

Pour une approche systémique de l'innovation « environnementale »

Towards a Systematic Approach to "Environmental" Innovation

Romain Debref



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/6408>

DOI : 10.4000/rei.6408

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 septembre 2016

Pagination : 71-98

ISBN : 9782807390577

ISSN : 0154-3229


Référence électronique

Romain Debref, « Pour une approche systémique de l'innovation « environnementale » », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 155 | 3e trimestre 2016, mis en ligne le 15 septembre 2018, consulté le 02 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/6408> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.6408>

POUR UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE DE L'INNOVATION « ENVIRONNEMENTALE »

Romain Debref, Université de Reims Champagne-Ardenne,
REGARDS (EA 6292)^{1,2}

 **Mots-clés :** Innovation environnementale, systémique, end-of-pipe, technologie propre, effets rebonds, économie écologique, éco-efficacité.

 **Keywords:** Environmental Innovation, Systemic, Sustainable Development, Ecological Industry, End-of-Pipe Technologies, Clean Technologies, Rebound Effect, Eco-Efficiency.

INTRODUCTION

Depuis les années 1990, la question environnementale est devenue un sujet de préoccupation majeur, au point d'influencer les stratégies d'innovation des entreprises ainsi que les politiques industrielles nationales (Godard, 1993). Ces influences n'ont pas été ignorées par la théorie économique puisque les relations entre les technologies de production et l'environnement sont devenues un objet de réflexion académique pour contribuer à un développement soutenable. Le challenge pour la théorie n'est pas seulement descriptif, il est aussi normatif, car le rôle du scientifique est d'éclairer les agents économiques qui seraient amenés à intégrer le thème environnemental et la responsabilité sociale des entreprises dans leurs projets (Rubinstein, 2006).

1 romain.debref@univ-reims.fr

2 Je tiens à remercier Franck-Dominique Vivien, Martino Nieddu, l'équipe du laboratoire REGARDS (EA 6292) et mes évaluateurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions.

Ces innovations, nommées plus communément innovations environnementales, se retrouvent aussi dans la réalité, comme en témoigne, par exemple, le secteur de la chimie qui s'oriente vers une chimie doublement verte et vers la filière du bois (Nieddu *et al.*, 2010 ; Bélis-Bergouignan *et al.*, 2012). L'école hollandaise du management de la transition nous enseigne justement que le succès de ces transformations provient d'un ensemble d'outils, à l'image des *feuilles de route* technologiques, permettant d'orienter collectivement le paysage sociotechnique actuel en vue d'atteindre un autre plus soutenable. Cela ne peut avoir lieu sans la présence de dispositifs institutionnels permettant de protéger et d'accompagner des innovations environnementales allant de la « niche » à un stade de maturité (Geels, 2011). Nous estimons que ces initiatives considérant l'innovation environnementale comme une « solution miracle » ne peuvent avoir de véritables crédits et de sens, si l'on ne réfléchit pas directement à sa pertinence.

Depuis près de deux décennies, la définition des innovations environnementales alimente la littérature économique (Kemp et Arundel 1998 ; Markusson et Olofdotter, 2001 ; Rennings, 2000, Van den Berg *et al.*, 2011). Elle est devenue au cours du temps un concept suffisamment stabilisé pour nourrir des études empiriques et des réflexions stratégiques visant à opérationnaliser le développement soutenable. Cependant, certains auteurs ont récemment décidé de revenir sur cet objet d'étude. C'est, par exemple, le cas de René Kemp qui soutient l'idée que les technologies à caractère « soutenable » n'existent pas *in situ* du fait d'effets systémiques (Kemp, 2010, p. 2). D'autres travaux vont dans le même sens. En l'occurrence, en comparant théorie et empirie concernant le secteur de la chimie verte, nous avons pu pointer un certain nombre de défaillances et de paradoxes dans le cadre d'une analyse multiniveaux (Debref, 2012). Nous avons ainsi pu mettre en évidence que le processus d'innovation environnementale permettait avant tout aux industriels de résister aux pressions environnementales et se maintenir. Ce positionnement, en marge de la pensée dominante, reflète particulièrement bien le contexte dans lequel la Conférence Rio +20 s'est déroulée. En faisant un état des lieux de cet événement, Damian et Vivien (2012) arrivent à la conclusion que les industriels ont aujourd'hui la main en matière d'opérationnalisation du développement soutenable au nom d'une croissance « verte ». De telles conclusions ne peuvent laisser indifférents ceux qui travaillent sur cette question et ceux qui s'y intéressent. C'est pourquoi cet article s'inscrit dans une critique de l'innovation environnementale en révélant sa dimension systémique, ses

frontières poreuses et ses limites. Contrairement à d'autres contributions, cet article montrera que sur le plan théorique le concept d'innovation environnementale est avant tout un objet controversé, instable, donnant lieu à des interprétations très contradictoires. En effet, faisant écho aux premiers débats sur ce sujet au cours des années 1970 (Cole et al., 1974), ce concept peut être approprié par le modèle actuel, pour ne pas dire « post-fordiste », ou bien appartenir à ceux prônant un nouveau modèle de développement intégrant des questions comme la décroissance.

Puisque, selon l'expression consacrée, « le diable est dans les détails », nous proposons d'aborder le concept de l'innovation environnementale en nous appuyant sur une approche systémique. Dans un premier temps, nous opterons pour une approche statique qui vise à comparer successivement les éléments qui composent les innovations non environnementales, que nous appellerons par la suite innovations standards³, et les innovations environnementales. Cela nous permettra d'identifier un ensemble de faits stylisés que nous critiquerons par la suite (1). Puis, nous étudierons dans une deuxième partie la manière dont ces innovations évoluent dans un processus économique, et cela aussi bien en termes de degrés de changement qu'en termes de trajectoires technologiques (2). Enfin, nous tenterons de rapprocher dans une troisième partie l'évolution de ces innovations avec la dynamique environnementale pour savoir si le qualificatif « environnemental » peut véritablement se rattacher à ces innovations (3).

1. DÉFINITIONS ET CONTROVERSES SUR L'ASPECT TECHNIQUE DE L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE

Nous montrerons dans cette première partie que les innovations environnementales et non environnementales, que nous nommerons innovations standards, possèdent des caractéristiques proches. Pourtant, à l'origine, de

3 Nous considérons ces « innovations », comme des innovations au sens schumpetérien : « toute tentative de faire les choses différemment dans le domaine de la vie économique devrait être considérée comme une innovation susceptible de fournir un avantage temporaire, et des profits, à une firme » (Schumpeter, 1939, p. 84). Ces dernières ont une finalité économique tandis que les innovations environnementales prennent également en compte la question environnementale, d'où l'intérêt d'une comparaison.

nombreuses différences existent lorsque l'on observe leur définition respective (1.1). En fait, c'est en les catégorisant en grande famille d'innovation que nous observerons des points communs (1.2). Nous tenterons dès lors d'approfondir cette comparaison avec davantage de détails. Ces détails nous les étudierons à travers la pertinence des méthodes palliatives et préventives (1.3) qui sont complétées par une logique d'économie circulaire (1.4) : un moyen plus complet, mais complexe à mettre en œuvre.

1.1. De la constitution d'une doctrine de l'innovation environnementale...

Le début des années 1990 s'est présenté comme une période d'interrogation sur notre mode de développement. Les concertations politiques liées au rapport Brundtland (1987) et au Sommet de la Terre de Rio de Janeiro (1992) ont été le signe d'une mobilisation en faveur d'une transition vers le développement soutenable. Le principal enjeu était de savoir comment l'enclencher. Le chapitre 8 du rapport Brundtland présente certains indices sur ce sujet en laissant apparaître la nécessité de « produire plus avec moins ». C'est par cette nécessité de réviser les modes de production que la théorie du changement technique et de l'innovation a commencé à relever le challenge en prenant en considération la variable environnementale au travers l'économie des externalités. Kemp et Soete (1992) se sont présentés comme les précurseurs de ce champ de l'économie qui a vu, par la suite, la formulation d'un ensemble de définitions, et ce, jusqu'à aujourd'hui.

Si ces définitions visent toutes à vouloir préserver l'environnement et à se rassembler autour d'une doctrine⁴, elles restent cependant nombreuses, comme le rappelle Debref (2012, 2014)⁵. Certaines thèses vont plutôt mettre

4 En reprenant les propos de Villey et Neme (1985, p. 5), une doctrine « [...] proclame ce qui devrait être, et dicte ce qu'il faut faire [...]. Une doctrine, étymologiquement, c'est un enseignement [...]. Une doctrine économique, ce sera une interprétation de la vie économique intégrée à un ensemble intellectuel plus vaste, dont tous les compartiments se commandent et s'éclairent mutuellement. [...] Les doctrines ne se peuvent étudier que dans l'histoire, et se comprendre que par l'histoire. »

5 L'auteur reprend et compare les définitions proposées par des auteurs de référence sur le concept d'innovation environnementale, à l'image des travaux de Hemmelskamp (1997), de Rennings, (2000), de Markusson et Olofdotter (2001), de Weber et Hemmelskamp, (2005), de Kemp et Pearson (2008) et de la synthèse de l'OCDE (2010).

l'accent sur le rôle des procédés, des produits, des organisations, tandis que d'autres insistent sur les moyens permettant de réduire les impacts environnementaux en optant soit pour des méthodes palliatives, soit pour des méthodes préventives. Selon nous, cette première méthode relève d'innovations incrémentales tandis que la seconde permet à la prévention de réaliser des choix plus radicaux. C'est pourquoi, d'ailleurs, certaines définitions insistent sur l'importance de l'intention chez l'innovateur et des comportements d'utilisation (Hemmelskamp, 1997). Pour compléter le tout, des outils de contrôle s'appuyant sur l'analyse de cycle de vie permettraient de vérifier si le projet d'innovation serait en phase avec les objectifs à atteindre (Van den Bergh *et al.*, 2011). Nous constatons alors une certaine modularité du concept au gré des définitions qui ne cessent d'alimenter les controverses (Debrief, 2014). Ces controverses ont deux points communs. D'une part, l'indispensable présence du marché et d'un problème environnemental. D'autre part, l'innovation environnementale s'éloigne du positivisme schumpétérien (1939) au profit d'un normativisme pour orienter les innovateurs. Finalement, c'est dans un contexte de haute instabilité conceptuelle que va s'opérer le processus d'innovation environnementale. Il en découle plusieurs interrogations sur les formes qu'elle peut prendre et sur les moyens techniques requis.

1.2. ... à des formes (vraiment) originales ?

Comme nous l'avons observé ci-dessus, les innovations environnementales se reconnaissent sous la forme de produits, de services, de procédés et d'organisations (Malaman, 1996 ; Hemmelskamp, 1997 ; James, 1997 ; Kemp et Arundel, 1998 ; Cleff et Rennings, 1999 ; Jones *et al.*, 2001 ; Markusson et Olofdotter, 2001 ; Oltra, 2008). Ces formes sont-elles pour autant originales ? Un doute subsiste dans la mesure où elles correspondent à celles qu'avait présentées Schumpeter à propos des innovations non environnementales (standards) au cours des années 1930. Cet auteur les présente effectivement sous cinq formes : la fabrication d'un bien nouveau, de nouvelles méthodes de production, une nouvelle organisation du travail, l'ouverture d'un nouveau débouché et l'utilisation de nouvelles matières premières (Schumpeter, 1934). Les études empiriques témoignent aussi de l'angle sous lequel le paradigme dominant considère l'innovation environnementale. Les enquêtes de l'OCDE appelées *Innovation (Community Innovation Survey)* établissent des systèmes statistiques à l'échelle nationale. L'analyse s'appuie

sur une lecture schumpétérienne de l'innovation dans les économies de l'OCDE en identifiant les particularités des innovations de produits, de procédés, d'organisations et de marketing, innovations pour l'entreprise ou le marché. Aussi, l'innovation environnementale ne serait qu'un élargissement du concept d'innovation. C'est ici un premier point commun.

Des exemples confortent d'ailleurs nos propos. D'abord, en ce qui concerne les biens nouveaux (1), certains produits standards, tels que l'automobile⁶, sont critiqués pour leurs impacts environnementaux sur la biosphère. Perçus comme des alternatives, les véhicules hybrides nécessitent moins de ressources pour fonctionner et se présentent, dès lors, comme des produits « verts ». Au-delà de ces aspects « technologistes », les services ont aussi des répercussions institutionnelles, voire sociétales. On retrouve, par exemple, la présence d'innovations « vertes » dans les services (Djellal et Gallouj, 2012) ou encore dans les innovations « responsables » (Ingham *et al.*, 2011). Deuxièmement, les innovations de procédés standards n'ont pas à prendre en compte les questions environnementales tandis que d'autres, se référant aux procédés relatifs à la chimie verte, se configurent de manière à réduire le nombre d'atomes et d'étapes dans la conception de nouvelles molécules chimiques (2) (Nieddu *et al.*, 2010). Troisièmement, les organisations qui se structurent autour du management de la gestion et de la valorisation des déchets et des risques environnementaux prennent la forme d'innovations organisationnelles à l'image des normes EMAS et ISO 14001. Plus proches de l'utilisateur, on peut aussi évoquer les systèmes de covoiturage formant une organisation de partage de frais et d'optimisation de l'usage du véhicule. Ensuite, les innovations de débouchés peuvent s'observer dans les pays en voie de développement, où, par exemple, l'énergie solaire représente un avantage comparatif certain pour les pays subsahariens⁷. Enfin, la substitution des matières premières figure parmi les grandes interrogations du XXI^e siècle ; par exemple, l'espoir des acteurs économiques et des chercheurs repose sur les énergies renouvelables comme les biocarburants (Giampietro et Mayumi, 2009). Finalement, nous remarquons que ces cinq catégories, étudiées indépendamment les unes des autres, se rattachent bien aux catégorisations schumpétériennes (voir le tableau de la page suivante).

6 L'automobile est un exemple utilisé pour illustrer les innovations environnementales à l'image de René Kemp (2010) et de Oltra et Saint-Jean (2009b).

7 Il convient cependant de noter les grands problèmes d'entretien des panneaux photovoltaïques par exemple.

Tableau 1. Catégorisation et points communs entre innovations environnementales et standards

| Catégorisation commune | Définition des innovations standards (Schumpeter, 1934) | Exemples d'innovations environnementales |
|------------------------|--|---|
| Produits/ services (1) | « Fabrication d'un bien nouveau, c'est-à-dire encore non familier au cercle des consommateurs, ou d'une qualité nouvelle d'un bien. » | Produit vert : automobile hybride (Kemp, 2010 ; Oltra et Saint-Jean, 2009b) Innovation verte dans les services (Djellal et Gallouj, 2012) Économie de la fonctionnalité (Bourg et Buclet, 2005) |
| Procédés (2) | « Introduction d'une méthode de production nouvelle, c'est-à-dire pratiquement inconnue de la branche intéressée de l'industrie ; il n'est nullement nécessaire qu'elle repose sur une découverte scientifiquement nouvelle et elle peut aussi résider dans de nouveaux procédés commerciaux pour une marchandise. » | Optimisation des procédés, réduction des étapes lors de la conception de nouveaux matériaux – voir les 12 principes de la chimie verte (Nieddu <i>et al.</i> , 2010) |
| Organisations (3) | « La réalisation d'une nouvelle organisation, comme la création d'un nouveau monopole ou l'apparition brusque d'un monopole. L'entrepreneur héroïque est l'entrepreneur qui crée une industrie nouvelle, comme ce fut le cas par exemple à la fin du XIX ^e siècle avec le cinéma ou l'électricité. » | Symbioses industrielles (Erkman, 1998) |
| Débouchés (4) | « Ouverture d'un débouché nouveau, c'est-à-dire d'un marché où jusqu'à présent la branche intéressée dans l'industrie du pays intéressé n'a pas été encore introduite, que ce marché ait existé ou non. » | La question environnementale est une nouvelle source d'avantages concurrentiels (Porter et van der Linde, 1995) Énergie solaire dans les pays subsahariens |
| Matières premières (5) | « La conquête d'une nouvelle source de matières premières ou de produits semi-ouvrés ; à nouveau, peu importe qu'il faille créer cette source ou qu'elle ait existé ultérieurement, que l'on ne l'ait pas prise en considération ou qu'elle ait été tenue pour inaccessible. » | Énergies renouvelables (Giampietro et Mayumi, 2009) Biocarburant au Brésil |

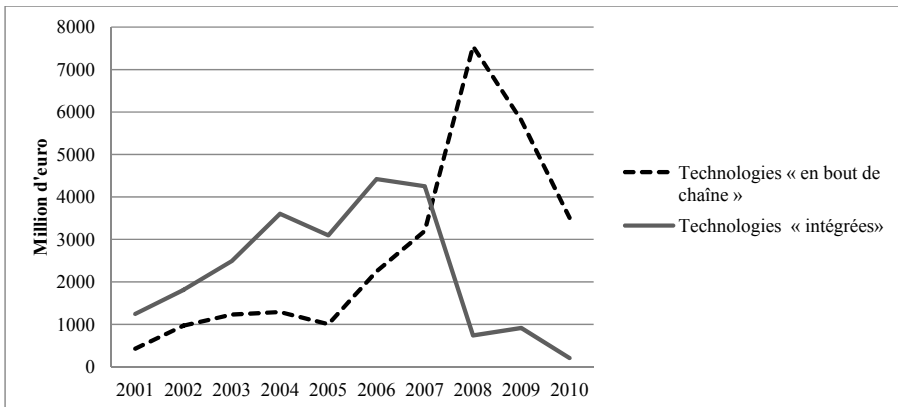
Dans certains cas, si l'on essaie de combiner ces innovations sous la forme de grappe, nous constatons l'importance de l'économie de la fonctionnalité (Bourg et Buclet, 2005). Préférer le format électronique au format papier permet d'éviter le gaspillage de papier, certes, mais ce simple exemple de produit/service peut davantage se complexifier avec l'innovation organisationnelle. L'usage de produits et de services permet aux utilisateurs de choisir sans contraintes des moyens de transport propres, partagés et bon marché, comme le *Vélib'*. Ce partage se retrouve également dans le *crowdsourcing* et les « Fablab » aidant au ralentissement de l'obsolescence des produits. Enfin, combiner cela avec des innovations de débouchés permet de voir apparaître des circuits courts s'adaptant aux caractéristiques socio-économiques du territoire. Dès lors, nous en déduisons que si les catégories d'innovations standards sont similaires à celles des innovations environnementales, ce sont leurs combinaisons qui vont changer.

1.3. ... et à la dualité entre les technologies en « bout de chaîne » et « propres »

Si des points communs existent entre ces deux types d'innovations en matière de catégorisations, la littérature va proposer deux moyens pour les distinguer (Frondel *et al.*, 2007). Il faut pour cela se poser deux questions. D'abord, vaudrait-il mieux employer des solutions palliatives, *ex post*, qui permettent de préserver l'environnement ? Ou bien, vaut-il mieux employer des solutions *ex ante*, dites préventives ? Les actions palliatives générant des technologies « end-of pipe », ou « en bout de chaîne », sont une première réponse aux problèmes environnementaux en privilégiant un contrôle de la pollution et des nuisances (1). La stratégie repose avant tout sur l'additivité technologique qui consiste, par exemple, à ajouter des filtres aux équipements existants pour réduire les substrats, les coproduits et autres polluants. Malgré sa capacité immédiate à réduire les impacts environnementaux sans modifier radicalement le processus de production existant, le coût de mise en œuvre de ces technologies s'accroît au gré du niveau de production et des contraintes réglementaires. Cela signifie que la firme voulant réduire au maximum ses niveaux de pollution se confronte sur le long terme à une immuable augmentation de ses coûts de production, et cela sans compter la production de déchets ultimes. Dès lors, pour les réduire et pour faire face à des goulots d'étranglement, les firmes peuvent opter pour une délocalisation d'une partie, voire de l'intégralité, de leurs

processus de production à l'étranger, induisant un déplacement de la pollution plutôt qu'un véritable traitement de celle-ci. Si l'on se penche à présent sur la seconde question, les méthodes préventives s'annoncent comme un moyen de développer des « technologies propres » permettant de réviser en profondeur la conception des produits et des procédés de production. Contrairement à l'approche palliative, cette approche *ex ante* cherche directement à éradiquer la source de la pollution en révisant l'ensemble du processus de production (Hohmeyer et Koschel, 1995), c'est pourquoi ces technologies propres ont été hautement plébiscitées au cours des années 1990 (Porter et Van der Linde, 1995). Cependant, pour être mis au point, ce type de technologie nécessite un dispositif lourd aussi bien économique qu'en matière de compétences. Cela signifie que la firme se confronte dès le départ à des risques de mise en œuvre sur le court terme, mettant en péril son existence. Quelle que soit la stratégie envisagée – approche curative ou approche préventive –, il est difficile de savoir quelle serait la technologie la plus « viable » sur le plan économique et environnemental, c'est pourquoi certains auteurs préfèrent les utiliser simultanément pour ne pas trancher, montrant ainsi, par la même occasion, une certaine preuve de décloisonnement du concept (Demirel et Kesidou, 2011 ; Faucheux et Nicolaï, 2011). Il suffit d'observer les efforts des investissements des pays de l'Union européenne dans ce domaine pour constater leurs coexistences. La crise de 2008 a introduit une rupture dans la dynamique : la technologie « en bout de chaîne » a résolument pris l'avantage sur les technologies « intégrées » (voir le graphique ci-dessous).

Graphique 1. Investissements totaux dans les technologies « en bout de chaîne » et « intégrées » dans l'UE (Source Eurostat, 2013, référence sbs_env_dom_r2 et SBS_ENV_2B_02, voir Debref, 2014, pp. 62-64)



1.4. Vers une logique d'économie circulaire controversée

Essayons à présent de voir comment ces deux stratégies peuvent se combiner pour répondre à des enjeux environnementaux plus complexes. Les technologies « en bout de chaîne » et « intégrées » peuvent se confondre à partir du moment où il est possible de boucler autant que possible les flux d'énergie et de matière (Patingre et Vigneron, 2001 ; Erkman, 1998). Ce bouclage est aujourd'hui au cœur des innovations environnementales, car, comme le présente le schéma ci-dessous, il offre à la fois la possibilité de maîtriser toute la filière d'un produit, de repenser le processus de conception (si besoin) tout en faisant de la contrainte environnementale une source de compétitivité (Debref, 2012).

Figure 1. L'innovation environnementale et économie circulaire (Koschel et Hohmeyer, 1995 ; Renning, 2000, traduit par nos soins)



Or Nicholas Georgescu-Roegen (1979, 1984) rappelle que la seconde loi de la thermodynamique limite quelque peu cet espoir. Toute transformation de la matière et de l'énergie, et les actions qui en découlent, génèrent des transformations irréversibles et des déchets ultimes. Ce phénomène, l'entropie, fait que l'intensification du recyclage et des bouclages de flux ne ralentiraient pas l'épuisement des ressources, au contraire, l'accélération des transformations ne pourrait qu'y contribuer. C'est cette lutte contre l'entropie qui caractérise, selon Georgescu-Roegen, l'histoire de l'humanité

et l'histoire des rapports sociaux. Cette histoire est marquée par l'apparition et l'adoption de grandes innovations qu'il rassemble autour de la notion de « technologie prométhéenne ». Comme le souligne l'auteur, la première technologie prométhéenne correspond à la découverte du feu. Ce « don de Prométhée » a permis aux civilisations de faire du bois le cœur de leur développement économique. Sa surexploitation a causé également leur perte – et Georgescu-Roegen (1984, p. 30) d'évoquer la « crise du bois » qui touche l'Occident au XVII^e siècle. C'est pourquoi sont apparues les « technologies prométhéennes II », qui reposent sur les machines à vapeur transformant l'énergie calorifique en énergie mécanique, à l'aide de la combustion de ressources fossiles comme le pétrole et le charbon. La crise pétrolière des années 1970, selon Georgescu-Roegen, ne fait que sonner le glas de l'exploitation de ces ressources fossiles. D'où aussi son interrogation : « Aujourd'hui, la question cruciale est de savoir si un nouveau Prométhée viendra résoudre la présente crise de l'énergie de la même manière que Prométhée II a résolu la crise de l'âge du bois. » La solution proviendrait de l'usage de l'énergie solaire et « ne pourra être qu'un nouvel âge du bois, différent quand même de celui du passé, parce que nos connaissances techniques sont plus étendues aujourd'hui. Il ne pourrait en être autrement étant donné que tout processus évolutionniste est irréversible » (Georgescu-Roegen, 1979, chapitre IV, p. 213). Dans l'attente de l'arrivée de ce « Prométhée III », qui conduirait l'Humanité vers une nouvelle ère de prospérité, l'auteur recommande de « minimiser les regrets » et appelle à des politiques de prudence, en s'efforçant de jouer sur la demande de biens et de services. Cette perspective de limitation des besoins, que l'on désigne aujourd'hui comme de la « décroissance », est une idée allant à contre-courant de la perspective défendue par la doctrine actuelle de l'innovation environnementale.

Des innovations considérées comme environnementales peuvent très bien appartenir à et renforcer l'ère de Prométhée II au lieu d'assurer une transition vers une autre forme de développement. Certains projets fondés sur une logique d'économie circulaire reflètent bien cette situation. D'une part, il existe des symbioses industrielles ancrées sur des territoires qui s'inspirent des modèles productivistes : elles sont pourtant présentées comme des « innovations environnementales ». D'autre part, on retrouve des systèmes de valorisation des produits en fin de vie qui ne prennent pas automatiquement en compte les spécificités écologiques des territoires (Debref, 2012). Il est donc important de nous pencher sur les raisons qui déterminent l'évolution des innovations environnementales.

2. L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE, UNE DYNAMIQUE SINGULIÈRE ?

Nous allons donc étudier ce qui diffère au niveau de leurs déterminants. Nous commencerons par étudier le rôle joué par le degré de changement, les modalités d'utilisation et les limites des critères d'évaluation d'impacts (2.1). Ensuite, nous étudierons l'influence des trajectoires d'évolution des innovations (2.2), puis les déterminants se situant dans la sphère non marchande (2.3).

2.1. Changer les pratiques conduit-il forcément au changement ?

Les innovations environnementales influencent notre société selon leurs originalités. Au même titre que les innovations « standards », elles génèrent des effets incrémentaux, radicaux et systémiques (Debref, 2012, 2014). Par exemple, les technologies en « bout de chaîne » relèvent des innovations incrémentales, les technologies « intégrées » renvoient aux innovations radicales, tandis que la mise en place des technologies fondées sur l'économie circulaire appartient aux innovations systémiques. La subtilité en matière d'innovation environnementale est d'intégrer le changement de comportement d'utilisation (Ehrlich et Holdren, 1971). Les innovations environnementales doivent, d'une part, intégrer la préservation de l'environnement et, d'autre part, répondre aux enjeux économiques puisqu'elles ne peuvent être viables sans avoir été sélectionnées par le marché : l'innovation environnementale doit intégrer à la fois des objectifs de court terme et de long terme : un défi impossible à relever (Debref, 2012). Malgré tout, revenir au court terme n'est pas un défaut en soit dans la mesure où les impacts sur le long terme ne peuvent être anticipés. Rien n'empêcherait donc rétrospectivement une innovation « standard » d'être meilleure que les autres sur le plan environnemental sur le long terme. Finalement, nous constatons que nous ne sommes pas en mesure d'évaluer *ex ante*, encore une fois, si l'innovation est environnementale ou non.

Nous savons que les outils d'évaluation permettent justement de sélectionner des alternatives et de rendre compte de la performance. Sur les

questions environnementales, c'est l'analyse de cycle de vie qui est souvent choisie. Elle restitue, avec des indicateurs, la dimension qualitative et quantitative des impacts. Le processus d'éco-conception pourrait donc être plus facilement orienté et ce, objectivement (Patingre et Vigneron, 2001). Paradoxalement, venant affiner les travaux sur la notion de performance environnementale (Ambec et Lanoie, 2009), Debref et Brulé-Gapihan (2013) ont montré que, dans des univers controversés, certains secteurs composés de multinationales s'organisaient pour élaborer une analyse de cycle de vie collective. Bien que cet outil vise à dynamiser un esprit d'innovation propice à la préservation environnementale et à créer des effets de réputation, les conclusions de cette étude montrent qu'il est difficile de trancher et de sélectionner la meilleure voie. Cela n'est pas sans conséquence sur l'innovation, puisqu'on y voit apparaître un ensemble d'hybridation incrémentale, de différenciation et un retour à des produits anciens qui nous empêchent de savoir si l'innovation de produit répond aux enjeux environnementaux, ou bien si ce n'est qu'un simple processus de résistance au changement (Debref, 2014).

Dès lors, comme il est toujours difficile d'établir une véritable distinction entre innovations environnementales et standards, nous allons nous pencher sur les trajectoires technologiques pour tenter d'en comprendre les particularités d'évolution.

2.2. Orienter différemment le processus d'innovation pour faire face à la complexité

L'analyse des trajectoires technologiques apporte des explications supplémentaires quant aux déterminants et à l'évolution des innovations standards. Cette dynamique varie selon le triptyque de la « *demand pull* », de la « *technology push* » et de la « *science-push* ». Le premier élément concerne l'influence de la demande des consommateurs sur un marché. Le deuxième souligne l'influence des technologies existantes. Le troisième, quant à lui, traite des pressions exercées par les découvertes scientifiques. Ces tensions influencent directement les trajectoires technologiques qui viendront s'imposer dans notre société (Dosi, 1982, 1988). Ces éléments confirment donc le caractère complexe des innovations et notre impossibilité à identifier *ex ante* les conséquences de ces déterminants sur les innovations. L'ajout de la dimension « environnementale » à l'innovation génère une

contrainte supplémentaire. Plutôt que de laisser ces pressions s'exercer et d'espérer une quelconque résolution du problème, les trajectoires technologiques des innovations environnementales prennent un autre tournant en se fondant sur une logique inversée.

La théorie sur l'innovation environnementale reprend la typologie de déterminant que sont la « *demand pull* », la « *technology push* » et la « *science-push* », mais la subtilité est de modifier volontairement les trajectoires elles-mêmes, comme si l'on savait exactement ce qui serait bénéfique pour l'environnement (Rennings, 2000, p. 8). La littérature reconnaît en effet que l'innovation environnementale ne pourrait exister sans le soutien de pouvoirs publics via des taxes, des législations et des normes techniques (Kemp, 2010). Cette intervention permet à la fois de rendre viable économiquement une innovation environnementale et de fixer de grandes lignes directrices pour éclairer les innovateurs dans un univers incertain (Oltra et Saint-Jean, 2007). Klauss Rennings rassemble « *technology push* » et « *science push* » pour laisser la troisième place à l'intervention des pouvoirs publics, à travers ce qu'il nomme « *regulatory push* ». En tant qu'institution de régulation, les pouvoirs publics ont la capacité de fixer des objectifs sur le long terme en imposant des critères normatifs pour générer des innovations environnementales. Autrement dit, à l'inverse des innovations standards, il semblerait que des critères normatifs puissent juger, ou non, du qualificatif « environnemental ».

Or les normes collectives et les conventions techniques y sont pour beaucoup puisqu'elles se nourrissent de revendications, de langages communs et de visions futures (Callon, 1986). Autrement dit, la représentation de l'innovation environnementale n'existe qu'en présence de représentations communes, mais reste pour le moins controversée à l'instar de la Science qui s'alimente constamment de controverses et se configure autour de conventions (Godard, 1993 ; Callon, Lascoumes et Barthe, 2001). Dans un tel contexte d'instabilité, nous constatons que les innovations environnementales ne sont reconnues que parce qu'un ensemble de critères a été fixé au préalable et accepté socialement pour obtenir un effet désiré. Pourtant, il importe de souligner que même dans ses constituants, personne ne peut être sûr des conséquences finales sur la société qu'auront les innovations environnementales au même titre que l'innovation standard.

2.3. L'influence de la sphère non marchande dans la dynamique des innovations environnementales

L'évolution des innovations repose également sur le poids de l'histoire et de phénomènes qui dépassent le cadre et la dynamique purement marchande. Les travaux de Dominique Foray soulignent l'existence d'« accidents historiques », une thèse qu'il appuie en prenant l'exemple de l'énergie nucléaire après la Seconde Guerre mondiale. Il observe que ce paradigme technologique est « [...] accidentel du point de vue du processus dynamique [...]. Il n'est pas accidentel, en revanche, du point de vue du contexte historique, par rapport auquel la décision prise est évidemment cohérente » (Foray, 1991, p. 308). À l'époque, rien n'aurait pu laisser imaginer les critiques sur le plan environnemental et son importance au sein de l'économie française. C'est pourquoi l'auteur attire notre attention sur le caractère imprédictible, irréversible (*lock-in*) et potentiellement inefficace des innovations standards mais aussi, selon nous, environnementales (1989, 1991).

En complément des travaux de David (1985) et Kline et Rosenberg (1986) travaillant sur les verrous technologiques et les dépendances aux sentiers, André Torre (1993) indique que l'innovation technique engendre des externalités positives influençant la dynamique des innovations. Celles-ci se présentent sous la forme de coopérations informelles, comme les réseaux qui diffusent de l'information et de la connaissance. De ce fait, comme vu précédemment, il se peut que les innovateurs bénéficient d'apprentissages collectifs, se coordonnent sur des conventions et partagent des visions communes d'une situation. Ces coopérations influencent le marché, puisqu'elles peuvent faire office de barrières à l'entrée ou de moyens d'exclusion d'acteurs qui ne partageraient pas la même approche, voire les mêmes valeurs. Si c'est le cas, le don et la réciprocité entre concurrents jouent un rôle central et viennent alors contester l'idée selon laquelle l'innovation serait seulement le fruit d'un processus marchand. Comme l'écrit André Torre, « l'Histoire compte » et « le rôle joué par le temps est ici fondamental » (Torre, 1993, p. 101).

Ce rapport au temps est une variable centrale dans l'identité des innovations environnementales, car un groupe d'acteurs peut défendre sa vision de ce que pourrait être une innovation environnementale. Celle-ci se

constituera sous la forme d'un groupe, d'une communauté, qui se rassemblera autour d'une identité au point de modifier ou conserver les trajectoires technologiques à venir. Les travaux de Nieddu et al. (2014) ont montré que, face à des enjeux environnementaux, des communautés d'acteurs gèrent leurs apprentissages collectifs acquis dans le temps, tels des patrimoines immatériels. Les résultats de ces travaux observent à cet égard que les industriels de la chimie influencent la dynamique des innovations environnementales selon quatre héritages productifs collectifs. En s'appuyant sur ces travaux, la thèse d'Estelle Garnier (2012) montre que le prototypage des innovations environnementales en chimie, un secteur dominé scientifiquement au sens de Pavitt (1984), répond à ces héritages. Elle conclut finalement que « tout change pour que rien ne change » et que la convergence vers une technologie victorieuse fait place à une diversité de voies technologiques explorées. Une autre thèse portant son attention sur le secteur des revêtements de sol résilients, un secteur situé en aval de cette filière et dominé technologiquement, arrive aux mêmes conclusions (Debref, 2014). Aussi, loin de la dimension économique, nous constatons que les conventions et les représentations collectives viennent mettre à mal une possible identification de l'innovation environnementale à partir de critères objectifs que pourrait nous fournir la théorie économique standard.

Ces comparaisons nous permettent de reconnaître que les innovations environnementales sont difficilement identifiables *ex ante*, même si la littérature souligne la nécessité d'être normatif en la matière y imposant le concept d'efficacité et de substitution des ressources. Ces deux perspectives, qui semblent être à la charnière entre l'innovation et l'environnement, méritent à présent d'être étudiées de manière à observer les interactions entre la dynamique de l'innovation environnementale et de la biosphère.

3. L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE ET (IN)ADAPTATION À LA DYNAMIQUE ENVIRONNEMENTALE

Nous allons voir dans cette dernière partie que les innovations environnementales, en plus des lacunes que nous avons présentées précédemment, sont analysées de façon particulière. Pour cela, nous allons montrer que la raréfaction et la dangerosité des ressources sont complémentaires

et indissociables. Nous exposerons leurs relations afin de montrer que la notion d'efficacité des ressources, plébiscitée pour créer des innovations environnementales, se retrouve dans les innovations standards (3.1). D'ailleurs, pour conforter nos propos, nous observerons les conséquences de cette quête de l'optimisation des ressources en insistant sur les risques d'effets rebonds qui remettront directement en cause la pertinence des innovations environnementales à un niveau macro-systémique (3.2).

3.1. Interprétation du problème « environnemental »

Si la littérature spécialisée impose des critères normatifs aux innovations environnementales, un constat s'impose pourtant : la définition même de l'« environnement » semble avoir été écartée. La notion d'environnement se veut pourtant pluraliste au regard de ses nombreuses définitions (Theys, 1993)⁸. Cette notion fait également l'objet d'études pluridisciplinaires chez les designers, les ingénieurs, les biologistes, les chimistes ou encore chez les écologues. Dans le cadre des innovations environnementales, l'objectif est de résoudre la problématique environnementale grâce à des solutions innovantes. Cela se résout de deux manières. La première repose sur la réduction de la dangerosité des composants grâce à la substitution des ressources. La seconde tient de la réduction des quantités de ressources rares utilisées.

Reprenons les enjeux liés aux pollutions et aux coproduits. Les matières dangereuses résultant de la production peuvent être soit des déchets ultimes, soit des déchets valorisables. Ces derniers existent dans la mesure où ils peuvent devenir inoffensifs en étant des matières de substitution réinjectées dans d'autres processus de production. Ici, rien n'empêche les technologies en « bout de chaîne » de continuer à exister et de maintenir un certain niveau de production, voire de l'augmenter, dans la mesure où l'optimisation des ressources exploitées permet de réduire les coûts de

8 Trois définitions sont envisageables pour l'environnement. La première « écocentree » emploie une vision en termes d'écosystème qui mérite d'être préservée face aux principes d'irréversibilité. La deuxième est, quant à elle, « anthropocentree » et se rattache à la qualité de vie et aux aspects socioculturels. La troisième est une approche « technocentree » qui considère l'environnement comme un ensemble de flux d'énergie et de matière. Pour plus d'information, voir Theys (1993) et Vivien (2007).

production. L'optimisation reste donc une logique à court terme, car certaines matières considérées comme inoffensives peuvent être contestées bien plus tard. La substitution permet d'optimiser les quantités produites s'il n'y a pas de déchets ultimes venant contrecarrer le niveau de production. En ce qui concerne les techniques préventives, nous pensons que la logique est tout à fait l'inverse. L'output néfaste n'existant plus, les futurs dangers ne peuvent être connus dès le départ. En revanche, la question des quantités de ressource nécessaires se posera surtout lorsque les produits aboutiront à leur fin de vie et sans forcément avoir suffisamment de traçabilité pour éviter les îlots de pollution à travers le monde. En conclusion, si la substitution des ressources est nécessaire et renvoie aux enjeux sanitaires, cette logique contribue au final à l'optimisation des niveaux de production (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 2. Les relations entre l'optimisation et la substitution en matière d'innovation environnementale

| Intégration de la question environnementale | Technologie « en bout de chaîne » | | Technologie préventive | |
|---|--|------------------------------|--|--|
| | Système circulaire | | | |
| La substitution | Trouver de nouvelles valeurs économiques aux outputs | Stockage des déchets ultimes | Trouver de nouvelles valeurs économiques aux outputs | Éviter le stockage des déchets ultimes |
| L'optimisation | Réduction de l'usage des matières premières | | | |

3.2. L'éco-efficacité, un déterminant limité à la préservation environnementale ?

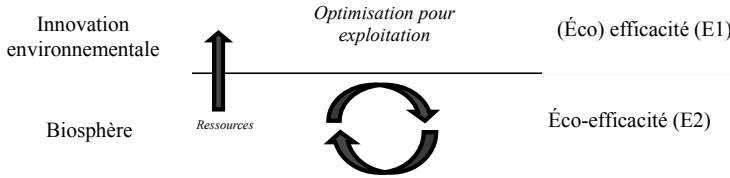
La littérature anglo-saxonne baptise « eco-efficiency » l'optimisation des procédés de transformation de la matière et de l'énergie. La langue française la traduit, quant à elle, par « éco-efficience ». Il semblerait pourtant que, dans ces deux langues, il y ait un véritable enjeu à la fois épistémologique et de traduction (Polimeni *et al.*, 2008, p. 13). Le principal enjeu porte sur les relations entre les objectifs finaux (efficience) et les moyens techniques parvenant à l'optimisation (efficacité). Cette distinction se retrouve aussi chez Gjalte Huppés et Masanobu Ishikawa en estimant que « la plus modeste position dans l'éco-efficience est, en mettant de côté la question de l'optimalité [ndlr : éco-efficacité], d'atteindre une amélioration

environnementale ayant un prix inférieur au regard d'autres options plus coûteuses » (Huppès et Ishikawa, 2005, p. 3). À notre sens, la motivation résulte des économies de matières premières permettant d'améliorer le bien-être collectif tout en proposant des moyens économiquement viables et acceptables d'un point de vue environnemental (Polimeni *et al.*, 2008). Finalement, c'est en observant ces relations très étroites entre l'évaluation économique, les possibilités techniques et les objectifs à atteindre à moyen et long terme que la question des arbitrages autour de la construction de l'éco-efficacité se pose.

Pour l'instant, le concept d'éco-efficacité reste encore ambigu, car il peut se confondre au concept d'efficacité économique des plus standards. David Ricardo (1817) présentait déjà une forte relation entre l'environnement et l'innovation technique en démontrant que les innovations agricoles ont un impact sur la qualité des terres arables : la principale raison tient à l'augmentation de la productivité issue des performances et de l'utilisation des innovations agricoles. Dans ce cas de figure, l'optimisation des technologies engendre une intensification de la production au détriment des ressources naturelles nécessitant du temps pour se renouveler (E1). Sous un autre angle, nous pouvons aussi considérer que les terres sont aussi des « machines » capables d'optimiser les flux d'énergie et de matière afin d'assurer leur propre soutenabilité sur le long terme (E2). Ici, l'efficacité se doterait aussi d'une dimension écologique qui ne concernerait pas l'innovation environnementale. Deux formes d'éco-efficacité s'opposent donc sur le plan des objectifs tout en restant complémentaires. Il y a d'abord une première forme d'éco-efficacité issue de la biosphère qui va fournir les ressources qui se renouvelleront à plus ou moins long terme (E1). Par exemple, une forêt et la qualité de son bois. Ensuite, la seconde (E2) concernera l'éco-efficacité des innovations qui exploiteront à plus ou moins long terme les ressources mises à la disposition par la biosphère. Ainsi, lorsque les théories relatives aux innovations environnementales se proposent de privilégier l'éco-efficacité, laquelle est sélectionnée ? Quid des arbitrages ? Nous pensons que c'est la première dimension (E1) qui s'impose puisque la littérature souligne que c'est grâce à ces innovations que les enjeux écologiques seront résolus, et non le contraire. D'ailleurs, si la seconde forme d'éco-efficacité était privilégiée, le territoire devrait être pris en compte. Or ce n'est pas tout le temps le cas, comme nous l'avons souligné plus haut. Finalement, il n'y aurait aucune différence entre efficacité et éco-efficacité, telles que nous les concevons aujourd'hui, et donc, *ceteris paribus*,

aucune différence entre innovation standard et environnementale à ce niveau d'analyse (voir la figure ci-dessous).

Figure 2. Système relationnel entre les formes d'éco-efficacité



L'optimisation des flux ne suffit plus pour nous rendre compte de la complexité des phénomènes, c'est pourquoi nous décidons de reprendre les formes d'éco-efficacité que nous venons d'identifier (E1) et (E2) et de les observer en dynamique. En les confrontant toutes les deux aux propositions de l'économie écologique, nous arrivons à en identifier deux autres (Polimeni *et al.*, 2008). Nobuo Kawamiya (1983) identifie une éco-efficacité statique et dynamique en s'appuyant sur les lois de la thermodynamique. L'éco-efficacité statique, de type 1, repose sur l'optimisation des processus de transformation de l'énergie et de la matière : une proposition pouvant facilement rassembler (E1) et (E2), présentées précédemment. À cette proposition s'ajoute une dimension dynamique que l'auteur appelle l'éco-efficacité de type 2. Cette dernière intègre une vision à long terme s'appliquant aux technologies/innovations (E3) qui se renouvellent selon les aléas économiques, les lois du marché et les préférences des individus. En revanche, le milieu naturel cherchant à se renouveler et à se maintenir dans le temps reste soumis à la logique d'exploitation des innovations environnementales sur le long terme (E4). Quatre formes d'éco-efficacité existent donc et non pas une seule, et le plus intéressant est de savoir finalement quelle « éco-efficacité » se rattache à l'innovation environnementale (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 3. Les quatre formes d'éco-efficacité (adapté de Polimeni *et al.*, 2008)

| | Quête de l'optimisation sur le court terme | Évolution sur le long terme |
|--------------|--|---|
| Technologies | Éco-efficacité de type 1 des technologies (E1) | Éco-efficacité de type 2 et accélération/décélération de l'évolution technologique (E3) |
| Biosphère | Éco-efficacité de type 1 du renouvellement des ressources (E2) | Éco-efficacité de type 2 et renouvellement limité (E4) |

La réponse se situe au niveau des objectifs sur le long terme de l'innovation environnementale. Servant d'intermédiaire entre la technosphère et la biosphère, cette dernière existe grâce aux institutions marchandes car, sans elles, il nous serait impossible de résoudre des problèmes sur le long terme et de rendre les projets économiquement viables. En dynamique, l'utilisation de l'innovation environnementale peut faire l'objet d'accélération et de décélération des processus de transformation à deux niveaux. D'abord, il est clairement reconnu que l'éco-efficacité des technologies présente dans la technosphère (E1) est la voie privilégiée pour répondre à la préoccupation écologique ambiante. Cette préoccupation ne fait d'ailleurs que renforcer la volonté de préserver l'environnement et ce, le plus rapidement possible (E3). À ce niveau, seule compterait l'accélération de l'éco-efficacité des innovations environnementales, mais cela diffère-t-il radicalement des autres formes d'innovations qui pourront aussi se doter d'une dimension « environnementale » *ex post* ? En effet, comme le démontrent Baillon et Ceron (1979), il existe une dualité entre l'obsolescence économique et technique d'un produit, c'est-à-dire que même si un produit est techniquement meilleur que les autres sur le plan environnemental, rien ne l'empêchera d'être abandonné rapidement s'il n'a plus d'utilité économique. Aussi, des solutions techniquement plus performantes rendent-elles plus facile la distinction entre les innovations standards et environnementales ?

3.3. Les effets rebonds : nouvelles frontières de l'innovation environnementale

La hausse de la productivité que génère l'éco-efficacité cause des effets paradoxaux qui sont directement imputés aux comportements des acteurs économiques. D'ailleurs, c'est à une échelle globale que Stanley Jevons, l'un des pères fondateurs de l'école marginaliste, a tenté d'avertir ses collègues économistes : selon lui, la quête de l'éco-efficacité n'est rien d'autre qu'une course à l'intensification qui contribue à l'épuisement des ressources naturelles à une échelle de temps plus longue. Son ouvrage *The Coal Question* a largement été repris par le champ de l'*Ecological Economics* pour identifier l'originalité de cet « effet rebond » (Jevons, 1865 ; Khazzom, 1987). Depuis, plusieurs formes d'effets rebonds ont été identifiées (Polimeni *et al.*, 2008), et cela nous amène à la conclusion que la quête de l'éco-efficacité se présente plutôt comme le talon d'Achille de l'innovation environnementale.

Si ces phénomènes micro- et macrosystémiques ont bel et bien été pointés par la théorie, leurs effets concrets sur la société sont loin de faire l'unanimité. Greening et al. (2000) ont réalisé une revue de littérature étudiant la taille de l'effet rebond au sein des habitations, des firmes et de leurs effets macroéconomiques. Nous retiendrons de ces auteurs leur extrême prudence à l'égard de la mise en évidence de ces effets, car les données sont rares et ne peuvent rendre compte de la complexité de l'ensemble des interactions qui devraient être prises en compte. Ces auteurs estiment qu'une analyse statique des préférences individuelles des individus n'est pas suffisante pour rendre compte de la situation. La perspective de recherche la plus intéressante, selon eux, serait d'agrèger l'ensemble des consommations et des investissements. Le changement de préférence des individus intervient lorsque les technologies changent, puis transforment les institutions et les systèmes de production. En revanche, le lien entre évolution des préférences et ces effets rebonds reste à prouver car, selon toujours ces mêmes auteurs, « il n'y a pas de théorie assez complète pour prédire ces effets qui pourraient engendrer plus ou moins de consommation énergétique » (*ibid.*, p. 391). Greening et al. (2000) choisiront les consommateurs, les firmes et le niveau de production mondiale pour démontrer que les effets rebonds ont diverses origines. Pour les premiers, la taille des effets rebonds est évaluée selon l'usage de la climatisation, du chauffage, du transport et de l'électroménager. Les auteurs remarquent de grandes variations de ces effets mesurés allant de 0 à 50 %. Pour les firmes, l'intensification de la production aurait augmenté la taille de l'effet de 20 % sur le court terme, la trop grande variété de résultats sur le long terme empêche d'établir toute conclusion hâtive. Enfin, en matière d'effets macroéconomiques, il semblerait bien que l'augmentation du niveau de vie et la consommation de biens de « luxe » soient les premières causes de ces effets rebonds (*ibid.*, p. 399). Les risques d'effets rebonds intéressent de nos jours au plus haut point certaines institutions publiques : c'est le cas du Centre de la Recherche sur l'Énergie du Royaume-Uni. Intitulé « La preuve de l'effet rebond à partir de l'amélioration de l'efficacité énergétique » (notre traduction), le rapport dirigé par Sorrell (2007) et l'article de Sorrell et al. (2009) reprennent le postulat de Khazzoom et confirment l'existence d'effets rebonds. Sorrell, membre de l'Université du Sussex, pose un nouveau challenge à ses confrères ayant critiqué le rapport Meadows, car si l'innovation environnementale peut changer le cours de l'histoire, ce n'est pas forcément dans la direction escomptée.

CONCLUSION

Cet article a étudié de manière critique le concept d'innovation environnementale proposé par la théorie économique dominante et repris par un grand nombre d'experts et d'institutions. Pour cela, nous avons proposé une méthodologie originale en passant d'une étude statique à une étude dynamique des innovations pour finalement connaître leurs influences sur les dynamiques environnementales. À l'aide d'une approche systématique, c'est par un autre regard que nous avons pu identifier les limites et les paradoxes de l'innovation environnementale.

Trois résultats découlent de ce travail. D'abord, les différentes étapes de notre analyse conduisent au fait qu'il nous est impossible de distinguer radicalement l'innovation standard de l'environnementale, tant dans une position *ex ante* et *ex post*, et ce à différents niveaux d'analyse. Le concept d'innovation environnementale se confronte en effet à des paradoxes et à des contradictions. Ces faiblesses posent la question de son appropriation qui, selon les cas, peut constituer un nouveau relais de croissance pour le paradigme existant, ou un modèle pour les partisans de la décroissance. Le deuxième résultat montre que les théories relatives aux innovations environnementales contournent la définition même du terme « environnement » et préfèrent paradoxalement opter pour une approche normative. Cette normativité se retrouve dans les dispositifs œuvrant en faveur d'une quête de l'éco-efficacité qui reste conditionnée par la substitution des matières dangereuses et la contrainte des déchets ultimes. Cet objectif se présente au départ comme une motivation permettant de résoudre les problèmes écologiques, mais reste trop limité, car il n'existe pas une forme d'éco-efficacité, mais quatre. La forme qui est actuellement privilégiée se retrouve aussi bien dans les concepts d'innovations standards et environnementales et pose la question de l'intensification et du productivisme. Ce résultat nous amène alors à un troisième résultat : la nécessité de considérer les effets rebonds. Ces derniers peuvent générer sur le long terme des impacts écologiques non négligeables.

Enfin, nous constatons que la conceptualisation de l'« innovation environnementale » ne peut résoudre à elle seule les enjeux relatifs à soutenabilité : elle ne peut pas être considérée comme un *deus ex machina*, une solution miracle. Bien que les techniques soient là, le cœur du débat

se retrouve en réalité dans la manière dont ce concept normatif va être approprié par le jeu d'acteurs, le contexte idéologique, politique, institutionnel et les particularités territoriales. Imposer une forme d'innovation environnementale serait bien trop ambitieux, car rien ne peut dire *de facto* si cette forme aboutirait aux mêmes résultats d'une situation à une autre tant sur des questions économiques qu'écologiques. L'innovation environnementale peut être considérée comme une solution pour certains et un oxymore pour les autres. Ce n'est donc plus une question purement technique dont il s'agit, mais surtout d'une problématique qui nous oblige à recentrer le débat du développement soutenable autour de l'économie politique, des jeux d'acteurs, de l'importance des réseaux et des ressources mobilisées pour l'émergence et la configuration des innovations environnementales. Pour cela, nous proposons à ceux qui s'intéressent aux firmes de prêter attention aux concepts de « performance environnementale » des innovations en y étudiant les stratégies, l'influence des réseaux, les moyens de pression, les ressources mobilisées et les *business models* en place. À un niveau supérieur, nous invitons d'autres travaux à se focaliser sur le management de la transition, sur le rôle des institutions et sur la pertinence de leurs actions puisque les initiateurs de projet innovant situés tant au niveau organisationnel que sectoriel cherchent à orienter volontairement les relations entre la biosphère et la technosphère au nom d'un développement soutenable. Aussi, à l'issue de ces dernières années de crise économique, de préoccupation environnementale et de manifestations internationales comme la COP 21, il serait indispensable, selon nous et avec suffisamment de recul, de comprendre si ce contexte a été l'occasion d'y observer des signes réels d'ébullition en faveur d'un réel changement ou bien d'une période propice au renforcement de l'ère passée.

BIBLIOGRAPHIE

- AMBEC, S., LANOIE P. (2009), « Performance environnementale et économique de l'entreprise », *Économie Et Prévision*, 190-191(4), 71-94.
- ABRASSART, C. AGGERI, F. (2002), « La naissance de l'écoconception : du cycle de vie du produit au management environnemental produit », *Annale des Mines*, 21, 14-63.
- ALLENBY, B., COOPER, W. E. (1994), « Understanding industrial ecology from a biological systems perspective », *Environmental Quality Management*, 3(3), 343-354.
- BAILLON, J., CERON, J.-P. (1979), *La société de l'éphémère*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble.
- BLAKE, A. (2005), « Jevons' Paradox », *Ecological Economics*, 54(1), 9-21.

- BÉLIS-BERGOUIGNAN, M.-C., LEVY, R., OLTRA, V., SAINT-JEAN, M. (2012), « L'articulation des objectifs technico-économiques et environnementaux au sein de projets d'éco-innovations », *Revue d'économie industrielle*, 138, 9-38.
- BOURG, D., BUCLET, N. (2005), « L'économie de fonctionnalité. Changer la consommation dans le sens du développement durable », *Futurible*, 313.
- BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W. (2002), *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press (1^{re} édition), 193 p.
- BUCLET, N. (2011), « L'apport des principes d'écologie industrielle et territoriale à la réflexion pour une chimie plus durable », in L. Maxim (dir.), *La chimie durable. Au-delà des promesses* (pp. 191-208), Pairs, CNRS.
- CALLON, M. (1986), « Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins pêcheurs dans la Baie de Saint-Brieuc ». *L'Année sociologique*, 36, 169-208.
- CALLON, M., LASCOMES, P., BARTHE, Y. (2001), *Agir dans un monde incertain : essai sur la démocratie technique*, Paris, Seuil, 358 p.
- CLEFF, T., RENNINGS, K. (1999), « Determinants of environmental product and process innovation », *European Environment*, 9(5), 191-201.
- COLE, H., FREEMAN, C., JOHODA, M., PAVITT, K. (1974), *L'anti-Malthus. Une critique de « Halte à la croissance »*, Paris, Seuil, 351 p.
- DAMIAN, M., VIVIEN, F.-D. (2012), « La Conférence sur le développement soutenable de Rio+20 : un contexte inédit », *Économie appliquée*, 65, 5-8.
- DAVID, P. A. (1985), « Clio and the Economics of QWERTY », *American Economic Review*, 75(2), 332-337.
- DEBREF, R. (2012), « The Paradoxes of Environmental Innovations: The Case of Green Chemistry », *Journal of Innovation Economics*, 9(1), 83-102.
- DEBREF, R. (2014), *Le processus d'innovation environnementale face à ses contradictions : le cas du secteur des revêtements de sol résilients* (sous la direction de F.-D. Vivien). Université de Reims Champagne-Ardenne, 13 octobre 2014, Reims.
- DEBREF, R., BRULÉ-GAPIHAN, E. (2013), « Construire sa légitimité à l'aide des normes environnementales : le cas de l'analyse de cycle de vie des produits dans le secteur des revêtements de sol », *Économie et institutions*, 18-19, 121-150.
- DEMIREL, P., KESIDOU, E. (2011), « Stimulating different types of eco-innovation in the UK: Government policies and firm motivations », *Ecological Economics*, 70(8), 1546-1557.
- DJELLAL, F., GALLOUJ, F. (2012), « L'innovation dans les services. Une innovation (plus) verte », in S. Boutillier (dir.), *L'innovation verte : de la théorie aux bonnes pratiques*, Bruxelles, P.I.E. Peter Lang.
- DOSI, G. (1982), « Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change », *Research Policy*, 11, 147-162.
- DOSI, G. (1988), « Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation », *Journal of Economic Literature*, 26(3), 1120-1171.
- EHRlich, P. R., HOLDREN, J. P. (1971), « Impact of Population Growth », *Science*, vol. 171, n° 3977, pp. 1212-1217.
- ERKMAN, S. (1998), *Vers une écologie industrielle*, Paris, Charles Léopold Mayer, 252 p.
- FAUCHEUX, S., NICOLAÏ, I. (2011), « I.IT for green and green IT: A proposed typology of eco-innovation », *Ecological Economics*, 70(11), 2020-2027.

- FORAY, D. (1989), « Les modèles de compétition technologique. Une revue de la littérature », *Revue d'économie industrielle*, 48(1), 16-34.
- FORAY, D. (1991), « Dynamique économique et nouvelles exigences de l'investigation historique : "learning to love multiple equilibria" », *Revue économique*, 42(2), 301-314.
- FRONDEL, M., HORBACH, J., RENNINGS, K. (2007), « End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries », *Business Strategy and the Environment*, 16(8), 571-584.
- FROSCHE, R., GALLOPOULOS, N. (1989), « Strategies for manufacturing in managing planet Earth », *Scientific American*, 152(3), 144-152.
- FULLANA I PALMER, P., PUIG, R., BALA, A., BAQUERO, G., RIBA, J., RAUGEI, M. (2011), « From Life Cycle Assessment to Life Cycle Management », *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 458-475.
- GARNIER, E. (2012), *Une approche socio-économique de l'orientation des projets de recherche en chimie doublement verte*, sous la direction de M. Nieddu, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims.
- GEELS, F. W. (2011), «The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24-40.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1984), « Feasible recipes and viable technologies », *Atlantic Economics Journal*, 12, 21-30.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1979), *La décroissance : entropie, écologie, économie* (3^e édition, 2006), Paris, Sang de la Terre, 302 p.
- GIAMPIETRO, M., MAYUMI, K. (2009), *The Biofuel Delusion: The Fallacy of Large Scale Agro-biofuels Production*, London: Earthscan, 336 p.
- GODARD, O. (1993), « Stratégies industrielles et conventions d'environnement : de l'univers stabilisé aux univers controversés », *Environnement, économie, INSEE-Méthodes*, 39-40 (Actes du Colloque des 15 et 16 février 1993), pp. 145-174.
- GREENING A. L., GREENE, D. L., DIFIGLIO, C. (2000), « Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey », *Energy Policy*, 28(6-7), 389-401.
- GRISEL, L., DURANTHON, G. (2001), *Pratiquer l'écoconception*. Association Française de Normalisation (AFNOR), 128 p.
- GRISEL, L., OSSET, P. (2004), *L'Analyse du Cycle de Vie d'un produit ou d'un service : Applications et mise en pratique*. Association Française de Normalisation (AFNOR), 376 p.
- HATCHUEL, A., LE MASSON, P., WEIL, B. (2006), *Les processus d'innovation : conception innovante et croissance des entreprises*, Paris, Lavoisier, 470 p.
- HOHMEYER, O., KOSCHEL, H. (1995), *Umweltpolitische Instrumente zur Förderung des Einsatzes integrierter Umwelttechnik*, Mannheim: Deutschen Bundestag.
- HEMMELSKAMP, J. (1997), « Environmental policy instruments and their effects on innovation », *European Planning Studies*, 5(2).
- HUPPES, G., ISHIKAWA, M. (2005), « Why Eco-efficiency? », *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 2-5.
- INGHAM, M. (2011), *Vers l'innovation responsable pour une vraie responsabilité sociétale*, Bruxelles, De Boeck, 250 p.
- JAMES, P. (1997), « The Sustainability Circle: a new tool for product development and design », *Journal of Sustainable Product Design*, 2, 52-57.
- JEVONS, W. S. (1865), *The Coal Question An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, London: Macmillan and Co.

- JONES, E., HARRISON, D., MCLAREN, J. (2001), « Managing Creative Eco-innovation: Structuring outputs from Eco-innovation projects », *The Journal of Sustainable Product Design*, 1(1), 27-39.
- KAWAMIYA, N. (1983), *Entropii to Kougyoushakai no Sentaku* (English translation *Entropy and Future Choices for the Industrial Society*), Tokyo: Kaimei.
- KHAZZOOM, D. (1987), « Energy saving resulting from the adoption of more efficient appliances », *The Energy Journal*, 4(8), 85-89.
- KEMP, R. (2010), « Sustainable technologies do not exist! », *Ekonomiaz*, 75.
- KEMP, R., ARUNDEL, A. (1998), *Survey Indicators for Environmental Innovation*, rapport IDEA [Indicators and Data for European Analysis], 26 p.
- KEMP, R., PEARSON, P. (2008), *Final report MEI project about measuring eco-innovation*. UM-MERIT, 120 p.
- KEMP, R., SOETE, L. (1992), « The greening of technological progress: An evolutionary perspective », *Futures*, 24(5), 437-457.
- KLINE, S., ROSENBERG, N. (1986), « An overview of innovation », in R. Landua, N. Rosenberg (eds.), *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth*, Washington, DC: National Academic Press.
- KOESTLER, A. (1967), *The Ghost in the Machine*, New York: Penguin.
- LIFSET, R., GRAEDEL, T. E. (2002), « Industrial ecology: goals and definitions », in R. Ayres, L. Ayres (eds.), *Handbook of Industrial Ecology* (pp. 3-15), Cheltenham, UK and Northampton, MA, Edward Elgar.
- MALAMAN, R. (1996), « Technological innovation for sustainable development: generation and diffusion of industrial cleaner technologies », *Fondazione Enrico Mattei*, Working paper EEE, 66 p.
- MARKUSSON, N., OLOFSDOTTER, A. (2001), *Drivers of Environmental Innovation*, VINNOVA *Innovation i fokus*, vol. 1, 68 p.
- MARSHALL, A. (1890), *Principes d'économie politique*, Québec, Les Classiques des sciences sociales, Université du Québec.
- MCCARTHY, T. (2006), « Henry Ford, Industrial Conservationist? Take-back, waste reduction and recycling at the Rouge », *Progress in Industrial Ecology. An International Journal*, 3(4), 302-328.
- NÊME, C., VILLEY, D. (1985), *Petite histoire des grandes doctrines économiques*, Paris, Litec-Génin.
- NIEDDU, M., GARNIER, E., BLIARD, C. (2010), « L'émergence d'une chimie doublement verte », *Revue d'économie industrielle*, 132, 53-84.
- NIEDDU, M., GARNIER, E., BLIARD, C. (2014), « Patrimoines productifs collectifs versus exploration/exploitation », *Revue économique*, 65(6), 957-987.
- OCDE (2010), *Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth*, OCDE, 276 p.
- OLTRA, V. (2008), « Environmental innovation and industrial dynamics: the contributions of evolutionary economics », *Working paper of GREThA*, vol. 28, n° 26, pp. 1-26.
- OLTRA, V., SAINT JEAN, M. (2007), « Incrementalism of environmental innovations versus paradigmatic change: A comparative study of the automotive and chemical industries », *Cahiers du GRES*, Groupement de Recherches Economiques et Sociales, pp. 1-22.
- OLTRA, V., SAINT-JEAN, M. (2009a), « Innovations environnementales et dynamique industrielle », *Cahier du GREThA*, vol. 22, n° 36, pp. 1-36.

- OLTRA, V., SAINT-JEAN, M. (2009b), « Sectoral systems of environmental innovation: An application to the French automotive industry », *Technological Forecasting and Social Change*, 76(4), 567-583.
- OLTRA, V., KEMP, R., DE VRIES, F. P. (2009), « Patents as a Measure for Eco-Innovation », *Working Papers of GREThA*, 20(5), 20 p.
- PATINGRE, J.-F., VIGNERON, J. (2001), *Éco-conception : concept, méthodes, outils, guides et perspectives*, Paris, Economica, 205 p.
- POLIMENI, J. M., MAYUMI, K., GIAMPIETRO, M., ALCOTT, B. (2008), *The Jevons paradox and the myth of resource efficiency improvements*, London: Earthscan, 200 p.
- PORTER, M. E., VAN DER LINDE, C. (1995), « Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship », *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- RENNINGS, K. (2000), « Redefining innovation: eco-innovation research and the contribution from ecological economics », *Ecological Economics*, 32(2), 319-332.
- RICARDO, D. (1817), *Des principes de l'économie politique et de l'impôt*, Paris, Flammarion (éd. 1999), 508 p.
- RUBINSTEIN, M. (2006), « Le développement de la responsabilité sociale de l'entreprise », *Revue d'économie industrielle*, 113, 83-105.
- SATHRE, R., GRDZELISHVILI, I. (2006), « Industrial symbiosis in the former Soviet Union », *Progress in Industrial Ecology. An International Journal*, 3, 379-392.
- SCHUMPETER, J. A. (1934), *Théorie de l'évolution économique : recherches sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la conjoncture*, Paris, Dalloz-Sirey, 372 p.
- SCHUMPETER, J. A. (1939), *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, New York and London, 674 p.
- SORRELL, S. (2007), *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, UK Energy Research Centre, 123 p.
- SORRELL, S., DIMITROPOULOS, J., SOMMERVILLE, M. (2009), « Empirical estimates of the direct rebound effect: A review », *Energy Policy*, 37, 1356-1371.
- TAN, R. R., CULABA, A. B., PURVIS, M. R. I. (2002), « Application of possibility theory in the life-cycle inventory assessment of biofuels », *International Journal of Energy Research*, 26, 737-745.
- TORRE, A. (1993), « Interactions techniques et indépendances hors marché: quelques réflexions », *Revue française d'économie*, 8, 71-108.
- THEYS, J. (1993), « L'environnement à la recherche d'une définition », *Notes de méthode de l'IFEN*, n° 1.
- VIVIEN, F.-D. (2007), « Sustainable development : un problème de traduction », *Responsabilité et environnement*, 48, 1-4.
- VAN DEN BERGH, J.C.J.M., TRUFFER, B., KALLIS, G. (2011), « Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 1-23.
- WEBER, M., HEMMELSKAMP, J. (2005), *Towards environmental innovation systems*, New York: Springer, 370 p.