

# L'ÉCO-INNOVATION : UNE OPPORTUNITÉ POUR L'AVENIR DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

## QUELQUES ÉLÉMENTS DE BILAN ET DE PROSPECTIVE AUX NIVEAUX EUROPÉEN ET INTERNATIONAL.

Article : 42 → 51 schémas 52 → 53 Bibliographie : 54 → 55  
Notes de bas de page : 56

41

VOLUME 1 NUMÉRO 2  
AUTOMNE/FALL 2006  
ARTICLES

### SYLVIE FAUCHEUX

PROFESSEURE, SCIENCES ÉCONOMIQUES ET PRÉSIDENTE,  
UNIV. DE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES

### CHRISTELLE HUE

INGÉNIEUR DE RECHERCHE, SCIENCES ÉCONOMIQUES,  
CENTRE D'ÉCONOMIE ET D'ÉTHIQUE POUR  
L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT (C3ED),  
UNIV. DE VERSAILLES SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES

### ISABELLE NICOLAÏ

MAÎTRE DE CONFÉRENCES EN SCIENCES  
ÉCONOMIQUES, C3ED

## RÉSUMÉ

Ce texte se focalise sur le rôle que les éco-innovations peuvent jouer en matière de compétitivité, notamment pour l'économie et les entreprises européennes. Une première partie fait ressortir les grandes tendances internationales en émergence quant aux caractères des éco-innovations, afin d'identifier les leviers permettant d'accroître leur performance. Ensuite, une vision prospective de ce que seront les éco-innovations les plus probables à moyen et long terme permet de comprendre la place des différents pays dans leur développement ainsi que leurs principaux marchés et enjeux. Enfin, nous identifions les écueils à éviter et les précautions à prendre afin de s'assurer que l'éco-innovation ne soit pas guidée que par des considérations économiques et qu'elle obéisse également aux principes d'équité et d'acceptabilité sociétale, à la base du développement durable.

## ABSTRACT

This paper underlines the part that eco-innovations can play with regards to competitiveness, in particular in the economic space of Europe. The first part identifies main international tendencies in emergence with the characters of eco-innovations, which is linked to levers increasing their performance. The second part offers a prospective vision of what will be the most probable eco-innovations in the middle and long term, in order to understand the developmental position of the various countries, as well as their principal markets. We finish by identifying the obstacles to avoid and the precautions to take in order to make sure that eco-innovation is not guided solely by economic considerations, and that it obeys the principles of equity and societal acceptability at the base of sustainable development.

## INTRODUCTION

L'innovation technologique est devenue le moteur de la compétitivité. C'est pourquoi, à Lisbonne, en mars 2000, l'Union européenne se fixait l'objectif de « devenir l'économie de la connaissance la plus compétitive et la plus dynamique du monde ». À cette fin, elle insistait sur l'importance de la recherche scientifique et technique. En juin 2001, le Conseil Européen de Göteborg convenait d'une stratégie de développement durable en ajoutant une dimension environnementale à la stratégie de Lisbonne. Or, l'innovation technologique et organisationnelle liée à la mise en œuvre du développement durable, ou encore ce que l'on qualifie d'"éco-innovation", s'inscrit comme un élément moteur dans cette perspective car elle a le potentiel de contribuer à la croissance tout en améliorant la qualité de l'environnement et en protégeant les ressources naturelles. C'est pourquoi, en janvier 2004, la Commission éditait un plan d'action visant à contribuer à l'avancement des éco-innovations au sein de l'UE et dans le monde<sup>1</sup>.

Des signes de plus en plus nombreux attestent de la contribution du développement durable à la compétitivité internationale. Si l'on considère les seules éco-industries, le marché mondial de biens et services environnementaux a été estimé en 2003 à environ 550 milliards d'euros, ce qui le place au même niveau que les industries aérospatiales et pharmaceutiques, et il continue de s'accroître d'environ 5% par an (Commission des Communautés Européennes, 2005). Quelques autres données corroborent ces ordres de grandeur : les technologies du développement durable concentreraient 7,7% de tous les investissements au Canada et 6,4% des investissements des États-Unis<sup>2</sup>.

Le changement technologique et organisationnel en matière de développement durable occupe une place d'importance dans la dynamique compétitive pour diverses raisons parmi lesquelles peuvent être citées les suivantes :

- Au cours des 10-15 dernières années, un certain nombre de secteurs ont été soumis à une pression grandissante par la compétition technologique, due (en grande partie) à la détection de nouveaux problèmes environnementaux, à l'émergence des politiques (publiques et privées) de développement durable et à la réglementation afférente.
- Les impératifs du développement durable contribuent de façon non négligeable à déterminer quelles technologies s'avéreront viables économiquement à long terme et leurs positions relatives.
- La plupart des études prospectives confirment qu'après 2010 on assistera à une explosion des éco-innovations afin de réduire et/ou d'éviter des impacts environnementaux et de développer l'utilisation des énergies renouvelables.

Dans ce contexte, il n'est pas étonnant que les éco-innovations figurent dans les domaines d'excellence appréhendés par «l'espace européen de recherche» (voir notamment les 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> PCRD). C'est pourquoi, le Conseil Européen, sous la Présidence hollandaise, a reconnu, en 2004, que les éco-innovations contribuent positivement aux objectifs de Lisbonne visant la compétitivité européenne et que pour assurer leur promotion, le partenariat entre l'ensemble des parties prenantes européennes doit être encouragé.

En d'autres termes, le fait que l'on puisse s'attendre dans les prochaines années à des transferts significatifs d'activités et d'emplois vers de nouvelles activités économiques liées au développement durable constitue en soi un élément d'optimisme pour l'avenir de ce dernier.

Ce papier s'inscrit dans cette perspective et se focalise sur le rôle que les éco-innovations peuvent jouer en matière de compétitivité, notamment pour l'économie et les entreprises européennes. Dans une première section, sont analysées les grandes tendances internationales en émergence quant aux caractères des éco-innovations afin d'identifier les leviers permettant d'accroître leur performance. La seconde section offre une vision prospective de ce que seront les éco-innovations les plus probables à moyen et long terme, la place des différents pays dans leur développement ainsi que leurs principaux marchés et enjeux. La conclusion insiste sur les écueils à éviter et sur les précautions à prendre afin de s'assurer que l'éco-innovation ne soit pas guidée que par des considérations économiques et qu'elle obéisse également aux principes d'équité et d'acceptabilité sociétale, à la base du développement durable.

## QUELLES ÉCO-INNOVATIONS POUR UNE DYNAMIQUE COMPÉTITIVE ?

L'éco-innovation présente trois facettes complémentaires<sup>3</sup> : d'abord la mise au point de nouveaux procédés et de produits moins polluants; ensuite l'amélioration de procédés existants; enfin le développement de technologies permettant de traiter les pollutions résultant d'erreurs du passé. Par exemple, utiliser les biotechnologies pour éliminer des contaminants toxiques, détruire le soufre contenu dans le charbon, éliminer des odeurs désagréables, lutter contre les bruits, mettre au point des catalyseurs performants et économiques... Elle implique un contenu technologique varié et une grande mobilisation de connaissances, de services et de solutions organisationnelles. Afin de rendre compte de cette diversité, nous présentons différentes typologies pour caractériser l'écotechnologie.

### POUR DES ÉCO-INNOVATIONS INTÉGRÉES ET RADICALES

Deux classifications, qui peuvent être combinées, sont retenues pour caractériser l'éco-innovation :

- une typologie qui fait référence à la nature de l'évolution du système productif du fait de l'innovation : ajoutée / intégrée.
- une typologie qui fait référence à la dimension temporelle des changements sur le processus de production : innovation incrémentale / radicale.

#### 2.1.1. ECO-TECHNOLOGIES AJOUTÉES /ECO-TECHNOLOGIES INTÉGRÉES

La nature des technologies contribuant à améliorer les performances environnementales a évolué au cours des dernières décennies. Les technologies ajoutées (dites en « bout de chaîne »), à l'origine du développement des éco-industries ou des industries de dépollution, à partir des années 1970, constituent désormais un ensemble trop restrictif d'écotechnologies. Les technologies ajoutées sont des dispositifs qui sont ajoutés aux procédés ou aux produits existants, de manière à réduire les dommages environnementaux liés à la production ou à la consommation. Leur contribution à accroître la compétitivité tout en améliorant la performance environnementale semble limitée sur le moyen et le long terme. Ces technologies comprennent les processus et les produits d'isolation, de stockage, d'élimination des déchets comme les techniques d'incinération des déchets industriels, d'assainissement des eaux, de lavage des sols contaminés. La France a acquis un avantage concurrentiel indéniable en ce

domaine : les éco-entreprises françaises occupent le 4e rang mondial et réalisent environ 30 % de leur activité à l'international<sup>4</sup>. Bien que ces technologies n'empêchent pas la création de polluants, elles s'avèrent indispensables pour réduire les émissions toxiques. Cependant, elles déplacent souvent davantage les problèmes d'environnement qu'elles ne les éliminent (ex. : déchets solides toxiques plutôt que fumées toxiques). Les entreprises qui développent de tels changements technologiques participent à l'adoption de stratégies environnementales défensives. Elles favorisent l'éco-innovation pour s'adapter elles-mêmes (si elles sont polluantes) ou pour que d'autres s'adaptent (si elles appartiennent au secteur de la dépollution) ex-post à la réglementation.

L'évolution de la nature des problèmes environnementaux a fait apparaître de nouveaux types d'écotechnologies. Le débat environnemental s'est déplacé vers des problèmes plus complexes tels que l'épuisement des ressources, la réduction des déchets, la perte en biodiversité, les changements climatiques. La réponse proactive des industriels a alors consisté à mettre en place des technologies avec un objectif différent : plutôt que de limiter les émissions en fin de processus (innovation ajoutée), l'attention se porte sur la réduction de la consommation de ressources naturelles et la limitation de l'utilisation de substances toxiques tout au long du cycle de vie du produit (innovation intégrée). Cela comprend toutes les méthodes<sup>5</sup> pour utiliser le plus efficacement possible les entrées de matière au sens générique du terme (énergie, matière, eau, paysage...) en évitant les déchets et/ou en réutilisant les résidus de production comme matières premières secondaires pouvant constituer pour d'autres des intrants de production. Ces approches sont communément qualifiées d'intégrées ou de technologies propres ou encore de technologies économes en « capital naturel ». Les technologies intégrées ne comprennent pas seulement des technologies au sens technique et matériel, mais aussi des solutions organisationnelles et de conception. Dans cette perspective de réduction des flux de matière, d'amélioration de l'efficacité énergétique ou de substitution produits-services, se propagent en Europe, en Asie et en Amérique du Nord, les « écovilles », les « territoires durables », les « parcs éco-industriels », dont les retombées positives en termes économiques, sociaux et écologiques sont considérables.

Ces technologies peuvent être qualifiées de « *natural capital augmenting* ». Soit elles vont dans le sens d'une amélioration de la productivité des ressources naturelles, soit elles permettent de réduire l'impact négatif des polluants et des flux de déchets à partir d'un niveau donné de production de biens et de services. Dans ces conditions, les technologies inté-

grées sont en mesure de susciter un changement structurel écologique permettant un découplage (« *delinking* ») entre la croissance économique et les facteurs nuisibles à l'environnement.

## 2.1.2. ÉCO-INNOVATIONS INCRÉMENTALES / ÉCO-INNOVATIONS RADICALES

Les innovations incrémentales sont des perfectionnements apportés aux produits ou aux techniques de production qui surviennent de manière continue au fil de l'histoire des techniques. La plupart des éco-innovations, ajoutées et intégrées, ont jusqu'à présent appartenu à la catégorie des innovations incrémentales, en ce sens qu'elles ne constituent que des améliorations de la qualité, la productivité, la diversité du processus de production qui s'installent au cours du temps.

Toutefois, de plus en plus d'innovations radicales répondent à des objectifs environnementaux : la chimie sans chlore, les bios-carburants, l'énergie photovoltaïque. Nombre d'éco-innovations de demain résulteront d'innovations radicales au sein d'autres systèmes techniques : la chimie de synthèse, les nouveaux matériaux, les biotechnologies, l'informatique, etc...

Une des caractéristiques des éco-innovations est leur caractère diffus (Kuntze, 1998). Les écotechnologies peuvent être développées dans tous les secteurs industriels car elles sont développées ou appliquées pour des motifs de performance environnementale quel que soit leur champ d'application (technologie de l'information, biotechnologie, bâtiment...). Le développement durable crée dès lors de nouveaux champs d'application à la plupart des innovations technologiques.

L'exemple des applications de l'optique photonique et de la thermographie aérienne infrarouge pour mesurer le niveau de déperdition thermique des bâtiments est tout à fait révélateur. Cet outil diagnostic, couplé à un outil cartographique, est, par exemple, utilisé par la Communauté urbaine de Dunkerque afin de l'aider à la mise en œuvre d'une politique d'efficacité énergétique des bâtiments et pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre<sup>6</sup>. De même, l'utilisation de systèmes de transports intelligents peut considérablement contribuer à réduire les encombrements de la circulation et ainsi à atténuer les incidences sur l'environnement<sup>7</sup>. Sous l'appellation « systèmes de transport intelligents », sont regroupées toutes les applications de la télématique au domaine des transports, combinant l'électronique embarquée (capteurs, moyens de calcul de régulation), les télécommunications, les bases de données et d'information, etc. Les Japonais semblent avoir acquis une certaine avance dans ce domaine.

### 2.1.3. QUELLES ÉCO-INNOVATIONS PRIVILÉGIER POUR UNE COMPÉTITIVITÉ EUROPÉENNE ?

À titre d'illustration (voir Schéma I : Eco-Innovations dans le secteur Automobile) un panorama de quelques éco-innovations dans le secteur de l'automobile peut être dressé selon leur nature (ajoutée, intégrée, incrémentale, radicale). Par exemple, les éco-innovations contrôlant la pollution de manière ex post, comme l'ajout de filtres à particules, peuvent être considérées comme incrémentales, puisqu'elles n'apportent pas une rupture dans l'évolution des procédés ou des produits. Elles sont ajoutées dans la mesure où elles n'évitent pas la pollution à la source, mais la détournent. Les éco-innovations liées à la motorisation électrique recourant à la pile à combustible sont intégrées dans la mesure où :

- elles évitent la dégradation de l'environnement à la source et constituent des innovations radicales puisque le processus de production est entièrement nouveau (pratiquement pas de combustion dans le véhicule électrique) ;
- elles offrent une combustion « propre » dans le cas d'injection directe essence ou diesel, au lieu d'une combustion conventionnelle thermique. De façon générale, le remplacement partiel ou total des produits pétroliers par l'électricité ou le gaz amène des ruptures radicales, tant au niveau de la fabrication, qu'au niveau de la commercialisation des véhicules.

Le processus de développement des innovations radicales nécessitent plus de temps que ceux relatifs aux technologies incrémentales. Ils impliquent une recherche fondamentale en amont plus importante n'ayant pas de valorisation immédiate. L'incertitude technologique se double d'une incertitude quant à la législation, la normalisation, ainsi que sur l'identification du marché. Il s'agit alors d'inciter le rapprochement de partenariats privés/publics pour la R&D afin de réduire les temps de valorisation et de diffusion, notamment auprès des PME. Le nouveau système de fondation de recherche (créée en 2003) en France répond en partie à ce besoin. C'est ainsi, par exemple, que l'Université de Versailles-St Quentin en Yvelines est à l'initiative de Fondaterra (Fondation Européenne pour des Territoires Durables)<sup>8</sup>. De la même façon, à l'instar de ce qui se passe dans d'autres pays européens (Pays-Bas, Danemark...), la nouvelle organisation du système français de recherche et de formation supérieure, au cœur des futurs « pôles de compétitivité »<sup>9</sup> favorisant la constitution de « clusters », est également susceptible de répondre à un tel défi. Ainsi, la Région Île de France a-t-elle soutenu en 2005 la constitution d'un pôle de

compétitivité sur le thème « Ville et Mobilités Durables » avec pour objectif essentiel la promotion de R&D afin de susciter les éco-innovations.

La prolifération des éco-innovations souligne l'importance d'une part, de travaux de R&D à caractère pluri et inter-disciplinaire (Guesnerie, 2003 ; d'autre part de liens étroits entre les acteurs publics, le secteur privé et les universités, non seulement au niveau de la recherche scientifique et technologique sous-jacente à ces technologies, mais aussi dans leurs applications. Comme Vollenbroek *et al.* (1998) le suggèrent, les écotecnologies sont plus efficaces quand elles sont utilisées, non pas de façon indépendante, mais en tant que système technologique. La nature interdisciplinaire et intersectorielle des éco-innovations rend également indispensable la coopération internationale, notamment européenne, pour leur développement. Une telle coopération est encore plus importante dès lors qu'il s'agit de faire face à des problèmes environnementaux globaux tels que les changements climatiques ou les pertes en biodiversité.

Il est important que les entreprises et le secteur public des pays européens prennent conscience de ces distinctions dans leur choix d'investissement en matière d'éco-innovation. Des éco-innovations à la fois intégrées et radicales peuvent être source de réels avantages concurrentiels sur le long terme du fait de la création de nouveaux segments de marché, de la création de niches commerciales ou réglementaires<sup>10</sup> tout en conservant une logique de préservation de l'écosystème et d'intégration dans un territoire. Toutefois, les éco-innovations radicales sont porteuses en même temps de ruptures susceptibles de changer les modes de production, de consommation et de style de vie par le biais de nouvelles trajectoires technologiques, sources de nombreuses valorisations brevetables. Elles suscitent donc à la fois éco-efficience et compétitivité (Price Water House Coopers, 2004) mais également imposent des modifications de comportement aux agents économiques.

### 2.2. VERS UNE SUBSTITUTION DES SERVICES AUX PRODUITS

La réduction de la pollution et de l'utilisation des ressources naturelles (en d'autres termes la dématérialisation de l'économie) relativement aux biens produits dans les processus industriels ne peut pas être réalisée uniquement en réduisant les flux de matière et/ou d'énergie au niveau du processus de production. Il faut aussi redéfinir la fonction des produits.

L'effort d'innovation porte alors sur la maîtrise des flux de matière et d'énergie extraites de la biosphère, puis utilisées et transformées au cours de la production et finalement déposées et émises dans la nature. L'économie de fonctionnalité (*service economy* en anglais), à savoir, la

substitution de la vente de l'usage d'un bien à la vente du bien lui-même, apparaît comme l'une des solutions visant à dématérialiser l'économie (Giarini et Stahel, 1993). Le « contenu informationnel » des produits, du point de vue de la valeur marchande, a augmenté plus rapidement que leur contenu matériel n'a diminué. La valeur ajoutée par une conception améliorée, des caractéristiques et des usages supplémentaires, et le recours à des matériaux plus appropriés permettent de dissocier la croissance économique de l'utilisation des ressources.

Plusieurs multinationales ont mis en place, avec succès, des stratégies de ce type. Volvo Gothenburg propose les services d'achat et de rachat d'une voiture et la possibilité de « construire » sa voiture via le web. Des services additionnels tels que le dépannage, la révision, le changement de voiture selon les saisons font également partie de la stratégie de développement du groupe. Safechem et Dow Germany louent des solvants pour sécher des détergents. Mobil Oil offre le monitoring pour la qualité de l'huile à la place de l'huile de moteur. Un grand nombre de sociétés pratiquent déjà un système volontaire de rachat ou de reprise gratuite, comme Kodak et Fuji pour leurs caméras portables, ou GE Medical Systems pour l'équipement médical.

L'économie de fonctionnalité permet de diminuer la quantité de déchets émis pour la même utilisation, mais aussi de diminuer considérablement les ressources utilisées pour la production grâce à l'allongement de la durée de vie des produits. Une entreprise vendant un service fourni par un produit, qui demeure sa propriété, devra traiter ce dernier en fin de vie. Elle sera alors incitée à intégrer dès sa conception les contraintes liées à la gestion du déchet qu'il deviendra tôt ou tard, ainsi qu'à la capacité du produit d'être facilement réparable (Xerox recycle une majorité des composants des photocopieurs qu'elle loue et récupère en fin de vie, à tel point que les éléments recyclés forment à 90% les nouvelles photocopieuses). L'entreprise veillera à ce que le produit dure le plus longtemps possible, contrairement à la logique économique qui veut que le renouvellement de l'acte d'achat soit le plus rapide possible (Xerox réalise une importante économie de matière en maintenant les photocopieurs qu'elle loue en bon état). Au niveau de la consommation, la propriété d'un produit par une seule personne peut s'avérer écologiquement désastreuse du fait d'une intensité d'utilisation trop faible ou d'une durée de vie écourtée si les besoins individuels ne correspondent plus aux spécificités du produit. Le partage de l'utilisation des produits (comme le *car sharing* ou le *pooling*) augmente l'intensité d'utilisation et donc réduit l'impact environnemental. Toutes les innovations mises en oeuvre dans le cadre de l'économie de fonctionnalité permettent d'amoin-drir l'impact de

l'activité sur l'environnement, tant en matière de dépenses de ressources que de production de déchets. Ces innovations portent par exemple sur les économies d'énergie au niveau de l'utilisation du bien, la durabilité et la modularité du produit (de telle sorte qu'un éventuel progrès technique d'importance portant spécifiquement sur la caractéristique d'une seule pièce n'implique pas nécessairement le remplacement de l'ensemble du bien mais le remplacement d'un unique module) et donc de façon induite sur ses performances (Bourg, Buclet, 2005).

Il existe une tendance croissante pour les entreprises pro-actives à remplacer les produits par des services, d'autant plus qu'ils s'accompagnent d'autres avantages comme une fidélité accrue du consommateur et des coûts de marketing réduits (Faucheux *et al.*, 1998). De nombreuses initiatives réussies de jeunes entrepreneurs, notamment dans les pays d'Europe du Nord, consistent à créer des sociétés fournissant de nouveaux services capables de remplacer des produits. Ces éco-innovations sont donc source de création d'emplois et de valeurs économiques.

Cependant, le développement de l'économie de fonctionnalité peut se heurter à certaines difficultés. Des entreprises ayant voulu s'engager dans cette voie se sont rendues compte qu'elles perdaient le contrôle du marché. Par ailleurs, la clientèle peut ne pas adhérer au concept. Avec une économie de fonctionnalité, la consommation de produits technologiques doit être éthique et raisonnée. L'économie de fonctionnalité ne peut pas être étendue à certains secteurs si elle n'est pas accompagnée d'un changement d'attitude des consommateurs vers des comportements éthiques, civiques et responsables. Enfin, un obstacle important au développement de l'économie de fonctionnalité relève d'un phénomène social : le besoin de propriété individuelle. Maslow décrit bien les besoins des consommateurs qui, à travers des besoins sociaux et d'appartenance, sont enclins à acquérir la propriété de biens pour se rassurer, être à la mode et jouir de la maîtrise qu'ils ont sur un objet.

De plus, ces formes d'éco-innovations semblent souvent plus difficiles à mettre en oeuvre que les éco-innovations plus standards dans la mesure où elles impliquent une transformation des modes de consommation (Zaccai, 2000). Si la concertation avec les utilisateurs potentiels se révèle indispensable pour la réussite de ces projets, les technologies de l'information et de la communication aident fortement à organiser de tels systèmes de partage. Dans cette optique, la conception ou le réaménagement de zones urbaines ou de logements dans une optique « durable » favorisent le développement de ces services. Les exemples de Bed ZED (Beddington Zero Energy Development), en Angleterre, Mata de

Sesimbra au Portugal, illustrent ces nouveaux modes de vie durable (Angenius, 2004).

La question de la transition des produits vers les services est encore largement absente des politiques de soutien à l'éco-innovation. Cela s'explique en partie par le fait que les services, comme ceux décrits ici, ne relèvent pas tant des nouvelles technologies que d'une innovation dans l'organisation et l'utilisation des produits. En conséquence, les services qui ne sont pas considérés sous l'angle d'une technologie nouvelle ne sont pas identifiés dans la plupart des politiques et de mesure en faveur de la R&D environnementale. Pourtant, ces derniers sont non seulement source d'éco-efficience, mais également créateurs de débouchés, d'entreprises, de nouveaux métiers et d'emplois. Les expériences positives issues des pays d'Europe du Nord et de plus en plus de l'Asie, devraient malgré tout créer un champ d'action plus large pour ces nouveaux marchés.

## LES ÉCO-INNOVATIONS EN ÉMERGENCE

Dans la plupart des études de « *foresight* », le développement durable est considéré comme un « critère d'importance » pour classer les diverses technologies. Il s'agit d'un phénomène récent, puisque dans les années 1980, la croissance économique, la compétitivité technologique, la taille du marché et la défense nationale constituaient les seuls critères dominants.

### 3.1 LES ÉCO-INNOVATIONS AU CŒUR DES GRANDS EXERCICES DE PROSPECTIVE

Les deux grandes approches qui co-existent au niveau international par rapport à la synergie entre politique environnementale (et plus largement de développement durable) et politique technologique insistent sur l'importance future des éco-innovations<sup>11</sup>.

- La première, véhiculée par les États-Unis, vise à maintenir le leadership économique et c'est elle qui se trouve au cœur des *foresights* qualifiés de technologiques. Il s'agit de sélectionner les domaines de R&D assurant le plus grand nombre de retombées en matière de valorisation passant notamment par le nombre de brevets. Les éco-technologies et l'éco-innovation y sont perçues comme des « critical technologies », c'est-à-dire des « technologies essentielles au développement à long terme de la sécurité nationale ou de la propriété économique » (Rand, 1998). En témoignent, par exemple, les gigantesques programmes américains de R&D autour des éco-innovations de lutte contre les changements climatiques (séquestration du car-

bone, énergies renouvelables, hydrogène à destination des transports) et ceci en dépit du refus des États-Unis de ratifier le protocole de Kyoto. Le principal argument étant qu'il est préférable de financer des recherches qui déboucheront sur des éco-innovations radicales sur le long terme en faveur de la lutte contre les changements climatiques, plutôt que d'investir dans des politiques visant à atteindre les objectifs de Kyoto sur le moyen terme (Faucheux et Joumni, 2005).

- La seconde s'interroge d'abord sur les objectifs de la société en termes d'environnement et plus largement de développement durable et ensuite sur les différents moyens d'y parvenir. En plus de l'innovation technologique améliorant l'efficacité environnementale des produits, des procédés et des activités, des changements institutionnels et/ou organisationnels sont envisagés. Cette conception, au sein de laquelle les Pays-Bas ont acquis une avance indéniable (Van der Meulen, 1999), prend le pas dans nombre de pays européens qui ont reformulé leur politique de R&D pour obéir aux impératifs environnementaux et de développement durable (Allemagne, Grande-Bretagne, Danemark, etc ..). Ainsi, l'innovation technologique constitue un moyen d'atteindre les objectifs sociétaux en matière d'environnement et de développement durable. Cette approche est celle propagée par ce que l'on qualifie désormais de *foresights* sociaux.

Selon ces deux visions :

- Le champ de l'environnement est l'un des grands thèmes identifiés dans lesquels les innovations technologiques sont susceptibles de se produire dans le premier quart du 21<sup>e</sup> siècle.
- Il existe un large consensus sur les éco-innovations en émergence pour le début du 21<sup>e</sup> siècle.
- Nombre de ces éco-innovations seront dépendantes des avancées dans trois grands vecteurs technologiques, à savoir les technologies de l'information, les nanotechnologies et l'ingénierie génétique.

### 3.2 LA POSITION COMPÉTITIVE INTERNATIONALE POUR LES FUTURES ÉCO-INNOVATIONS

Les tentatives d'identification des éco-innovations clés du futur montrent de remarquables convergences en dépit des différences dans les méthodologies de *foresights* sur lesquelles de telles analyses sont fondées. Un consensus existe donc au niveau international sur les technologies génériques et sur de larges domaines d'applications. Les domaines tech-

nologiques génériques comprennent les technologies de l'information et de la communication, les biotechnologies, les nano et les micro-technologies, les matériaux avancés. Les domaines d'application concernent l'agriculture, le traitement de l'eau, le traitement et la gestion des déchets et des substances dangereuses, les transports, la construction, les procédés industriels, l'énergie ainsi que le *monitoring* et la lutte contre les changements environnementaux globaux.

Les résultats présentés ci-dessous (voir *Schéma II: Road Map des éco-innovations du futur*) sont issus d'une analyse comparative des différents *foresights* nationaux menés dans divers pays (Royaume Uni, Allemagne, France, États-Unis, Pays-Bas, Australie, Japon) et au niveau européen (Faucheux et Hue, 2001; IPTS, 1999).

- **Les détecteurs avancés.** Les avancées technologiques dans les détecteurs sont très importantes pour aborder les problèmes environnementaux à la fois locaux et globaux. Les détecteurs seront de plus en plus utilisés pour contrôler la qualité de l'air et de l'eau ainsi que les changements globaux du climat, la couche d'ozone stratosphérique, l'environnement marin et les divers écosystèmes. Les exercices menés aux États-Unis et au Japon insistent sur l'importance de ces innovations après 2015 et indiquent une certaine avance de ces pays par rapport à l'Europe.
- **Les biotechnologies.** Les biotechnologies représentent un potentiel important en matière d'éco-innovations, à condition d'obéir, notamment en Europe, à des critères éthiques. Les bioprocédés seront utilisés pour limiter les polluants issus de la fabrication; les micro-organismes pour aider à la réhabilitation des sols; les matériaux biodégradables pour réduire les déchets; et l'agrogénétique pour limiter les impacts défavorables des pesticides et autres produits chimiques dans l'agriculture. Les études américaines anticipent une diffusion plus rapide pour ce dernier type d'application, du fait de l'importance des débats de société autour de ces questions en Europe. Selon les exercices menés aux Pays-Bas et aux États-Unis, on devrait assister, après 2015, à un large remplacement des matériaux actuels par des matériaux biologiques. Les États-Unis bénéficient d'une avance indéniable, suivis par des pays européens comme les Pays-Bas.
- **Les technologies de voitures propres.** Parmi les technologies améliorant la durabilité de la voiture du futur, citons les batteries alternatives, les matériaux légers, l'injection directe, les piles à combustible et les technologies de recyclage - toutes ayant pour effet de réduire la consommation de carburant et les émissions. Cette réduction

s'explique, dans l'ensemble des *foresights* étudiés, par l'introduction importante, à partir de 2010, de nouveaux matériaux comme la céramique, l'aluminium, les résines ainsi que par une plus grande efficacité du moteur. L'Europe, et en particulier la France, se place en bonne position dans ce champ d'éco-innovations.

- **Le recyclage des produits et des déchets.** De nouvelles techniques de gestion de la production telles que l'analyse du cycle de vie, ou encore l'empreinte écologique, ainsi qu'une responsabilité étendue du producteur seront prises en compte dans la conception du produit de façon à faciliter le recyclage des biens de consommation et la fabrication des inputs. Cela implique des avancées dans les technologies des matériaux et de nouvelles techniques pour récupérer et réutiliser les ressources naturelles. Les études allemandes et japonaises accordent une large place au recyclage des produits dans les éco-innovations. Selon elles, vers 2010, les producteurs de biens consommables à longue durée de vie seront obligés par une loi d'accepter le retour de leurs biens en fin de vie et de les détruire, mettant ainsi en place un véritable système de recyclage comprenant la programmation, la production, la collecte et le recyclage ou la réutilisation, grâce auquel, un cycle de la matière pratiquement fermé peut être réalisé<sup>12</sup>. Les études japonaises prévoient juste après 2010 des concepts de produits verts encourageant le recyclage et la réutilisation. Un recours largement répandu aux technologies de recyclage des plastiques est également prévu autour de 2010. Les études britanniques mettent, quant à elles, l'accent sur les matériaux de construction recyclés, les composites incorporant des matériaux synthétiques, tels les plastiques, conséquences de la modification des concepts de construction et des standards de conception. Généralement les études coïncident en grande partie sur la période de réalisation. Vers 2016, la majorité des biens manufacturés devrait utiliser des matériaux recyclés. De même, les *foresights* s'accordent sur le fait que vers 2008, la moitié des déchets ménagers devrait être recyclée. De façon générale, la position de l'Europe est forte pour les innovations dans ce domaine. L'Allemagne et le Japon font figure de leader.
- **Le traitement de l'eau intelligent.** Les méthodes et techniques de traitement et d'épuration de l'eau utiliseront de nouveaux enzymes, catalyses, bioprocédés et autres techniques avancées. L'Europe, notamment la France et les Pays-Bas, apparaît en bonne position dans ce champ qui devrait connaître une véritable explosion après 2012.



- **La gestion de l'environnement global.** Il s'agit d'éco-innovations permettant la compréhension et la gestion de l'écosystème global, de la désertification, de la qualité des sols. Vers 2016-2020, des éco-innovations seront appliquées aux paysages désertiques à travers le monde pour arrêter la désertification. De même, les technologies de fixation de CO<sub>2</sub>, de photosynthèse artificielle et l'introduction d'espèces de plantes résistantes à la sécheresse et au sel devraient se propager vers 2020. L'Europe s'avère en retrait par rapport aux États-Unis sur ce type d'éco-innovations.
- **Des procédés industriels et des zones résidentielles plus propres.** Les procédés industriels, ainsi que les zones résidentielles du futur utiliseront moins de matière et d'énergie et produiront moins de déchets et d'émissions dangereuses grâce au recours aux catalyseurs biologiques et chimiques avancés, à la séparation avancée ou encore aux technologies économes en énergie. Des procédés radicalement plus propres peuvent recourir à la microtechnologie dans des unités de production décentralisées avec des impacts environnementaux réduits. Entrent aussi dans cette catégorie l'écodesign, l'écologie industrielle<sup>13</sup> ou les parcs éco-industriels<sup>14</sup> (également qualifiés d'écoparcs). La plupart de ces éco-innovations devraient se diffuser après 2010. Les pays d'Europe du Nord, l'Allemagne, la Grande-Bretagne ainsi que les pays d'Asie tels que le Japon ou la Chine font preuve d'une certaine avance (Bourg et Erkman, 2003). Le Canada n'est pas en reste, avec le parc de Burnside, localisé dans la région d'Halifax en Nouvelle-Ecosse, (qui constitue l'un des pôles industriels les plus performants de ce pays) et avec la School for Resource and Environmental Studies de l'université de Dalhousie qui applique à cette zone industrielle existante les principes de l'écologie industrielle. La France, quant à elle, accuse un certain retard, dans la mesure où il n'existe encore aucun écoparc sur son territoire. Toutefois, quatre projets sont en cours. Trois d'envergure en île de France, à l'initiative de et réalisé par Fondaterra (dans le Mantois, à Aulnay sous Bois et dans le Val de France)<sup>15</sup> et un dans le couloir de la chimie de la région Rhône Alpes.
- **Les énergies renouvelables et les nouvelles technologies de l'énergie.** Les énergies solaire et éolienne, la biomasse, l'hydrogène ainsi que des technologies de charbon propres et des systèmes de conversion efficaces tels que la cogénération se propageront dans le futur. Des technologies améliorées de stockage et de transport de

l'énergie, comme les volants d'inertie et la supraconductivité amélioreront radicalement l'efficacité énergétique. Ces écotecnologies, ainsi que celles liées à la séquestration du carbone commenceront à être largement diffusées autour de 2020. L'Europe est moins avancée dans ce domaine que les États-Unis ou le Japon<sup>16</sup>. Une proportion significative (10%) de l'usage énergétique devrait, dès 2010, être dérivée des sources énergétiques alternatives, comme la géothermie, l'hydroélectricité, le solaire/photovoltaïque. Le photovoltaïque verra son utilisation se répandre dans le cadre des écotecnologies améliorant l'efficacité de conversion et les performances de coût. Il sera appliqué dans les bâtiments, les automobiles et les unités génératrices décentralisées. De même, les sources énergétiques organiques couvriront, après 2010, également 10% des besoins énergétiques. L'hydrogène, pour lequel les États-Unis dénotent une avance importante, ne serait pas utilisé couramment de façon commerciale avant 2026 et, selon les exercices américains, l'énergie de fission pourrait constituer 50% de la génération d'électricité à partir de 2030. Les exercices européens (notamment français) se montrent plus optimistes sur cette dernière date, ce qui peut s'expliquer, en partie, par une plus forte avance européenne en matière de fission.

- **L'efficacité énergétique.** Les éco-innovations améliorant l'efficacité énergétique sont particulièrement répandues dans les travaux des pays d'Europe du Nord, de l'Allemagne, des Pays-Bas et du Japon qui investissent énormément dans ce champ. Elles touchent en particulier le transport. On peut citer les voitures consommant 2 litres/100kms, les voitures à pile à combustible, les voitures et avions à hydrogène, le trafic combiné avec des conteneurs intelligents, les services de transport public sur demande, etc. Le secteur de la construction et du bâtiment est également concerné par l'amélioration de l'efficacité énergétique. Parmi les innovations, citons les fenêtres et les façades intelligentes, les bâtiments énergétiquement indépendants, ou encore l'utilisation intelligente de la lumière du jour pour l'éclairage. Il convient d'évoquer également certaines options technologiques ne pouvant pas être regroupées en grande catégorie. Il s'agit, par exemple, du contrôle électronique de la révolution des moteurs électriques, du temps de veille réduit des appareils électriques, de la conversion électricité-éclairage hautement efficace. Un consensus semble se dessiner sur le fait que de nombreuses éco-innovations devraient permettre une amélioration de l'efficacité énergétique de l'ordre de 50% à partir de 2020.

Des exercices de prospective internationale en matière d'éco-innovations doivent être régulièrement menés au niveau des différents états et de la Commission Européenne. Ces derniers les aident en effet à situer leurs avantages comparatifs et à bien définir leurs niches compétitives pour savoir où investir en matière d'éco-innovations. De tels exercices leur permettent également de bien identifier les éco-innovations réellement prometteuses des points de vue environnemental, social et économique et donc à ne pas gaspiller les financements en s'assurant qu'ils répondent bien aux objectifs du développement durable.

### 3.3 QUELS BÉNÉFICES POUR LES ÉCONOMIES ET LEURS ENTREPRISES?

Les débouchés pour les éco-innovations sont à rechercher à travers toutes les branches de l'industrie et les secteurs de l'activité économique. La Commission Européenne estime la taille du marché mondial des éco-technologies à environ 550 milliards d'euros (COM(2005)16). À titre d'exemple, les exportations de turbines pour l'énergie éolienne rapportent, chaque année au Danemark 2 millions d'Euros et Vesta, la plus grosse entreprise productrice de telles technologies, emploie près de 7000 personnes. L'exportation de technologies d'économie d'énergie ramène annuellement à ce même pays environ 1,3 million d'Euros (Ministry of the Environment, Denmark, 2004). À elles seules, les technologies de l'énergie propre (énergie solaire, éolienne, pile à combustible) représenteraient un marché de 16 milliards de dollars en 2004 et 100 milliards en 2014, sur le seul territoire américain. Le capital risque commence à s'y intéresser de près en y investissant 500 millions de dollars en 2004 (Bourg *et al.*, 2006).

Des pays européens, notamment la Grande-Bretagne et l'Allemagne, réalisent des « matrices d'opportunité » pour ces éco-innovations. Ces dernières permettent d'évaluer les potentiels en terme de marché, en distinguant les débouchés possibles pour les pays industrialisés, les pays en émergence et les pays en développement (OST, 1999).

Il est clair que la diffusion de ces éco-innovations peut, dans certains cas, accentuer les inégalités au niveau international (Esty & Gentry, 1997). En effet, leur bénéfice commercial risque d'être distribué de façon inéquitable, ce qui s'avère contradictoire aux principes d'équité inter- et intragénérationnel du développement durable. La demande pour les éco-innovations va connaître une croissance d'au moins 50% dans le premier quart du 21<sup>e</sup> siècle, avec une forte poussée en Asie du Sud Est et en Europe de l'Est. Pourtant, la R&D ainsi que la diffusion des éco-innova-

tions durant cette période, resteront l'apanage des pays de l'OCDE. Les enjeux économiques pour les économies des pays européens s'avèrent donc cruciaux et il semble impératif que ces derniers investissent dans des politiques de R&D en faveur de l'éco-innovation tout en veillant à son adaptation, son transfert et à sa diffusion dans les pays les plus pauvres, notamment d'Afrique. Les enjeux sociaux sont aussi non négligeables si l'on en juge par les perspectives d'emplois offertes. Rappelons, par exemple, que l'on peut estimer à environ 300 000 le nombre d'emplois générés en France par le seul secteur du traitement des déchets. Ainsi, les emplois en Europe liés à ces éco-innovations devraient atteindre près de 5 millions d'ici à 2025 (Bourg *et al.*, 2006).

Les opportunités économiques pour les entreprises développant des stratégies d'éco-innovation semblent également considérables, comme l'évoquent les nouveaux concepts de « *win-win stratégie* » (Porter and van der Linde, 1995) ou encore de responsabilité sociétale de l'entreprise (EU, 2001). Les raisons le plus souvent évoquées sont les suivantes (Faucheu et Nicolai, 2004) :

- Les stratégies d'éco-innovation peuvent conduire à des avantages concurrentiels, comme l'amélioration de la qualité, la réduction des coûts (ex. : l'industrie papetière européenne qui a réduit sa consommation d'eau de près de 50% en 15 ans) et l'ouverture de nouveaux marchés. Certaines entreprises peuvent même se positionner exclusivement sur des éco-innovations afin d'obtenir un avantage comparatif et devenir leader sur cette niche stratégique (exemples : Daimler Chrysler avec la Smart ; Envi-Pur Bio Cleaner dans la République Tchèque).
- De telles stratégies sont également susceptibles d'accroître le profit et la réduction des coûts des entreprises les mettant en œuvre. Ainsi, de nombreuses éco-innovations, de types technologiques ou organisationnels, ayant pour objectif la réduction des émissions de gaz à effet de serre, entraînent des économies d'énergie et réduisent de ce fait le coût des *inputs*. Les opérations de recyclage vont dans le sens d'un tel double dividende. Les entreprises favorisant l'éco-innovation bénéficient aussi d'une meilleure productivité du travail dans la mesure où elles ont tendance à attirer et à conserver les meilleurs employés.
- Le « capital de réputation » de ces entreprises s'avère élevé, ce qui leur permet de bénéficier d'une meilleure image (avec par exemple l'écolabélisation) et d'éviter des opérations de boycottage, notamment par des ONG.

- Ces entreprises se révèlent mieux armées pour faire face à l'évolution du climat juridique et institutionnel au niveau européen où se multiplient des principes tels que la responsabilité étendue du producteur ou encore le principe de précaution (Ashford, 2002)<sup>17</sup>.
- Elles s'inscrivent enfin dans la problématique de l'investissement socialement responsable leur permettant ainsi de bénéficier de la nouvelle génération de fonds financiers en résultant (de Perthuis, 2004).
- Elles peuvent bénéficier des marchés de quotas de CO<sub>2</sub> et notamment du marché européen créé en janvier 2005. Avec 2,2 Gt de CO<sub>2</sub> alloués annuellement sur la période 2005-2007, le marché européen dispose en effet d'un quota sous-jacent nettement plus élevé que celui de tous les systèmes d'échange de permis d'émission opérationnels dans le monde. Sur l'ensemble de 2005, les transactions ont dépassé 260 millions de tonnes et la valeur des transactions a atteint 5 milliards d'euros.

Dans la mesure où les éco-innovations sont appelées à remplacer des technologies traditionnelles et éprouvées, il faut veiller, tant au niveau macro-économique qu'au niveau micro-économique, à préparer ces changements en amont. Ces derniers doivent en effet être impérativement accompagnés d'efforts dans le domaine de la formation professionnelle et d'évolutions de la formation initiale et continue ainsi que de véritables soutiens aux pays du Sud, via notamment le fléchage sur des bourses de mobilité, la codiplomation et les cotutelles de thèse.

## CONCLUSION : POUR UNE GOUVERNANCE CONCERTATIVE EN MATIÈRE DE POLITIQUE D'ÉCO-INNOVATION

Les seules forces du marché ne peuvent suffire à conduire l'éco-innovation à assurer l'avenir du développement durable au niveau international. Les tenants de la « soutenabilité faible »<sup>18</sup> tentent régulièrement de le démontrer sans véritable succès (Faucheux & O'Connor, 2004). En effet, une distribution inéquitable à l'intérieur et entre les pays ne manquerait pas de s'en suivre. De même, les avancées technologiques, même au nom du développement durable, ne sont jamais exemptes de nouveaux risques environnementaux ou sociétaux. C'est d'ailleurs pourquoi, avec l'émergence des préoccupations environnementales et encore davantage du développement durable, on a assisté à un important changement dans les relations entre l'identification du problème et le choix des solutions scientifiques et technologiques. La demande sociale a fait son apparition. C'est

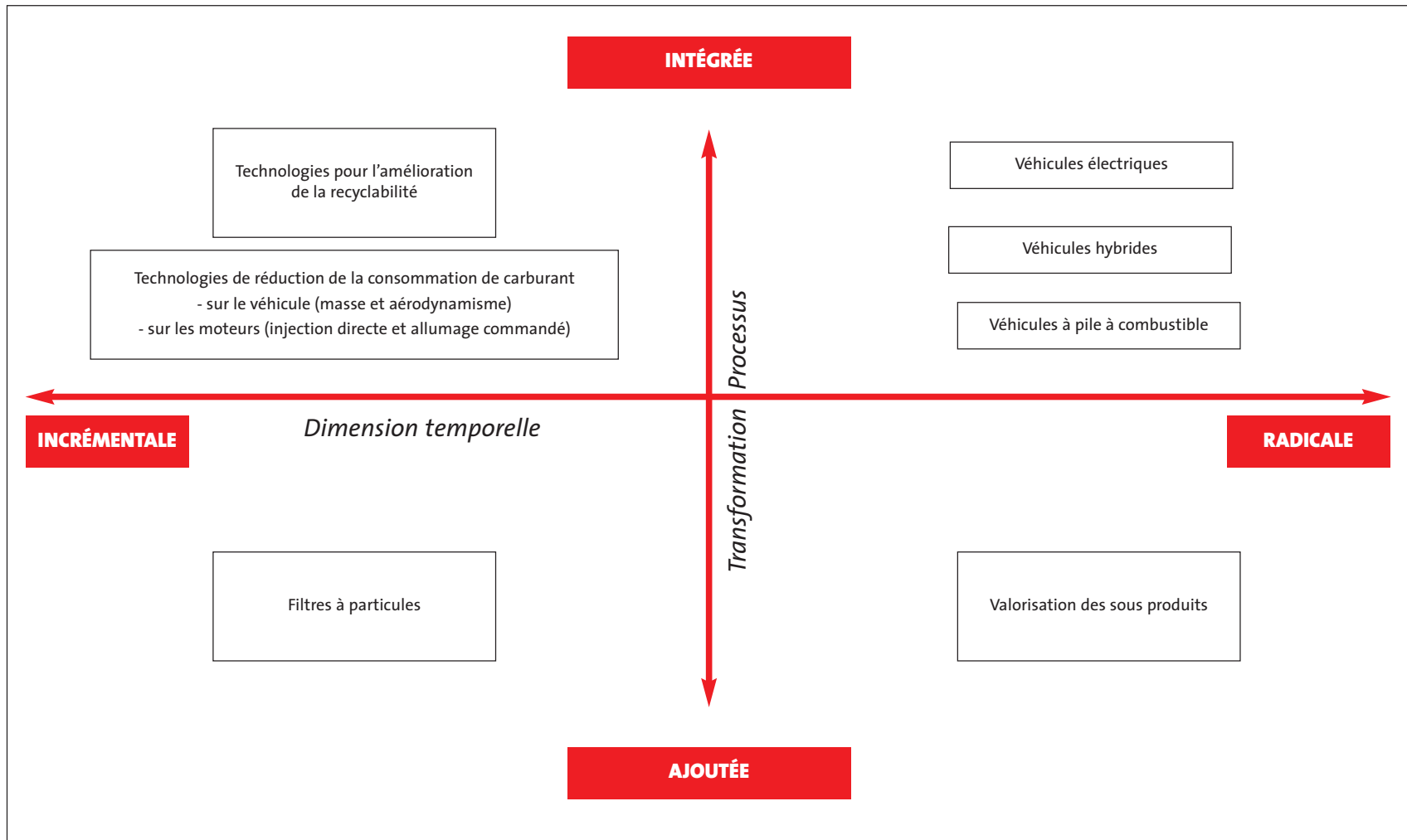
pourquoi Jane Lubchenco (1998) parle, à ce propos de « nouveau contrat social pour la science ».

Les caractéristiques des éco-innovations appellent la concertation entre les différentes parties prenantes (entreprises, collectivités territoriales, chercheurs, institutions publiques, gouvernement, ONG, etc...) pour leur émergence, leur développement et leur diffusion. Le progrès vers des éco-innovations à une large échelle dépend, à un degré considérable, d'une vision politique technologique intégrée. Il appelle une vision concertative de la R&D où, chercheurs, politiques, usagers, entreprises, ONG, collectivités territoriales élaborent ensemble des perspectives d'éco-innovations. Il conjugue aussi recherche scientifique et technologique avec recherche socio-économique afin de déterminer les besoins ainsi que les solutions technologiques et organisationnelles acceptables par la demande sociale (Faucheux & O'Connor, 2000).

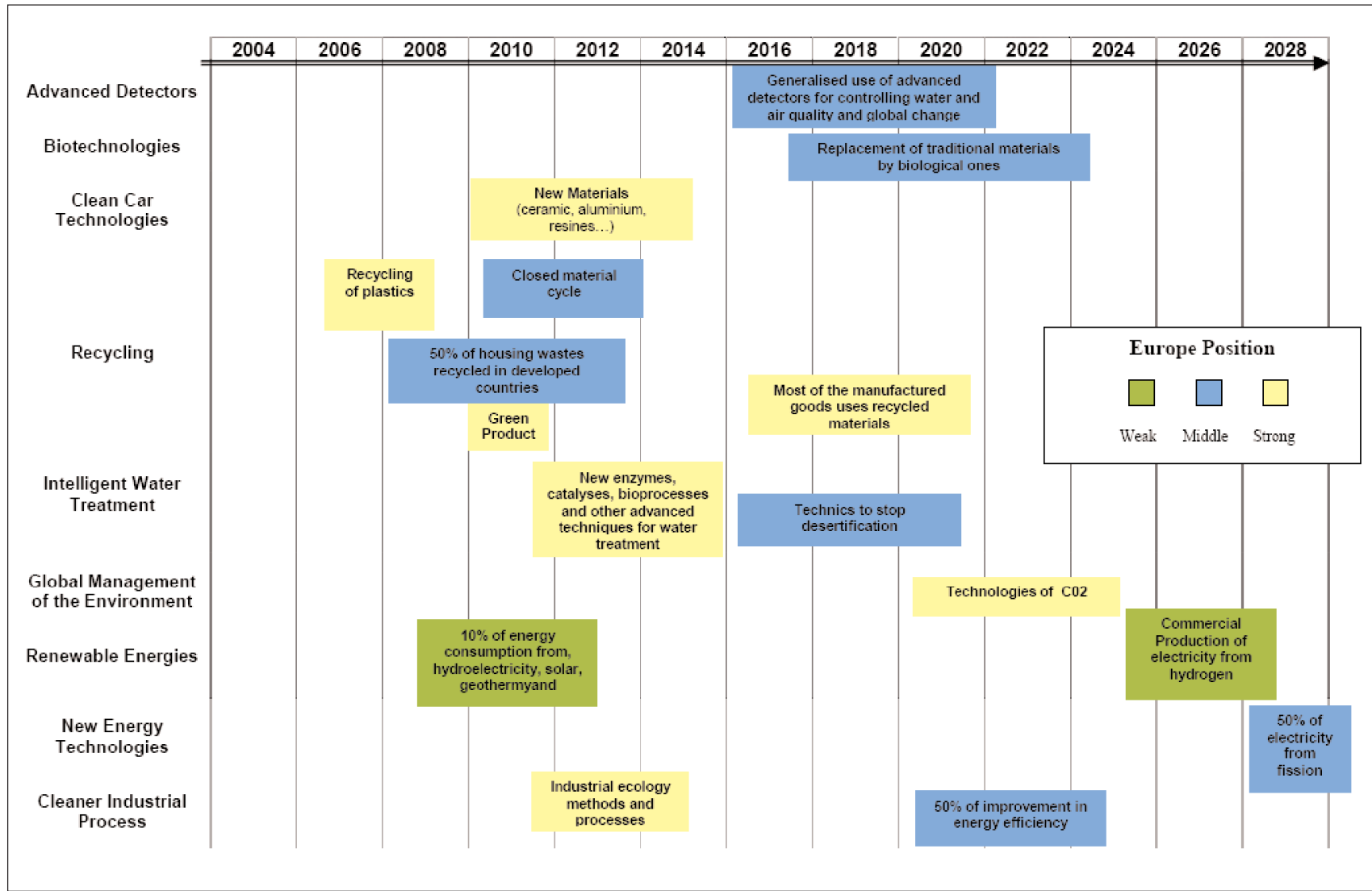
C'est aussi pourquoi, les instruments et mesures en vue de favoriser les politiques d'éco-innovation, tant aux échelles microéconomiques que macro-économiques, doivent eux aussi tenir compte de cette évolution (Kemp et Andersen, 2004). En d'autres termes, les instruments réglementaires traditionnels ou même les instruments économiques tels que les taxes, tous les deux de type « top-down », doivent être revisités à la lumière de la gouvernance participative. Des instruments plus concertatifs permettant d'associer toutes les parties prenantes, comme les covenants développés aux Pays-Bas, ou tels que les mécanismes de développement propre ou encore de mise en œuvre conjointe appliqués dans les politiques de lutte contre les changements climatiques peuvent s'avérer des pistes intéressantes pour le futur, y compris pour la diffusion rapide des éco-innovations dans les pays du sud. De même, le dialogue social autour du remplacement progressif, en particulier pour l'ensemble des pays européens, de la fiscalité sur le travail par une fiscalité sur l'utilisation du capital naturel, semble un élément indispensable pour fonder une partie de la compétitivité de l'Europe et de ses entreprises sur l'éco-innovation.

Enfin, la question de la gouvernance mondiale du développement durable, si contestée au niveau international (et de celle inextricablement liée des biens publics mondiaux) doit être abordée et largement débattue afin de s'assurer que les retombées des éco-innovations se feront bien au profit du développement durable de l'ensemble de la planète.

Schéma I — Classification des Eco-innovations par catégorie dans le secteur automobile



Schema II — “Road Maps” des futures éco-innovations



## BIBLIOGRAPHIE

Angenius (2004), *Vivre de manière durable*.

Ashford N. (2002), « An Innovation-Based Strategy for a Sustainable Environment », in Hemmelskamp J., Rennings K., Leone F. (eds), *Innovation-Oriented Environmental Regulation – Theoretical Approaches and Empirical Analysis*, Physica-Verlag, ZEW, pp. 67-107.

Blanc C. (2004), Pour un écosystème de croissance, rapport pour le Premier Ministre.

Bourg D., Grandjean A., Libaert T. (2006), *Environnement et Entreprises*, Eyrolles, Village Mondial.

Bourg D., Buclet N., (2005), « L'économie de fonctionnalité », *Futuribles*, 313, pp. 27-37.

Bourg D., Erkman S., (2003), *Perspectives on Industrial Ecology*, Londres: Greenleaf Publishing.

Chambolle, T., Méaux, F. (2003), *Les nouvelles technologies de l'énergie*, rapport pour le Ministre de l'Economie, des Finances et de l'industrie, La Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable, la Ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies et la Ministre déléguée à l'Industrie, France.

Comité Economique et Social Européen (2004), *Avis du Comité économique et social européen sur le thème : L'environnement comme opportunité économique*, Bruxelles, Octobre.

Commission des Communautés Européennes (2004), Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, *Promouvoir les technologies au service du développement durable : plan d'action de l'Union européenne en faveur des ecotechnologies*, COM(2004) 38 final du 28.1.2004.

Commission des Communautés Européennes (2005), Communication de la Commission, *Rapport sur la mise en œuvre du Plan d'Action en faveur des Ecotechnologies en 2004*, COM(2005) 16 final du 27.1.2005.

Erkman Suren (2004), *Vers une écologie industrielle. Comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle*, Paris, Editions Charles Léopold Mayer, 1998 (2e édition, enrichie et mise à jour, 2004).

Esty D.C. and Gentry B.S. (1997). « Foreign Investment, Globalisation and Environment », in OCDE (1997), *Globalisation and environment; preliminary perspectives*, OCDE, Paris, pp.141-173.

European Commission (2001), *EU CSR Green Paper: Promoting a European Framework for Corporate Social Responsibility*, COM(2001)366 final, Brussels.

Faucheux S., Gowdy J. and Nicolai I. eds., (1998). *Sustainability and Firms. Technological Change and the Changing Regulatory Environment*. Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar, 349 pp.

Faucheux S., Hue C. (2001), « From Irreversibility to Participation: Towards a participatory foresight for the governance of collective environmental risks » *Journal of Hazardous Materials*, 86: 223–243.

Faucheux S., C. Hue. (2000), « Politique Environnementale et Politique Technologique : Vers une Prospective Concertative », *Nature Sciences Sociétés* 8 (3): 31–44.

Faucheux S., Hue C., Petit O. (2002), « NTIC et environnement : enjeux, risques et opportunités », *Futuribles*, n° 273, Mars pp 3-27.

Faucheux S., Joumni H. (2005), *L'économie des changements climatiques*, Repères, la Découverte. Paris

Faucheux S., Nicolai I., (2004), « La Responsabilité Sociétale dans la Construction d'Indicateurs: l'Expérience de l'Industrie Européenne de l'Aluminium », *Natures Sciences Sociétés*, 12, pp.30–41.

Faucheux S., O'Connor M. (2000). « Technosphère versus écosphère. Quel arbitrage? Choix technologiques et menaces environnementales: signaux faibles, controverses et décision », *Futuribles*, 251, mars, pp. 29-59.

Faucheux S., O'Connor M. (2004), « Pour une compatibilité durable entre environnement et développement », in Domenach C., Picouet M. (eds), *Environnement et Populations : la Durabilité en question*, l'Harmattan.

Freeman, C. (1987), *Introduction*, in Dosi et al. (eds), *Technical change and economy theory*.

Giarini O., Stahel W.R., (1993), *The limits to Certainty; facing risks in the new Service Economy*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Guesnerie, R. (2003), *La recherche sur le développement durable*, Rapport intermédiaire (2 juin 2003) du groupe de travail sur la recherche au service du développement durable installé par Claudie Haigneré, ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles-Technologies, et Tokia Saïfi, secrétaire d'Etat au Développement durable, le 16 janvier 2003 (présidé par Roger Guesnerie, rapporteur Pierre-Cyrille Hautcoeur). Disponible (format pdf, 52 pages, 604 Ko) sur : <http://www.recherche.gouv.fr/rapport/devdurable/devdurable.htm>.

Haake J, (2001), *Les stratégies de dématérialisation des entreprises*, thèse pour le Doctorat en Sciences Economiques, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) (1999), *Technology Map*, Futures Report, series 11, European Commission.

Kuntze, U. (1998), *Resource Efficient Technologies, Technology Foresight and Sustainable Development*, Proceedings of the Budapest Workshop, DTSI, OECD, pp 26-49.

Lubchenco, J, (1998), « Entering the century of the environment a new social contract for science », *Science*, 279 (January), pp. 491-497.

Ministry of the Environment, (2004), *Joining technology, business and environment*, Denmark.

Muradian R., O'Connor M. (2001), « Inter-country Environmental Load Displacement and Adjusted National Sustainability Indicators: Concepts and their Policy Applications », *International Journal of Sustainable Development*, 4(3): 321-347.

Office of Science and Technology (OST) (1999), *Blueprint for the next round of foresight*, DTI, December, London, UK.

OCDE (1994), *National systems of innovation: general conceptual framework*, Paris (France), OCDE, DSTI/STP/TIP(94)4.

Patris C., Valenduc G., Warrant F., (2001), *L'innovation technologique au service du développement durable*, Fondation Travail Université absl, rapport de synthèse.

Perthuis de C., (2004), *Changement climatique : naissance de la finance carbone*, document de travail, caisse des dépôts et Consignation, Paris.

Porter M.E., Van Der Linde C., « Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship », *Journal of Economic Perspectives*, volume 9, n°4, pp. 97-118, 1995.

PriceWaterHouseCoopers (2004), *Best Practices in Eco-efficiency*.

Van der Meulen, B. (1999), « The impact of foresight on environmental science and technology policy in Netherlands », *Futures*, n°31, pp 7-23.

Wackernagel M, Rees W.E. (1995), *Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth*, Gabriola Island, BC and Philadelphia, PA : New Society Publishers.

Zacai E. (2000), « Ecological oriented consumption », *International Journal of Sustainable Development*, Vol 3 n°1.

ARTICLES

55

ARTICLES

## NOTES

<sup>1</sup> « Promouvoir les technologies au service du développement durable : plan d'action de l'Union européenne en faveur des éco-innovations », Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, COM(2004) 38 final, 28.1.2004. La Commission a lancé la même année le programme ETAP (Environmental Technologies Action Plan)

<sup>2</sup> Voir le site [www.sdtd.ca/gfr](http://www.sdtd.ca/gfr) de la Fondation Technologies du Développement durable du Canada (TDDC).

<sup>3</sup> Pour plus de précisions, voir la Directive Européenne COM(2002/122 final) sur les écotecnologies. L'écotechnologie se réfère à toutes les activités qui produisent des biens et des services visant à mesurer, prévenir, limiter ou corriger les atteintes à l'environnement et les problèmes relatifs aux déchets, au bruit et aux écosystèmes. Elle comporte trois types d'activités:

la gestion de la pollution,  
les techniques intégrées et les produits peu polluants,  
la gestion des ressources.

<sup>4</sup> Voir <http://www.industrie.gouv.fr/biblioth/docu/ecoentreprises.pdf> pour un panorama des éco-entreprises et des écotecnologies.

<sup>5</sup> C'est en particulier la dématérialisation (Haake, 2001) ou l'écologie industrielle (Erkman, 2004) ou encore la réduction de l'empreinte écologique (Wackernagel & Rees, 1995; Muradian & O'Connor, 2001).

<sup>6</sup> <http://www.dunkerquegrandlittoral.org/thermographie/Accueilthermo.htm>

<sup>7</sup> Pour plus de détails sur les NTICs et l'environnement voir Faucheux *et al.*, 2002.

<sup>8</sup> Voir : [www.fondaterra.com](http://www.fondaterra.com).

<sup>9</sup> Voir : « Pour un écosystème de croissance », rapport pour le premier ministre réalisé par le député Christian Blanc (2004).

<sup>10</sup> Nous faisons référence à la logique Schumpéterienne de changement de paradigme technologique et de conditions d'incitations à l'innovation.

<sup>11</sup> Voir Faucheux et Hue (2000) pour plus de détails.

<sup>12</sup> On peut noter déjà au niveau européen les directives sur les Véhicules en Fin de Vie (VHU – COM(2000)/166 final) ou les Déchets d'Équipements électriques et Électroniques (DEEE - COM(2003)/219 final)

<sup>13</sup> La vision de l'écologie industrielle est simple : pourquoi notre système industriel ne se comporterait-il pas comme un écosystème naturel où les rebuts d'une espèce servent de ressources à d'autres espèces? Pourquoi les déchets d'une entreprise ne deviendraient-ils pas les intrants d'une autre entreprise? On réduirait ainsi la consommation de matières premières et la pollution, tout en permettant aux entreprises d'économiser sur leurs dépenses d'incinération ou d'enfouissement.

<sup>14</sup> Le premier et le plus connu des écoparcs s'est construit progressivement dès le début des années 1960, sans dessin écologique, dans une ville portuaire danoise, Kalundborg. Une centrale thermique et une raffinerie échangent des flux d'eau et de vapeur; l'unité de désulfuration de la centrale électrique immobilise sous forme de gypse le soufre contenu dans le charbon, ce gypse étant lui-même valorisé pour la construction de panneaux, etc.... Une cinquantaine de parcs éco-industriels, sciemment construits, ont été développés depuis de par le monde, au Nord comme au Sud .

<sup>15</sup> Voir : [www.fondaterra.com](http://www.fondaterra.com).

<sup>16</sup> Voir : « Les nouvelles technologies de l'énergie », rapport du groupe de travail présidé par M. Thierry Chambolle pour le Ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, la Ministre de l'Écologie et du Développement durable, la Ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies et la Ministre déléguée à l'Industrie, France, 2003.

<sup>17</sup> Le principe de précaution fait partie intégrante de la Charte constitutionnelle de l'environnement (article 5) adopté par la France en 2005.

<sup>18</sup> La soutenabilité faible se définit par la règle selon laquelle la somme du capital naturel et du capital construit (c'est-à-dire le capital fabriqué et accumulé par les activités humaines) doit être maintenue constante (Pearce et Atkinson, 1993). Du capital naturel peut être remplacé par du capital construit, pourvu que le stock ne diminue pas (les facteurs de production sont complémentaires). Dans cette optique, le progrès technologique est censé générer en permanence des solutions techniques concrètes aux défis environnementaux posés par l'accroissement de la production de biens et de services. Les mécanismes du marché finissent par rendre rentables le développement et la diffusion de « technologies de la dernière chance » (*back-stop technologies*) même si celles-ci sont restées longtemps sous le seuil de rentabilité.