuille de R&D Soutien aux Brevets/propriété intellectuelle Protocoles de transferts de technologie Soutien à l'éducation et à la formation	Taxes sur les gaz à effet de serre, systèmes de permis échangeables, normes Suppression des subventions aux activités intensives en gaz à effet de serre. Permis sectoriels d'émission de gaz à effet de serre ou réglementations sur ces émissions Critères de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre dans l'octroi de financements internationaux Programmes de réduction volontaire des émissions de Gaz à effet de serre
Stratégies spécifiques et technologies sélectives	Programmes Publics ciblés de R&D Programmes de recherche collaboratifs et soutien à la R&D privée Coopérations Technologiques et programmes de transfert Démonstrateurs technologiques Diffusion de la Connaissance	Incitations, normes, et autres mesures de soutien aux technologies à faibles émissions de gaz à effet de serre (tarification incitative, crédits d'impôt pour les énergies renouvelables ou le nucléaire, fourniture publique d'équipements efficients) Fourniture publique d'équipement efficient Normes réglementaires contraignantes (normes d'émission, normes techniques d'efficience)

Source : Lazarus et Kharta, 2009, p.13

Peu de résultats ont encore été obtenus dans l'évaluation des différentes modalités des politiques environnementales, à l'exception de l'étude récente de R. Veugelers, menée sur l'enquête CIS-VI sur les entreprises de la Flandre belge (Veugelers, 2011). Elle confirme l'importance des réglementations dans le déploiement de l'innovation environnementale, mais elle met aussi en valeur l'effet des engagements volontaires et de la demande des consommateurs, qui confirment la nécessité d'une politique crédible et temporellement cohérente si on

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

veut promouvoir l'innovation verte, ou selon le mot de son auteur, la « machine privée de l'innovation propre ». Celle-ci fonctionnera d'autant mieux que le changement technique accompagnera des changements d'attitude et de comportement de l'ensemble de la population.

La multiplicité des outils mobilisés par les politiques publiques pose enfin le problème de leur cohérence d'ensemble. Dans le rapport qu'il a rédigé pour le Conseil d'Analyse économique, Jean Tirole présente un point de vue qui est partagé par un grand nombre d'économistes (Tirole, 2009) : si différents outils sont disponibles pour limiter le réchauffement climatique, ils doivent converger sur la nécessité de parvenir à un prix unique par tonne de carbone évitée, ce prix étant calculé pour parvenir aux objectifs de réduction des émissions fixées par le GIEC. Autrement dit, ces instruments devaient viser à ce que la réduction des émissions de carbone à laquelle ils parviennent se fasse à un prix unique, ce prix étant un indicateur de la contrainte que fait peser la limitation des émissions au niveau planétaire.

Dans la réalité les résultats sont bien différents : le recours aux différents instruments des politiques environnementales aboutit à des écarts considérables par rapport à ce schéma normatif. Les réglementations tout d'abord jouent un rôle déterminant dans la promotion de l'innovation environnementale. Elles ont fait l'objet de nombreux débats, dont le plus célèbre est celui lancé par Porter et Van der Linde (1995), pour lesquels les réglementations environnementales, loin de constituer un frein à la compétitivité des firmes, doivent être considérées comme une opportunité dans le développement des entreprises et de manière générale de l'économie dans son ensemble. Ce point de vue s'oppose à celui de la majorité des économistes, pour lesquels les réglementations sont des instruments imparfaits de protection de l'environnement, essentiellement parce que leur coût n'est pas souvent pris en compte, ni connu des décideurs (Milliman et Prince, 1989, Palmer et alii, 1995). Fait plus gênant, la réglementation s'appliquant à tous les émetteurs les frappe indistinctement, quel que soit leur coût de dépollution, ce qui peut aboutir à le faire augmenter de manière considérable au niveau collectif. On lui préfère le recours à la taxation, qui laisse le choix à l'agent de dépolluer si le coût de dépollution est inférieur à la taxe, ou de la payer si elle lui est supérieure. Cette plus grande flexibilité de la taxation permet de minimiser le coût de dépollution pour la société. De plus elle fournit un indicateur précieux de ce coût : si les entreprises payent massivement la taxe cela signifie que le coût de dépollution est élevé, si elles ne la payent pas c'est qu'il est bas et que des progrès ultérieurs pourront être obtenus en relevant le niveau de la taxe.

Une autre possibilité est de déterminer directement la quantité de rejets souhaitée par la collectivité aux émetteurs et à les autoriser à échanger des droits d'émission, selon qu'ils parviennent à respecter leur quota ou qu'ils le dépassent : dans ce mécanisme de « cap and trade » le cours du droit à polluer devient un indicateur du coût de dépollution qui dépendra de la rigueur de la contrainte pesant sur les volumes d'émission. Alors que par la taxation, on fixe le prix que la collectivité attribue à une nuisance et les quantités s'en déduisent, dans celui d'un système de « cap and trade » on fixe la quantité et le prix s'en déduit. Un domaine privilégié d'étude a été celui des centrales électriques thermiques aux Etats-Unis, où a été instauré un système d'échanges de droit à polluer dans le domaine des émissions de dioxyde de soufre. Une étude qui a fait date (Joskow et alii, 2000) a ainsi pu établir que le nouveau système de cap and trade avait réduit de moitié le coût de

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

réduction des émissions par rapport à la politique de contrôle administratif qui prévalait avant son instauration. Ce résultat a été confirmé par Popp (2003), qui a pu établir que l'introduction de ce système a abouti à une augmentation du nombre de brevets déposés dans le domaine de la réduction des émissions de dioxyde de soufre. L'instauration de ce premier marché de droits à polluer a été d'autant plus facile à réaliser que la source de pollution était facile à localiser, de même que ses conséquences (principalement, des pluies acides).

Par contre dans le cas des émissions de CO_2 la mise en place d'un système d'échange est beaucoup plus problématique : elle ne concerne qu'une partie des sources d'émission, ce qui nécessite d'instaurer parallèlement une taxe carbone sur les sources d'émission diffuses, non soumises à quota d'émission (Schubert, 2009, Combet et alii 2009). Rien ne garantit que le niveau de cette taxe sera convergent avec le prix du carbone provenant du fonctionnement du marché d'échange de permis négociables, comme on peut déjà le constater au niveau de l'Union européenne. Plus généralement, la généralisation d'un tel système d'échange au niveau mondial constitue un défi redoutable : il concerne la préservation d'un bien public, le climat, qui est mondial dans le sens où il est affecté par l'ensemble des émissions anthropiques, mais dont les effets sont asymétriques dans l'espace et le temps, puisqu'il affecte les pays très différemment et à un horizon lointain et incertain. L'expérience européenne constitue un premier pas dans ce sens, mais il apparaît pour l'instant inconcevable de l'étendre au niveau mondial, tant les écarts de prix du carbone évité sont élevés et viendraient en saper rapidement le fonctionnement.

Il faut noter que si l'existence de distorsions dans le prix du carbone évité est inévitable dès lors qu'on met en œuvre des instruments multiples ; la recherche de son unicité doit être considérée comme un objectif vers lequel il faudrait tendre. Il est aussi peu probable que des distorsions trop fortes puissent subsister à long terme. En effet le coût de mesures soutenant des innovations à des prix du carbone évité trop élevés pourrait s'avérer insoutenable à long terme pour les budgets publics, comme par exemple la réduction des politiques de soutien aux énergies photovoltaïques l'a prouvé récemment. L'innovation environnementale pourra donc s'affranchir d'autant plus du soutien public que ces distorsions seront limitées et qu'elles s'atténueront avec le temps.

CONCLUSION

Le « verdissement » de la croissance, c'est-à-dire le découplage de la croissance économique et de la pression environnementale, ne peut pas reposer sur la seule innovation environnementale. Pour infléchir les mécanismes du marché vers une économie « décarbonée », il est nécessaire d'émettre des signaux-prix allant dans ce sens, et d'agir sur les comportements vers des pratiques plus économes en ressources non renouvelables. Il faut notamment veiller à ce que les gains réalisés grâce à l'amélioration de l'efficacité des ressources non-renouvelables n'aboutissent pas à l'intensification de leur utilisation. Si une telle politique doit mobiliser tous les outils disponibles, il faut veiller à leur cohérence d'ensemble, qui passe par une certaine homogénéisation dans le prix de carbone évité associé à telle ou telle mesure. Un tel objectif peut sembler difficile à mettre en œuvre, comme cet article a tendu à le démontrer, mais il doit rester constamment présent à l'esprit. Il reste aussi nécessaire de parvenir à définir des politiques nationales et

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

internationales cohérentes, aboutissant à des engagements fermes et crédibles et se traduisant par des schémas réglementaires stables. C'est à ces conditions que pourront se déployer des véritables systèmes techniques d'innovation tournés vers une économie plus neutre en carbone.

BIBLIOGRAPHIE

Abernathy WJ et Clark K.B. (1985), "Innovation. Mapping the wind of creative destruction", *Research Policy*, 14(1), 3-22.

Acemoglu, Aghion, Burstyn, Hemous, (2012), "The environment and directed technological change", *American Economic Review*, 102(1), February, pp. 131-66.

Aghion, Veugelers, Serre, (2009), "Cold start for the green innovation machine", *Bruegel Policy Contribution*, n°12, Novembre 2009.

Arrundel A., Kanerva M., Kemp R. (2011), "Integrated Innovation Policy for an integrated Problem: Addressing Climate Change, Resource Scarcity and Demographic Change to 2030", *Pro Inno Group Report, Brussels European CommIssion, Bruxelles, DG Entreprise and Industry.* Mars 2011.

Calvano E. (2007), "Destructive Creation", SSE/EFI *Working Papers Series in Economic and Finance* n°653, décembre 2007.

Combet, Ghersi E., Hourcade JC, Thubin C., (2009), « Economie d'une fiscalité carbone en France », *Étude du Cired réalisée avec le soutien de l'ADEME et de la CFDT-IRES - publication IRES* - Novembre 2009.

Dijk M. (2010), "Innovation in Car mobility, - coevolution of demand and supply under sustainability pressures", *Maastricht, Maastricht University Press*.

Faucheux S., Hue C. et Nicolaï I. (2010), *TIC et développement durable*, Bruxelles, de Boeck, 2010.

Hourcade JC, Pottier A. and Espagne E. (2011), "The environment and Directed technical change: a Comment", *CIRED Working Paper*, November 2011.

Gillingham K., Newell R. et Palmer K. (2009), "Energy Efficiency and Policy", *Washington, Resource for the Future, Discussion Paper* RFF 09-13, Avril 2009.

Jaffe A.B et Stavins R.N (1994), "The energy paradox and the diffusion of conservation technology", *Resource and Energy Economics*, 16, pp. 91-122.

Jackson T, Robinson M. Viveret P. (2010), *Prospérité sans croissance- la transition vers une économie durable*, Bruxelles, De Boeck, La Planète en jeu, disponible sur http://www.sd-commission.org.uk/publications.php-311.

Joskow, P., Schmalensee, R., Ellerman, A.D., Montero, J.P. et E. Bailey (2000), "Markets for Clean Air: the US Acid Rain program", *Cambridge University Press*.

Kemp R. et Pearson P. (2007): "Final report MEI project about measuring eco-innovation", *FP6 project No. 044513, Measuring eco-innovation (MEI), http://www.oecd.org/dataoecd/54/19/43960830.pdf.*

Laurent E. (2011), « Faut-il décourager le découplage ? », *Revue de l'OFCE*, *Débats et Politique*, 120 (2011).

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)

Lazarus M et Kartha S. (2009), "Linking technology development with emissions commitments Exploring metrics for effort and outcome", *Stockholm Environment Institute Working paper*, WP-US-0909.

Milliman S. et Prince R. (1989), "Firm incentives to promote technological change in pollution control", *Journal of Environmental Economics and Management*, 17, p. 247-65.

Newell, R. Jaffe A., Stavins R (1999), "The induced innovation hypothesis and energy saving technological change"*, The Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-975.

Palmer K., Oates W., Portney P. (1995), "Tightening environmental standards: the benefit-cost or the no-cost paradigm?", *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), p. 119-132.

Popp (2003), "Pollution Control Innovation and the Clean Air Act of 1990", *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol 22, N°4, pp. 641-660.

Popp D., Newell R. et Jaffe A. (2009), "Energy, the environment and technological change", *NBER Working paper*, N°14832, avril 2009.

Schubert K., Pour la taxe Carbone, la politique économique face à la menace climatique, CEPREMAP, Paris, Editions de la Rue d'Ulm, 2009.

Soete L. (2012), "Maastricht Reflections on Innovation", *Working Paper Series, UNU-MERIT*, 2012-001.

Sorrell S. (2007), "The rebound effect : an assessment of the evidence for economic-wide energy savings from improved energy efficiency", *Report to the Sussex Energy Group for the Technology and Policy assessment function of the UK Energy Research Center*, octobre 2007.

The Climate Group, (2008), "SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age", *the Climate Group, Global e-Sustainability Group, GeSI*.

Tirole J, « Politique Climatique : une nouvelle architecture internationale », *Rapport CAE,* Octobre 2009.

Veugeleurs R. (2011), "Activating the private clean innovation machine", *KUL Paper, KUL Leuven.*

Wellmer H.F., "Sustainable Development and Mineral Resources", *Geosciences, BRGM*, n°15, Juin 2012, p. 8-15.

Von Weizacker E., Hargroves K. C., Smith M.H.(2009), "Factor Five, Transforming the Global Economy through 80% Improvements in Resource Productivity, *Rapport au Club de Rome, Londres, Earthsca*.

© ANDESE | Téléchargé le 27/02/2022 sur www.cairn.info (IP: 207.241.231.108)