

Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles
Programme « Leviers du développement durable »
Contrat de recherche n° HL/DD/020

L'innovation technologique au service du développement durable

***Rapport de synthèse
Février 2001***

**Cécile Patris
Françoise Warrant
Gérard Valenduc
(*promoteur du projet*)**

Fondation Travail-Université asbl
Centre de recherche Travail & Technologies

Rue de l'Arsenal 5, B-5000 Namur
Tél. +32-81-725122, fax +32-81-725128
E-mail : gvalenduc@compuserve.com
<http://www.ftu-namur.org>

Contenu du rapport

Sommaire du rapport de synthèse

- I. Présentation de la recherche
- II. Aspects méthodologiques et conceptuels
 1. Le concept d'innovation technologique favorable au développement durable
 2. La méthode de travail
- III. Présentation des résultats
 1. Le contexte : politiques d'innovation, politiques environnementales et développement durable
 2. Les stratégies d'innovation des entreprises
 - Une enquête sur la “vitrine” des technologies environnementales
 - Des études de cas dans des entreprises innovantes
 - Une analyse comparative d'enquêtes sur l'innovation, sous l'angle du développement durable
 3. La stimulation de l'innovation technologique favorable au développement durable
 - Les principaux instruments de stimulation de l'innovation
 - Un aperçu de vingt programmes de stimulation de l'innovation, contribuant au développement durable
 - L'expérience des centres de recherche à vocation industrielle
 - Un domaine technologique emblématique : les sources renouvelables dans la production d'électricité
 - Une évaluation des dispositifs de stimulation de l'innovation
- IV. Conclusions et recommandations

Contenu des Working Papers

- WP 1 : Aspects conceptuels : le rôle de l'innovation technologique dans le développement durable (G. Valenduc, F. Warrant).
- WP 2 : Les liens entre les politiques environnementales et les politiques d'innovation (A-C. Rousseau, G. Valenduc, F. Warrant)
- WP 3 : Stratégies d'innovation des entreprises : résultats empiriques (A-C. Rousseau, C. Patris, G. Valenduc, F. Warrant)
- WP 4 : Politiques et instruments de stimulation de l'innovation technologique favorable au développement durable (C. Patris, F. Warrant).
- WP 5 : Un domaine technologique emblématique : les sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité (C. Patris, F. Warrant).

Les Working Papers peuvent être téléchargés (format PDF) sur www.ftu-namur.org

I. Présentation de la recherche

Ce document constitue le rapport final de la recherche “L’innovation technologique au service du développement durable” (HL/DD/020), remis le 28 février 2001 aux Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC), dans le cadre du programme “*Leviers du développement durable*”.

Le rapport a été rédigé par Cécile Patris et Françoise Warrant, chargées de recherche, et Gérard Valenduc, promoteur du projet. D’autres chercheuses du Centre de recherche Travail & Technologies de la FTU ont également apporté des contributions spécifiques au cours de l’étude : Véronique Porot, Anne-Catherine Rousseau, Patricia Vendramin.

1. Objectifs et enjeux de la recherche

Le but de la recherche est d’étudier les conditions dans lesquelles l’innovation technologique peut favoriser et promouvoir le développement durable.

Selon l’Agenda 21, ainsi que selon les lignes directrices du plan fédéral pour un développement durable 2000-2004, la science et à la technologie ont un rôle important à jouer dans le développement durable, car elles doivent fournir à la fois un cadre d’interprétation des problèmes et une évaluation des différentes solutions possibles. L’innovation technologique doit contribuer à l’élaboration d’un nouveau modèle de croissance et de régulation de l’économie. Elle joue un rôle clé dans la transformation du système de production actuel vers une plus grande “soutenabilité”. Mais elle doit s’appuyer sur de meilleures procédures d’aide à la décision, à la fois plus efficaces et plus participatives.

La recherche présentée ici prend en considération toutes les formes d’innovations technologiques potentiellement favorables au développement durable : innovations de procédé, innovations de produit, innovations organisationnelles, innovations de marché. Elle s’intéresse également à toute la chaîne de l’innovation et accorde une attention particulière à la pluralité des dispositifs d’innovation.

Toutefois, l’innovation technologique n’est qu’une réponse parmi d’autres aux défis de l’environnement et du développement durable. Paradoxalement, elle figure également parmi les causes d’un développement non durable. Cette ambivalence a déjà été mise en évidence dans de nombreuses études, mais nous proposons de l’interpréter sous l’angle des options technologiques, qui sont le fruit de processus d’innovation et de stratégies d’acteurs.

La recherche poursuit cinq objectifs scientifiques, eux-mêmes guidés par des préoccupations opérationnelles :

- étudier le rôle ambivalent de l'innovation technologique, analysée à la fois comme une des causes du développement non durable et comme un facteur clé d'un nouveau mode de production, compatible avec le développement durable ;
- caractériser et classifier les technologies et les processus d'innovation favorables au développement durable, en tenant compte non seulement de leurs aspects environnementaux, mais aussi des autres dimensions du développement durable ;
- étudier les aspects socio-économiques de ces technologies et processus d'innovation favorables au développement durable ;
- situer l'innovation technologique en relation avec d'autres instruments au service du développement durable, notamment les politiques de recherche, les politiques fiscales et réglementaires, les investissements publics ;
- étudier les freins et les incitants à la mise en oeuvre de politiques d'innovation et à la diffusion des technologies favorables au développement durable ; mettre les conclusions en perspective par rapport au contexte belge.

L'utilité de la recherche consiste notamment à assister les décideurs publics dans leurs efforts en vue de promouvoir des politiques de R&D et de diffusion des innovations qui soient cohérentes avec les exigences du développement durable :

- en étudiant la conception et la diffusion de technologies écologiquement compatibles, économiquement rationnelles et socialement équitables, la recherche s'inscrit dans l'objectif de développement d'un mode de production et d'un modèle de croissance durables ;
- elle apporte un appui scientifique à l'élaboration de politiques et d'instruments dans ce domaine ;
- elle étudie les moyens de rendre opérationnelle au niveau local (*act locally*) une analyse de l'innovation technologique sous l'angle de la dynamique mondiale (*think globally*) ;
- elle suggère des propositions et des recommandations pour mieux accorder l'intervention publique dans la R&D aux exigences du développement durable.

Lorsqu'il s'agit de mettre en perspective des éléments d'analyse en vue d'assister la décision politique, on est souvent confronté à une forme particulière du fossé entre le savoir et l'action, mentionnée dans la littérature sur le développement durable sous l'expression "*implementation gap*". Pour jeter une passerelle au-dessus de ce fossé, nous tentons de mettre l'accent sur les conditions de conception et de diffusion des innovations et de mener une analyse des points forts et des points faibles, des opportunités et des obstacles propres au contexte belge.

2. Place de la recherche dans le programme “Leviers du développement durable”

Parmi les projets du programme “Leviers du développement durable”, notre recherche est la seule qui porte directement sur les questions liées à l'innovation technologique. Elle peut toutefois présenter des complémentarités intéressantes avec d'autres projets, notamment :

- les projets qui concernent les indicateurs du développement durable, en particulier la recherche “Indicateurs du développement durable dans l'industrie belge” (promoteur : Aviel Verbruggen, UFSIA) ;
- l'action d'appui scientifique intitulée “La communication scientifique en matière de développement durable” (promoteur : Marc Mormont, FUL).

Le fait que notre étude soit la seule ne veut cependant pas dire qu'elle soit isolée. Elle se situe dans le prolongement d'une étude exploratoire que nous avons réalisée pour les SSTC en 1995-1996 avec une équipe du VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek), sur le thème “Développement durable et recherche scientifique” (1).

Elle peut également constituer une contribution utile aux travaux du Conseil fédéral du développement durable (CFDD/FRDO), qui a mis sur pied un groupe de travail permanent sur la recherche scientifique et le développement durable. Le CFDD a également organisé en octobre 1999 un séminaire intitulé “*Recherche scientifique, développement durable et organisations de la société civile*”, afin d'approfondir le besoin de communication et d'interaction entre les acteurs de la R&D et les acteurs de la société civile. En formulant des recommandations relatives aux politiques d'innovation, notre recherche va dans le sens des préoccupations exprimées par le CFDD et des lignes directrices du nouveau plan fédéral de développement durable 2000-2004.

3. Insertion internationale

Des communications portant sur des résultats intermédiaires ou partiels de la recherche ont été présentées dans trois conférences internationales :

- la conférence du projet européen POSTI (Policies for Sustainable Technological Innovation), qui s'est tenue à Londres en décembre 2000 sur le thème “Policy agendas for sustainable technological innovation” (2) ;
- la conférence biennale de la Société internationale d'économie écologique (ISEE, International Society for Ecological Economics), qui s'est tenue en novembre 1998

(1) Valenduc G., Vendramin P., Marion J-Y. (FTU), Berloznik R., Vancolen D., Van Rensbergen J. (VITO), *Développement durable et recherche scientifique*, Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles (SSTC/DWTC), Bruxelles, 1996.

(2) Valenduc G., Patris C., Warrant F., *Technological innovation fostering sustainable development : some case studies in Belgium*, Proceedings of the POSTI conference “Policy agendas for sustainable technological innovation”, University of East London, Dec. 2000.

à Santiago du Chili sur le thème “Au-delà de la croissance : politiques et institutions pour le développement durable” (3) ;

- la conférence de l'Université de Roskilde, en novembre 1997, intitulée “Science for a sustainable society” (4).

Toutefois, l'insertion internationale du Centre de recherche Travail & Technologies de la FTU se situe davantage dans des réseaux liés au thème de l'innovation technologique que dans des réseaux relatifs au développement durable. Le centre de recherche fait notamment partie de réseaux européens dans le domaine de l'évaluation des choix technologiques (technology assessment) et participe à des projets de recherche du quatrième et du cinquième programme cadre de R&D de l'Union européenne, dans le domaine de l'analyse des impacts sociaux de la recherche et du développement technologique.

Cette insertion dans la recherche socio-économique sur l'innovation a permis de situer l'objectif du développement durable en référence à un cadre plus général d'analyse des politiques de R&D, ce qui constitue une des originalités de notre étude.

(3) Valenduc G., *Medio ambiente y empleo en una sociedad sustentable*, in “Más allá del crecimiento: políticas e instituciones para la sustentabilidad”, Proceedings of the Biennial Congress of the International Society of Ecological Economics, Santiago de Chile, November 1998.

(4) Valenduc G., Vendramin P., *Science, Technological Innovation and Sustainable Development*, in the Proceedings of the Conference “Science for a Sustainable Society”, Roskilde (DK), Oct. 1997.

II. Aspects conceptuels et méthodologiques

1. Le concept d'innovation technologique favorable au développement durable

Cette première section présente brièvement un “état de l’art” des aspects conceptuels du lien entre innovation technologique et développement durable. Le Working Paper n° 1 est consacrée à une présentation plus détaillée de ces aspects conceptuels.

1.1. Technologie et innovation

L'innovation est un processus, dans lequel les technologies constituent un élément particulier, quoique souvent essentiel. D'une manière très générale, l'innovation peut porter sur le produit, le procédé, l'organisation ou le marché d'une entreprise.

- *L'innovation de produit* concerne la conception d'un bien – matériel, équipement, instrumentation, fournitures, produits – ou d'un service, qui est nouveau ou amélioré sur le plan technologique.
- *L'innovation de procédé* a trait aux processus de production ou de distribution du bien ou du service.
- *L'innovation organisationnelle* désigne les changements organisationnels dans la production de biens ou de services, de même que les comportements innovants.
- *L'innovation de marché* concerne la percée sur de nouveaux marchés ainsi que les modifications des relations que l'entreprise entretient avec son environnement (fournisseurs, concurrents, pouvoirs publics, investisseurs).

Les *sources de connaissances* liées à l'innovation technologique se décomposent classiquement en quatre grands piliers :

- la recherche-développement (R&D) ;
- l'acquisition de technologies développées à l'extérieur ;
- la collaboration avec d'autres entreprises et organismes de recherche ;
- d'autres activités liées à l'augmentation des connaissances.

Selon les termes figurant dans l'inventaire permanent du potentiel scientifique belge, établi dans le cadre de l'accord de coopération interrégional du 12/06/1994 :

« La recherche comprend les activités créatives entreprises en vue d'agrandir les connaissances scientifiques et la compréhension scientifique. Le développement comprend également des travaux créatifs entrepris systématiquement (structurés) en vue d'exploiter les résultats de la recherche pour produire des matériaux et/ou des produits nouveaux ou fortement améliorés, de même que pour développer des applications, des procédés ou des systèmes nouveaux ou fortement améliorés. Le critère de base permettant de distinguer la R&D des autres activités liées à l'accroissement du stock de connaissances est la présence d'un élément de nouveauté et la volonté de trouver une solution à une certaine incertitude scientifique et technologique. Est considéré comme nouveau ce qui l'est pour l'entreprise, à l'exclusion des connaissances accessibles du grand public ("the state-of-the-art"). Les activités qui ne relèvent pas de cette catégorie sont le design industriel, l'outillage, l'ingénierie industrielle, la pré-production, les tests de normalisation ».

La *diffusion d'une innovation technologique* peut se définir comme l'adoption d'un dispositif technique à grande échelle ou par une large population d'acteurs. C'est le mécanisme par lequel l'innovation, phénomène microéconomique, acquiert une dimension méso-économique, voire macroéconomique (5).

La diffusion des innovations n'est pas seulement un mécanisme de marché. En effet, en matière d'innovation, la coordination par le marché est depuis longtemps reconnue comme inefficace par les économistes car il se produit des effets externes, qui ne passent pas par le mécanisme des prix (6). Deux types d'effets externes sont particulièrement importants : les *externalités de R&D*, liées à la diffusion des connaissances, et les *externalités de réseau*, souvent appliquées à des technologies faisant l'objet de standards et normes technologiques et donnant lieu à des rendements croissants d'adoption. Il ne faut cependant pas confondre ce qui a trait à la duplication des résultats de la R&D, qui s'opère à un coût très faible, avec ce qui a trait à leur exploitation, dont la mise en œuvre suppose des coûts d'apprentissage.

« Faire l'hypothèse d'une quasi-nullité des coûts de diffusion revient à confondre les coûts de duplication et les coûts d'exploitation des résultats de la R&D : (...) ce qui équivaut à admettre que toute connaissance disponible est une connaissance immédiatement utilisable par la firme. Or de nombreux travaux permettent d'affirmer que cette vision est erronée et qu'elle révèle une représentation non pertinente des processus de création technologique ». (7)

Une grande part de la connaissance mobilisée pour l'innovation technologique relève de la *connaissance tacite*, c'est-à-dire qu'elle n'est pas aisément transmissible par l'intermédiaire d'une publication, d'un manuel d'opération ou même via les compétences d'un ingénieur isolé. Ce caractère essentiellement tacite des connaissances techniques provient de ce que celles-ci sont fortement spécifiées par le lieu et les

(5) Guellec D., *Economie de l'innovation*, La Découverte, Repères, Paris, 1999.

(6) Bach L. et Lhuillery S., *Recherche et externalités, Tradition économique et renouveau*, dans Foray D. et Mairesse J. (sous la dir.), *Innovations et performances, approches interdisciplinaires*, Editions EHESS, Paris, 1999, p. 340.

(7) Foray D. et Mowery D., *L'intégration de la R&D industrielle : nouvelles perspectives d'analyse*, dans *Revue économique*, n°3, mai 1990, pp.501-530.

conditions de mise en œuvre et qu'elles se développent en interaction avec la R&D ainsi qu'avec d'autres fonctions, dans le cadre d'une firme déterminée.

On voit donc que la diffusion de l'innovation dépasse le cadre du marché mais que cette diffusion représente un coût à ne pas négliger. Il faut une capacité d'apprentissage dans le chef des entreprises qui veulent bénéficier des retombées de ces effets externes.

Pour Rogers (8), dans un processus de diffusion, deux aspects sont fondamentaux : l'intervention d'agents de changement et les caractéristiques que présente l'innovation aux yeux de l'adoptant. Le rôle de l'agent de changement est multiple auprès des adoptants potentiels : prendre contact, convaincre, accompagner, percevoir les besoins, manifester de l'empathie. Quant aux caractéristiques que l'innovation doit présenter pour ces adoptants, Rogers souligne l'importance de celles-ci : avantage relatif, compatibilité, niveau de complexité, recours à des démonstrations, essais possibles.

La question de l'avantage relatif est manifestement centrale en ce qui concerne les technologies propres, qui sont des technologies préventives destinées à éviter des futurs problèmes et dont le coût est généralement plus élevé que celui des technologies de remédiation (9). Leur avantage comparatif est difficile à percevoir au moment même et Rogers recommande d'augmenter l'avantage relatif des innovations préventives par le jeu d'incitants positifs (subsidés) ou négatifs (taxes).

Si les arguments de Rogers présentent beaucoup d'intérêt, car ils soulignent le rôle-clé des porte-parole dans la diffusion des innovations, ils ne remettent pas en cause le fait qu'un produit lancé sur le marché finisse, en vertu de ses qualités propres, par se répandre à travers l'économie et la société par effet de démonstration. Or, *adopter une innovation, c'est l'adapter*.

« Pour comprendre le succès ou l'échec, c'est-à-dire la diffusion et ses péripéties, il faut accepter de reconnaître qu'un objet n'est repris que s'il parvient à intéresser des acteurs de plus en plus nombreux. Des décisions qui creusent l'écart entre les propriétés de l'objet, doté d'une cohérence qui lui est propre, et les propriétés de l'environnement social (utilisateurs, distributeurs, réparateurs...) multiplient les obstacles sur le chemin que suit l'innovation. Faire comme si le contexte socio-économique était connu une fois pour toutes, le produit pouvant être défini une fois pour toutes en dehors de toute interaction avec lui, est contraire à tout ce que nous savons de l'innovation. Celle-ci est perpétuellement en quête d'alliés. Elle doit s'intégrer dans un réseau d'acteurs qui la reprennent, la soutiennent, la déplacent » (10).

Plus d'un auteur s'est penché sur le profil des adoptants. Ainsi, Rogers distingue les innovateurs, les adoptants précoces, la majorité prudente, l'arrière-garde retardataire. D'une manière générale, la taille des entreprises, le taux de croissance de l'industrie concernée, la qualité du management ainsi que les caractéristiques perçues (avantage

(8) Rogers E., *Diffusion of innovations*, (4th edition), Free Press, New York, 1995.

(9) Kjørboe T., *Preventing prevention : why are cleaner technologies difficult to diffuse*, ESST Master Thesis, Roskilde / Namur, 1997.

(10) Akrich M., Callon M., Latour B., *L'art de l'intéressement*, in Vinck D.(coord.), *Gestion de la recherche, nouveaux problèmes, nouveaux outils*, De Boeck, Bruxelles, 1991, p.47.

relatif et coûts d'installation) sont autant d'éléments qui détermineront le profil innovant de l'entreprise, l'appartenance à l'une ou l'autre de ces catégories. Les barrières à franchir peuvent être d'ordre très divers : barrières conceptuelles, barrières organisationnelles, barrières de connaissances, barrières technologiques et bien sûr barrières financières. L'aptitude des entreprises à surmonter ces barrières est assurément inégale.

1.2. La nature de l'innovation technologique favorable au développement durable

L'innovation technologique présente un caractère ambivalent : alors que la technologie peut être considérée, sous certains aspects, comme une des causes du développement non durable, elle est en même temps investie d'un rôle important dans la recherche de solutions concrètes pour le développement durable. Dans cette section, on s'attachera uniquement à ce dernier aspect. Il ne s'agit cependant pas d'un effet de naïveté ou de myopie face aux "dégâts du progrès".

1.2.1. Technologies additives ou technologies intégrées ?

Les technologies additives 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. Cette acception est celle du Bureau d'évaluation des choix technologiques du Parlement fédéral allemand (11); le terme anglais correspondant est *add-on technology*. Le concept de technologie additive est plus large que celui de *end-of-pipe technology*, qu'on trouve fréquemment dans la littérature; en effet, il englobe également des technologies de mesure et de contrôle, de prévention des risques, de réduction des déperditions énergétiques. Les technologies additives ne requièrent pas toujours un effort significatif de recherche et développement. Elles peuvent aussi provenir de combinaisons astucieuses de techniques existantes.

Dans le cas des technologies intégrées, les caractéristiques environnementales sont incorporées dans la conception même du procédé ou du produit. Les technologies propres sont des technologies intégrées, mais elles ne sont pas les seules. Appartiennent également à cette catégorie les systèmes dont l'efficacité augmente en réduisant les inputs en énergie et en matières premières, les procédés qui comportent un "recyclage interne" de leurs effluents ou sous-produits, les procédures de substitution de substances nocives dans les produits ou dans les procédés, la conception de produits réutilisables, recyclables ou démontables, l'amélioration de la "qualité totale" conduisant à une durée de vie plus longue et une réparation plus facile des produits, etc. Les technologies intégrées nécessitent un effort de recherche et développement; elles recourent également à de nouvelles méthodes de conception, comme l'analyse du cycle de vie (LCA ou écobilan) ou l'analyse de filière de produit.

Dans un sens, les technologies intégrées rendent inutiles les technologies additives, alors que celles-ci constituent parfois des marchés rentables. Elles peuvent donc être rivales : ainsi, le pot catalytique, destiné à réduire les émissions d'oxyde d'azote des

(11) Coenen R., Klein-Vielhauer S., Meyer R., *Integrierte Umwelttechnik und wirtschaftliche Entwicklung*, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht n°35, Nov. 1995.

voitures, est une technologie additive qui handicape le développement de moteurs radicalement moins énergivores et moins polluants. Cependant, si on considère l'ensemble de l'industrie et de l'économie, les technologies additives et intégrées ne sont pas exclusives, mais complémentaires, surtout à court terme.

Le tableau 1 compare les principales caractéristiques des technologies additives et des technologies intégrées. Il appelle quelques commentaires.

Tableau 1
Comparaison des technologies additives et intégrées

	<i>Technologies additives</i>	<i>Technologies intégrées</i>
Productivité globale	Réduction de la productivité	Potentiel d'accroissement de la productivité
Coûts de production	Plus élevés	Potentiel de diminution des coûts
Charge d'investissement	Faible	Elevée
Augmentation des coûts fixes	Généralement non	Possible
Coûts d'accès et coûts d'information	Faibles	Elevés
Coûts d'adaptation ou de reconversion	Faibles	Elevés
Compatibilité dans l'entreprise	Elevée	Faible
Risque économique	Faible	Elevé
Position sur le marché des technologies environnementales	Très bonne	Potentiellement très bonne
Compétitivité internationale	Tendance à l'affaiblissement	Avantages compétitifs potentiels dans le futur

Source: Coenen R. & al., op. cit, p. 37.

Dans l'industrie, les technologies additives augmentent les coûts de production, sans accroître l'output de manière significative, sinon peut-être en qualité. La productivité décroît légèrement. La compétitivité est-elle menacée ? Des études menées en Allemagne montrent que les investissements en technologies additives ne modifient pas sensiblement la position compétitive sur les marchés internationaux, car ils pèsent peu dans l'ensemble des facteurs qui affectent la compétitivité, notamment les facteurs financiers (taux d'intérêt et taux de change) et le coût du travail.

A l'inverse, les technologies intégrées peuvent contribuer à la réduction des coûts de production et à l'augmentation de la productivité. Plus économes en ressources, plus fiables et plus modernes, elles entraînent à la fois une meilleure productivité du capital et du travail. Elles améliorent globalement la position concurrentielle sur les marchés internationaux, indépendamment des autres facteurs de compétitivité. L'avantage compétitif sera d'autant plus grand que les réglementations environnementales prennent de l'importance.

Mais les différences essentielles entre technologies additives et technologies intégrées ne se situent pas au niveau de la productivité et de la compétitivité. Les technologies intégrées représentent une charge d'investissement beaucoup plus lourde, assortie d'un

risque économique plus élevé. Les coûts d'information et d'accès sont élevés, surtout pour les petites et moyennes entreprises. Les coûts d'adaptation ou de reconversion des installations ou des méthodes existantes sont également importants.

En conséquence, le choix individuel de l'entrepreneur est plus difficile pour les technologies intégrées que pour les technologies additives. Par contre, les technologies intégrées se prêtent bien à des programmes concertés de modernisation technologique et industrielle, soutenus par les pouvoirs publics. Comme le notent Faucheux et Nicolai :

« Dans ces conditions, on serait tenté de conclure que les technologies intégrées sont pleinement en mesure de susciter un changement structurel écologique permettant un découplage entre la croissance économique et les facteurs nuisibles à l'environnement, favorisant ainsi une trajectoire de développement soutenable » (12).

1.2.2. Innovations incrémentales ou innovations radicales ?

Dans un ouvrage publié avant le début de cette étude (13), nous proposons une autre distinction utile pour les technologies au service du développement durable : la distinction entre innovation incrémentale et innovation radicale.

Les innovations *incrémentales* sont des perfectionnements apportés aux produits ou aux techniques de production, de manière à améliorer la qualité, la productivité, la diversité. Les innovations incrémentales surviennent de manière continue au fil de l'histoire des techniques. Elles n'apportent pas de bouleversement important, mais sont essentielles pour expliquer les gains de productivité, les conquêtes de parts de marché, les effets de mode. Les innovations *radicales*, par contre, constituent des ruptures dans l'évolution des procédés ou des produits, impliquant une transformation des méthodes de production ou de commercialisation, ainsi qu'une évolution des qualifications professionnelles. Elles ne surviennent pas de manière continue dans le temps. La convergence de nombreuses innovations radicales, corrélées entre elles, peut donner naissance à un *nouveau système technique*.

Par rapport aux technologies de l'environnement, cette typologie laisse perplexe. En effet, la plupart des technologies additives et des technologies intégrées appartiennent à la catégorie des innovations incrémentales. Il suffit d'observer, dans leur description, la fréquence des termes tels que amélioration, réduction, substitution, etc. Est-ce à dire que, faute d'innovations radicales, les technologies de l'environnement n'ont pas la vocation de devenir un nouveau système technique ? Faut-il donc en déduire qu'elles ne peuvent pas être un facteur décisif de relance économique ?

Faucheux et Nicolai ont repris plus récemment notre argumentation et, en se référant aux exemples que nous avons cités, l'ont assortie des commentaires suivants :

(12) Faucheux S., Nicolai I., *Les firmes face au développement soutenable : changement technologique et gouvernance au sein de la dynamique industrielle*, dans la *Revue d'économie industrielle*, n°83, 1998 (p.130).

(13) Valenduc G., Vendramin P., *Le travail au vert – innovation, environnement et emploi*, Editions EVO, Bruxelles, 1996.

« Il existe pourtant des innovations radicales répondant à des objectifs de développement durable. La chimie sans chlore, les biocarburants, l'énergie photovoltaïque en constituent des exemples. En d'autres termes, les ruptures radicales dans les technologies de l'environnement proviendraient des progrès réalisés au sein d'autres systèmes techniques (la chimie de synthèse, les nouveaux matériaux, les biotechnologies, la microélectronique, etc.), en raison, notamment de l'insuffisance des efforts de R&D dans le champ des technologies environnementales. Or, ce sont les ruptures technologiques radicales qui autorisent une transformation du système productif, une modification des modes de consommation et des modes de vie en amorçant une nouvelle trajectoire technologique qui finit par coïncider avec une trajectoire de développement durable » (14).

1.3. Le statut de l'innovation technologique dans les théories du développement durable

Le rôle dévolu à l'innovation technologique dans les différentes théories du développement durable est une question épistémologique, qui dépend essentiellement de la représentation que construit chaque théorie de la croissance, du développement, de l'environnement et des rapports entre l'homme, la nature et la société (15). Deux grands courants de pensée sont traités dans cette section : d'une part les théories économiques du développement durable, d'autre part l'approche écosystémique du développement durable.

1.3.1. Les théories économiques du développement durable

La notion de développement durable interpelle directement les théories de la croissance économique et du développement. Pour les théories économiques, le problème de base n'est pas posé en termes de limites écologiques objectives. La plupart des théories économiques tiennent à se détacher d'un "néo-malthusianisme écologique", qui consisterait à réhabiliter le slogan "halte à la croissance", avancé par le Club de Rome et son célèbre rapport Meadows en 1972. La théorie économique considère l'environnement non pas comme une *limite*, mais comme une *contrainte*. Ce qui change aujourd'hui, c'est que cette contrainte acquiert un caractère structurel plutôt que conjoncturel. A cause de cette contrainte, le mode et le rythme de la croissance actuelle ne sont plus viables à long terme. Le développement durable doit donc être synonyme de *croissance viable*.

Les courants théoriques de l'économie écologique peuvent être classés sommairement en deux catégories : la soutenabilité faible et la soutenabilité forte.

Selon le principe de *soutenabilité faible* (*weak sustainability*), le capital naturel et le capital construit (c'est-à-dire le capital fabriqué et accumulé par les activités humaines) peuvent être substitués l'un à l'autre de manière quasi parfaite. David Pearce est un des défenseurs les plus connus de cette thèse. La soutenabilité faible se définit par la règle

(14) Faucheux et Nicolai, op. cit. (p. 133)

(15) Valenduc G., Vendramin P., *Science, technological innovation and sustainable development*, in the Proceedings of the Conference "Science for a Sustainable Society", Roskilde (DK), Oct. 1997.

selon laquelle la somme du capital naturel et du capital construit doit être maintenue constante. Elle permet que du capital naturel soit remplacé par du capital construit, pourvu que le stock total ne diminue pas.

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, comme c'est le cas de l'énergie solaire (16).

Selon le principe de *soutenabilité forte* (*strong sustainability*), par contre, le capital naturel et le capital construit ne peuvent pas être substitués l'un à l'autre de manière parfaite. Il existe un seuil de "capital naturel critique" au-delà duquel le capital naturel doit être préservé. Le capital naturel permet en effet de fournir à l'homme et à la société des biens et des services qui ne sont pas remplaçables par le capital construit. Hernan Daly et Nicholas Georgescu-Roegen sont parmi les fondateurs de ce courant d'analyse.

Le processus de substitution entre capital naturel et capital construit rencontre certaines limites, que l'on peut énoncer de la manière suivante (17) :

- les ressources naturelles ne peuvent pas être utilisées ou dégradées à un rythme tel que leur disponibilité vienne à se raréfier de manière significative pour les générations futures ;
- les déchets de l'activité humaine ne peuvent pas s'accumuler dans des quantités qui pourraient compromettre le bon usage futur de la biosphère ;
- la diversité biologique ne peut pas se réduire d'une manière qui puisse menacer la variété de la vie non humaine, ni restreindre les usages futurs de la biosphère par les êtres humains ;
- les modèles existants de croissance et de développement ne peuvent pas continuer à produire des biens et des services qui n'ont pas d'utilité sur le plan social et humain, ni à entretenir des situations inévitables entre les pays développés et les autres, pas plus qu'à l'intérieur des nations.

Dans l'optique de la soutenabilité forte, les limites imposées à l'utilisation du capital naturel entraînent une forte demande pour des technologies de réduction des inputs matériels et énergétiques. Cette solution est souvent qualifiée de "dématérialisation" de l'économie (18). Elle repose sur le principe suivant : afin de limiter la dégradation qualitative et quantitative du capital naturel, il faut faire porter l'effort d'innovation sur la maîtrise des inputs, c'est-à-dire limiter les quantités 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. On utilise aussi le terme "éco-efficience". La contribution du changement technologique est fondamentale dans cette perspective.

(16) Faucheux S., Nicolăi I., op. cit. (p.130).

(17) Van Hauwermeiren S., *Manual de Economía Ecológica*, Instituto de Ecología Política, Santiago de Chile, 1998 (p. 101).

(18) Von Weizsäcker E.U., Lovins AB., Lovins L.H., *Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources*, Rapport au Club de Rome, 1997.

1.3.2. La notion de croissance qualitative

La croissance qualitative est le processus par lequel la productivité par unité de ressource augmente continuellement avec le bien être économique. Cette définition fait référence d'une part, à une croissance future, ou du moins à une stabilité des performances de l'économie et du bien-être et d'autre part à une diminution de l'utilisation des ressources non renouvelables et une diminution des dommages sur l'environnement. Ce type de croissance est donc caractérisé par une augmentation des services, une diminution des dommages environnementaux et une utilisation des ressources renouvelables qui peuvent, soit être régénérées, soit être remplacées par des ressources artificielles. Naguère utopique, ce type de croissance est envisageable aujourd'hui, car le niveau des connaissances et les services immatériels peuvent se substituer aux ressources matérielles, à l'énergie, au travail manuel.

L'Académie de Technology Assessment de Stuttgart a développé cette notion de croissance qualitative en lien avec les programmes de développement technologique. Selon ses travaux, trois stades peuvent être distingués dans la mise en place d'un tel mode de croissance (19) :

- Dans un premier stade, la croissance qualitative signifie une diminution continue des ressources utilisées par unité de produit national domestique. Ainsi, chaque produit doit utiliser moins de ressources qu'auparavant.
- Dans un deuxième stade, la croissance qualitative signifie une diminution continue en ressources per capita. En d'autres termes, les effets résultant d'une meilleure utilisation de l'environnement doivent être plus importants que toute utilisation des ressources provenant d'une augmentation de la production ou de la consommation.
- Dans un troisième stade, la croissance qualitative signifie une décroissance des ressources utilisées par l'économie nationale. Cette étape est la même que la deuxième, l'utilisation absolue des ressources doit diminuer, mais, en plus, elle tient compte de l'augmentation de la population. Ainsi, les changements de la structure économique ne doivent pas uniquement compenser un accroissement de la consommation individuelle, mais elle doit également compenser l'augmentation de la demande collective résultant de la croissance de la population.

Cette définition de la croissance qualitative n'est pas utopique, car l'histoire des technologies est remplie d'exemples dans lesquels l'innovation a permis de trouver des substituts à des éléments peu abondants. L'innovation peut donc, via de nouveaux produits ou de nouveaux modes de gestion des activités économiques, remplacer des matériaux et de l'énergie.

1.3.3. L'approche "écosystémique" du développement durable

Cette conception du développement durable peut être résumée comme suit. Il y a aujourd'hui une série de grands défis écologiques à l'échelle planétaire; leur caractère global est nouveau et implique un changement de perspective. C'est la survie des écosystèmes qui est en cause, car le mode de développement actuel nous rapproche des

(19) Renn O., Goble R., Kastenholtz H., *How to apply the concept of sustainability to a region, in Technological forecasting and social change*, North Holland, n°58, 1998.

“limites objectives” de la capacité de sustentation de la Terre (ressources naturelles, population, niveau de vie). Le développement durable vise à rétablir et entretenir à long terme cette capacité de sustentation.

Il existe des variantes à l'intérieur de cette approche écosystémique ; on peut opposer grosso modo une variante *naturaliste*, une variante *progressiste* et une variante *techniciste*.

1. Dans la variante *naturaliste*, l'homme n'est qu'un élément de la biosphère. L'environnement est hérité des générations précédentes et emprunté aux générations futures. Il faut préserver la nature comme une valeur en soi. Une formulation typique de cette variante est l'hypothèse Gaïa (la Terre en tant qu'être vivant), qui a déjà donné lieu à une abondante littérature (20).
2. Dans la variante *progressiste*, la biosphère est considérée comme le résultat des interactions entre l'homme et la nature. L'environnement n'est pas donné, il est construit. C'est une notion dynamique, qui évolue avec le progrès technique et le progrès social. Cependant, cette dynamique bute aujourd'hui sur des “limites objectives”. Les notions de répartition, de justice et d'équité doivent être intégrées dans le modèle de relations entre l'homme et la biosphère.
3. La variante *techniciste* se réfère à la thermodynamique et au principe d'entropie (tendance universelle à la dégradation de l'énergie et de la matière). Elle identifie l'accroissement de l'entropie à un gaspillage des ressources, qu'il convient de limiter au mieux des contraintes physico-chimiques. Pour limiter le gaspillage et la pollution, il faut une nouvelle logique de l'innovation technologique (21).

La conception du développement durable relève ici d'une approche pragmatique, qui ne privilégie pas la dimension globale et mondiale mais s'attache à trouver des solutions nouvelles, de type “*problem-oriented*”, dans lesquelles la technologie joue un rôle moteur. Les principes sont :

- boucler les cycles de vie pour minimiser l'usage des ressources et limiter les émissions;
- enchaîner les cycles de vie (output d'un système = input d'un autre);
- limiter l'accroissement de l'entropie (augmenter les rendements énergétiques et la productivité des ressources).

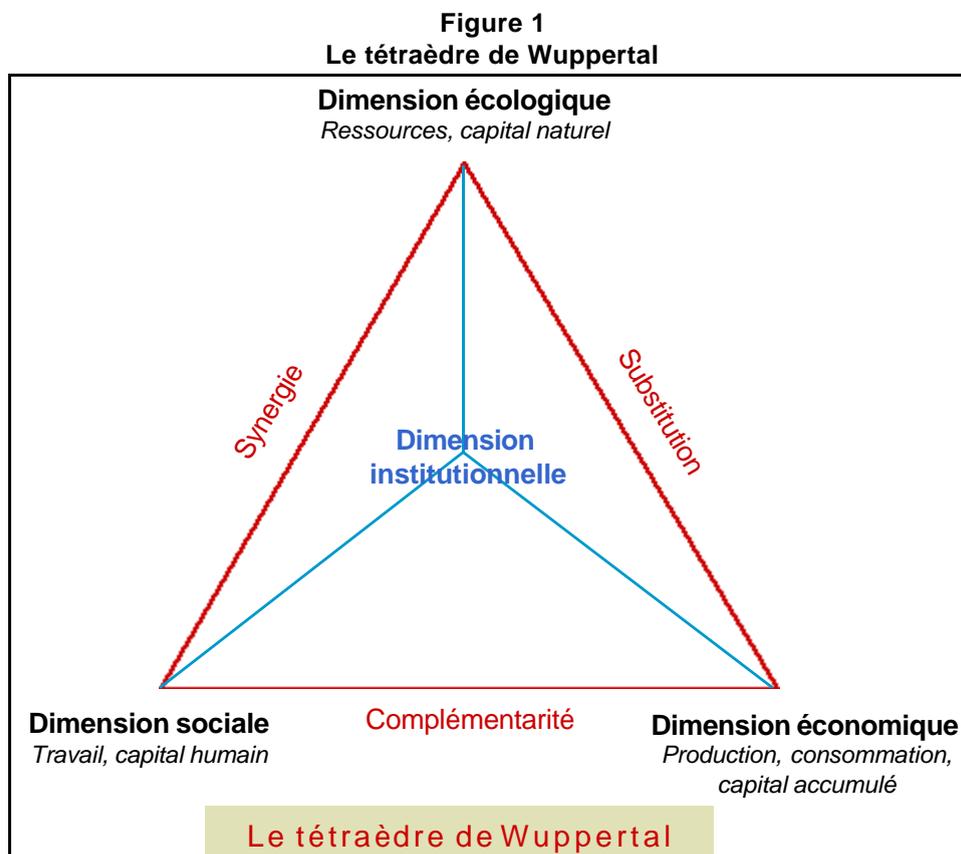
L'approche écosystémique donne une grande importance à la recherche dans les sciences naturelles et la technologie, qui est amenée à jouer un rôle moteur dans l'identification des paramètres des changements globaux et dans la sélection des options possibles pour un développement durable. La plupart des autres sciences, notamment les sciences humaines, sont “instrumentalisées”, dans la mesure où leur rôle consiste à fournir des moyens pour concrétiser les choix : instruments économiques, cadres juridiques, conditions de diffusion des innovations, conditions d'acceptabilité sociale des changements, etc.

(20) Deléage J-P., *Une histoire de l'écologie*, Points/Sciences, Editions du Seuil, Paris, 1994 (chapitres 9 et 10).

(21) Vivien F-D., *Economie et écologie*, Repères, Ed. La Découverte, Paris, 1994 (chapitre IV).

1.4. Le rôle nécessaire, mais non suffisant, de l'innovation technologique

Le schéma ci-dessous, emprunté à l'Institut de Wuppertal (22) et fréquemment cité dans les travaux de la CSD (Commission du développement durable, chargée du suivi de l'Agenda 21), représente les quatre dimensions clés du développement durable.



Ce schéma permet de situer, selon ses auteurs, la contribution de l'innovation technologique :

1. Dans les relations entre la dimension économique et la dimension écologique, l'innovation technologique permet d'une part la substitution du capital naturel par du capital construit et accumulé, d'autre part la réduction de la ponction sur le capital naturel à travers une augmentation de l'éco-efficience des procédés et des produits.
2. Dans les relations entre la dimension sociale et la dimension économique, l'innovation technologique permet d'organiser une meilleure complémentarité entre le capital humain et le capital matériel et financier, de manière à corriger les sources d'exclusion sociale qui sont à la racine d'un développement non durable.
3. Dans les relations entre la dimension sociale et la dimension écologique, il s'agit de transformer les modes de consommation et les modes de vie (notamment en matière

(22) Spannenberg J., Bonniot O., *Sustainability indicators, a compass on the road towards sustainability*, Wuppertal Paper n°81, February 1998.

de transport et d'habitat) de manière à ce que l'accroissement de la qualité de la vie entre en synergie avec la préservation du capital naturel.

Selon ce schéma, c'est la dimension institutionnelle qui permet au modèle d'être cohérent. Par rapport à l'innovation technologique, cela veut dire que ce n'est pas tellement la technologie en tant que telle qui est le centre d'intérêt, mais bien son institutionnalisation dans des systèmes de diffusion des innovations et d'organisation de la R&D. Réduite à son seul aspect de substitution entre le capital naturel et le capital construit, la technologie n'est pas en soi un facteur de développement durable.

Certains travaux théoriques tentent d'approfondir les implications pour l'innovation technologique des deux grandes thèses sur la soutenabilité "faible" ou "forte" (23) :

- Dans l'optique de la soutenabilité faible, l'essentiel de l'effort d'innovation doit viser à reculer les limites de la substitution du capital naturel par le capital construit.
- Dans l'optique de la soutenabilité forte, l'essentiel de l'effort d'innovation doit porter sur la "dématérialisation" de l'économie. Pour quantifier cette "dématérialisation", l'Institut de Wuppertal a développé le concept d'intensité de matériel par unité de service (*MIPS, material intensity per unit service*). Il s'agit de mesurer le rapport entre la fonction assurée par un produit ou un service et le degré d'utilisation des matières premières et des ressources naturelles non renouvelables (y compris l'énergie). Pour éviter l'épuisement des ressources, il faut développer des activités économiques à faible MIPS (24). Selon l'Institut de Wuppertal, l'informatique et les réseaux constituent des exemples de produits et de services dont le MIPS est particulièrement faible, mais dont le potentiel de croissance économique est élevé.

Bien que ces deux thèses soient discutées et opposées dans la plupart des références théoriques sur les modèles de développement durable, leurs implications concrètes pour les politiques d'innovation sont bien moins distinctes qu'il n'y paraît.

1.5. Technologie et développement durable : terminologie et définitions opérationnelles

Dans la suite de ce rapport, on rencontrera très fréquemment une série d'expressions qui, pour être semblables, n'en désignent pas moins des choses différentes : technique, technologie ou innovation technologique ; technologie environnementale, technologie propre, technologie soutenable. Sur base des considérations qui viennent d'être développées, on peut proposer une série de définitions opérationnelles.

L'*innovation technologique* désigne un processus qui inclut non seulement la technologie elle-même, mais aussi tout son cycle de vie : conception, diffusion, marché, perfectionnement, déclin. L'innovation est un processus économique, qui fait intervenir des variables telles que la rentabilité, la compétitivité, l'investissement, etc.

(23) Kyriakou D., *Sustainable development : towards a synthesis*, IPTS Technical Report Series, Joint Research Centre, European Commission, Sevilla, 1995.

(24) Schmidt-Bleek F., *Work in a sustainable economy*, Proceedings of the Telework 94 conference, European Commission, Berlin, 1994.

L'innovation est aussi un processus social, qui fait intervenir des acteurs, des intérêts convergents ou divergents, des représentations individuelles et collectives. L'innovation est encore un processus institutionnel, qui se déroule dans des programmes et au sein d'organisations, publiques ou privées, et qui fait l'objet de négociations et de procédures de décision.

Le terme technologie est utilisé dans deux acceptions. Au sens premier, la *technologie* désigne un ensemble cohérent de solutions techniques ou d'objets techniques (produits ou procédés), incluant non seulement les *techniques* proprement dites, mais aussi les services qui y sont associés (assistance, maintenance, réparation, etc.). Technologie a un sens générique : on parlera des technologies de l'information et de la communication, des biotechnologies, des technologies environnementales, etc. Mais dans le langage courant, les termes technologies et techniques (au pluriel) sont souvent employés de manière indifférente.

Le terme *technologie environnementale* désigne une technologie qui a pour but d'apporter une solution à un problème environnemental. Les technologies environnementales peuvent comprendre des techniques qui ne sont pas spécifiques du domaine de l'environnement. Ainsi, une technologie d'épuration des eaux, qui est une technologie environnementale, repose sur une série de techniques électromécaniques ou chimiques qui ne lui sont pas spécifiques. La technologie environnementale n'est donc pas définie par rapport aux objets ou procédés techniques, mais rapport au but qu'elle poursuit.

Le terme *technologie propre* (ou technologie plus propre, meilleure traduction de *cleaner technology*) désigne une catégorie particulière de technologies environnementales, qui apportent une solution à la source et non pas en bout de chaîne. Il s'agit de prévenir la pollution ou le gaspillage de ressources naturelles, plutôt que d'en traiter les conséquences. Le concept de prévention est essentiel dans la notion de technologie propre. L'opposé d'une technologie propre est une *technologie de bout de chaîne* (*end-of-pipe technology*). Et l'inverse d'une technologie propre est évidemment une technologie sale. Parmi les technologies propres, il y a une proportion élevée de technologies intégrées (voir §1.2.1., pp. 10-11), mais les deux termes ne sont pas toujours synonymes. De même, les technologies additives, qui s'ajoutent à un procédé sans le modifier radicalement, ne sont pas nécessairement synonymes de technologies de bout de chaîne ; il peut s'agir de technologies propres, par exemple si elles diminuent la consommation de ressources naturelles.

Le terme *technologie soutenable* fait référence non seulement à l'objectif environnemental, mais également aux autres objectifs du développement durable : équité et solidarité, transformation des modes de production et de consommation. Cette expression est une métonymie, qui correspond à la traduction de *sustainable technology*. On verra cependant plus loin que l'expression est ambiguë. En effet, ce n'est pas la technologie qui peut être qualifiée de soutenable, mais l'ensemble du processus d'innovation et de diffusion dans la société. Toutefois, "technologie soutenable" est un raccourci commode pour "technologie au service du développement durable".

2. Méthode de travail

L'état de l'art justifie pour une bonne part les choix méthodologiques qui ont été opérés au cours de la recherche, de même que les priorités qui ont été établies entre les différentes tâches de recherche.

2.1. Tâches de recherche

Le programme de travail initial prévoyait cinq tâches de recherche, correspondant à autant de "work packages" dans le planning de la recherche :

- A. l'analyse des relations entre technologie et développement durable ;
- B. la caractérisation des technologies au service du développement durable ;
- C. l'analyse des impacts socio-économiques des technologies "soutenables", à travers des études de cas ;
- D. l'analyse des relations entre l'innovation technologique et d'autres instruments au service du développement durable ;
- E. la formulation de conclusions et de recommandations, mises en perspective par rapport au contexte belge.

Sur base des résultats intermédiaires des deux premières tâches, le programme de travail a été revu et aménagé au cours de l'année 1999, en concertation avec les responsables du programme auprès des SSTC. Les résultats empiriques de la tâche B, de même que l'approche théorique développée dans la tâche A, indiquaient qu'il n'était pas possible de caractériser une technologie en tant que telle comme "soutenable" ou non, sans se référer à l'ensemble du processus d'innovation dans lequel s'intègre cette technologie. Ce rôle important du processus d'innovation n'était pas imprévu, mais il avait été quelque peu sous-estimé dans la description initiale du contenu des tâches de recherche.

Les études de cas et les autres tâches de collecte de données empiriques prévues dans les tâches C et D ont donc été réorientées dans trois directions :

- améliorer la compréhension du *processus de diffusion des innovations* dans l'industrie, ainsi que des incitants et des obstacles à la prise en compte du développement durable par les décideurs au sein des entreprises et des centres de recherche à vocation industrielle ;
- sélectionner un échantillon de firmes innovantes, où *toutes les dimensions du processus d'innovation* (économique, sociale, écologique, institutionnelle, culturelle) pourraient faire l'objet d'une investigation ;
- mener une étude de cas sur un domaine technologique particulier (la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables), de manière à mettre en évidence les *dynamiques sectorielles* à l'œuvre dans les stratégies d'innovation.

La tâche E a également été réorganisée, pour accorder une attention plus particulière aux modalités d'intégration du développement durable dans les différents mécanismes de stimulation et de soutien mis en œuvre par les politiques d'innovation.

2.2. Méthodologie

Chaque tâche de recherche a requis la mise en œuvre de méthodes de travail appropriées. Il n'y a donc pas d'approche méthodologique uniforme. Quatre types de méthodes de travail ont été utilisées.

- Dans l'approche théorique, basée sur une discussion de la littérature existante, on a privilégié la confrontation de sources provenant d'horizons disciplinaires différents, notamment la confrontation entre les études sociales sur l'innovation et les études sur le développement durable (voir II, §1 et III, §1).
- Dans la caractérisation des technologies au service du développement durable, un inventaire d'innovations a été dressé à partir d'un échantillon d'articles de la presse spécialisée et une méthode de classification a été élaborée (voir III, §2.1).
- Pour réaliser les études de cas dans des entreprises innovantes, un guide d'entretien semi-directif et une check-list ont été mis au point. Le choix de l'échantillon s'est référé à une liste de critères reflétant les nouvelles orientations des études de cas, définies en 1999 (voir III, §2.2).
- Une grille d'analyse a été construite pour comparer, sous l'angle du développement durable, une vingtaine de programmes de stimulation ou de soutien à l'innovation, en Belgique et à l'étranger (voir III, §3).

Des précisions méthodologiques plus détaillées sont fournies avec la présentation des différents résultats, dans la troisième partie de ce rapport.

On peut néanmoins souligner un trait commun à toutes les méthodes utilisées : le souci systématique de favoriser une approche pluridisciplinaire, qui prend en compte les dimensions technologiques, écologiques, économiques, institutionnelles et sociales. Cette approche pluridisciplinaire a été favorisée par la variété des qualifications représentées dans l'équipe de recherche, qui était composée de la façon suivante :

- Auteurs principaux du rapport final :
Cécile Patris, économiste et diplômée en gestion de l'environnement,
Gérard Valenduc, physicien, spécialisé dans l'évaluation des choix technologiques, directeur du centre de recherche et promoteur du projet,
Françoise Warrant, juriste, spécialisée dans l'analyse institutionnelle des politiques d'innovation.
- Contributions de :
Véronique Porot, chimiste et océanographe, éco-conseillère,
Anne-Catherine Rousseau, physicienne, diplômée en gestion de l'environnement,
Patricia Vendramin, sociologue, diplômée en communication sociale et en études du développement, responsable des projets sur l'innovation et l'avenir du travail.

III.

Présentation des résultats

1. Le contexte : politiques environnementales et politiques d'innovation

Les politiques environnementales sont aujourd'hui au cœur des dispositifs mis en place pour favoriser le développement durable, même si tout le monde s'accorde sur le fait que le développement durable ne peut pas être réduit à sa seule dimension écologique. Parmi les instruments des politiques environnementales, on distingue habituellement :

- les *instruments réglementaires*, qui comprennent à la fois des procédures (autorisations, permis, études d'incidences, comités de prévention et protection du travail, etc.) et des normes (normes d'émission et d'immission, normes de procédés et de produits, normes relatives à la santé et la sécurité des travailleurs et des populations) ;
- les *instruments économiques*, qui comprennent les taxes et les redevances, les aides financières (subventions ou allègements fiscaux), les systèmes de consignation, les amendes ou les primes liées à la mise en conformité, ainsi que les "instruments de marché", permettant d'effectuer des transactions sur la valeur monétaire attribuée à des détriments environnementaux (permis et droit d'émission négociables, etc.)

Le Working Paper n° 2 présente une discussion détaillée de l'efficacité de ces instruments par rapport à l'innovation technologique et à certains facteurs contextuels, comme l'emploi, la compétitivité et l'internationalisation. Trois aspects particulièrement pertinents par rapport au thème central de la recherche sont résumés ci-après : les impacts des instruments de politique environnementale sur l'innovation technologique ; la construction des réponses technologiques aux politiques environnementales ; enfin, la modularité et la flexibilité des relations entre les politiques environnementales et le développement de solutions technologiques.

1.1. Les impacts sur l'innovation technologique des instruments des politiques environnementales

1.1.1. L'impact des instruments économiques

Selon l'OCDE (25), les instruments économiques sont, en principe, susceptibles de stimuler plus vigoureusement l'innovation que les instruments réglementaires. Ils incitent davantage les pollueurs à inventer des moyens efficaces pour réduire les

(25) OCDE, *Evaluer les instruments économiques des politiques de l'environnement*, Paris, 1997.

émissions au-delà du niveau fixé par des normes, plutôt que de se contenter de mettre en œuvre les mesures minimales nécessaires à la mise en conformité (26).

Schubert et Zagamé (27) mettent en évidence, à l'aide de modèles de concurrence pure entre entreprises, que les taxes sur les émissions et les subventions à la R&D incitent les entreprises à adopter une technologie propre et à corriger les externalités dues à la pollution. Dans ce modèle, les auteurs montrent également que dans le cas où une partie des consommateurs serait prête à payer plus cher des produits moins polluants que leurs équivalents, les entreprises ont intérêt à investir en R&D pour s'accaparer le marché des produits "verts" à la place de leurs concurrents.

Carraro et Siniscalco (28) montrent cependant qu'une politique de taxation ne peut être mise en œuvre si le pays souhaitant améliorer la qualité de l'environnement est en concurrence avec des partenaires commerciaux n'appliquant aucune politique de ce type. Ils préconisent la mise en place de subventions aux investissements pour permettre aux entreprises, par la R&D, de réduire la pollution dont elles sont responsables tout en leur permettant de soutenir la concurrence internationale. Dans le cadre des accords internationaux, ils montrent que la taxation de la pollution est nécessaire à l'émergence de nouvelles technologies moins polluantes et que la coopération des gouvernements permet une plus grande sévérité de leur politique environnementale.

1.1.2.L'impact des instruments réglementaires

Une réglementation environnementale basée exclusivement sur les technologies existantes risque de "verrouiller" certaines trajectoires technologiques et, par là-même d'en exclure d'autres, en dépit du fait que ces dernières puissent conduire à de meilleures performances environnementales. Par contre, à certaines conditions, la réglementation peut favoriser le comportement innovateur des entreprises.

Selon Tils et Sørup, un des principes de base pour que la réglementation soit favorable à l'innovation est de se concentrer sur les résultats et les performances environnementales plutôt que sur les moyens et les technologies (29). Cependant, si des normes basées sur des exigences techniques sont peu favorables à l'innovation technologique proprement dite, elles peuvent favoriser la diffusion de technologies existantes, encourager les investissements et permettre un changement radical dans des secteurs figés, comme cela a été le cas dans l'industrie du papier.

Selon Poncet et Salles, la décision d'un industriel de s'engager dans le développement d'une technologie nouvelle à finalité environnementale dépend notamment de la probabilité de voir s'imposer de nouvelles exigences réglementaires. A l'inverse de

(26) Jaffe A., Stavins R.N., *Dynamic incentives of environmental regulations : the effects of alternative policy instruments on technology diffusion*, in *Journal of environmental economics and management*, vol. 29, 1996.

(27) Schubert K., Zagamé P., *L'environnement, une nouvelle dimension de l'analyse économique*, Editions Vuibert, Paris / Montréal, 1998.

(28) Carraro C., Siniscalco D., *Environmental innovation policy and international competition*, in *Environmental and resource economics*, vol. 2, 1992.

(29) Tils C., Sørup P., *Biotechnology as a cleaner production technology in pulp and paper*, The IPTS report, n°16, July 1997.

l'effet de "verrouillage" mentionné plus haut, la réglementation peut aussi permettre à des innovations d'émerger et de se diffuser, alors qu'elles ne l'auraient pas fait en l'absence de réglementation (30).

Parmi les améliorations à apporter dans la conception et la préparation des normes environnementales, le Commissariat général du Plan (en France) propose d'élaborer un calendrier d'échéances permettant le déploiement progressif de stratégies d'innovation technologique, car la mise en place fréquente, sans annonce préalable, de réglementation dont le coût économique est élevé tend à stériliser les démarches innovantes (31).

1.2. Les réponses technologiques aux politiques environnementales

Lors de travaux réalisés par l'OCDE en juin 1999 (32), un schéma d'analyse des relations entre politiques environnementales et changement technologique a été suggéré par Heaton (33). Ce schéma (tableau 2) met en évidence l'interaction entre les entreprises privées et les politiques publiques dans la recherche de solutions technologiques aux problèmes environnementaux. Il souligne l'influence à la fois des facteurs contextuels et des mesures politiques sur les stratégies des entreprises en matière d'innovation et il permet d'affiner l'analyse sur les réponses technologiques apportées par les entreprises.

Tableau 2
Cadre d'analyse des réponses technologiques aux politiques environnementales

Variables contextuelles	+	Instruments des politiques environnementales [®]		Réponses technologiques	
		<i>Mécanismes</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Degré</i>	<i>Origine</i>
– Problèmes environnementaux		– Normes et réglementation	– Étalement dans le temps	– Innovation radicale	– Firme ou secteur polluant
– Contexte technologique		– Instruments économiques	– Caractère contraignant	– Innovation incrémentale	– Nouvelle firme, nouvel entrant
– Structures industrielles		– Accords volontaires	– Flexibilité	– Diffusion de technologies	– Industrie de l'environnement
– Caractéristiques des firmes		– Responsabilité du producteur	– Coût	– Innovation continue	– Autre
– Marchés, prix, facteurs sociaux		– Information obligatoire	– Incertitude	– Pas d'innovation	

Source : Heaton, 1997

- (30) Poncet C. et Salles J-M., *Les normes constituent-elles des incitations à innover pour les éco-industries ? Une approche en termes de décisions*, dans *Revue d'économie industrielle* n°83, 1998.
- (31) Commissariat général au Plan, *L'économie face à l'écologie*, La Découverte, Paris, 1993.
- (32) OECD, *Technology and environment : towards policy integration*, DSTI/STP (99)19/final, Paris, June 1999
- (33) Heaton G., *Environmental policies and innovation : an initial scoping study*, Report prepared for the OECD Environment Directorate and Directorate for Science, Technology and Industry, 1997.

Les *variables contextuelles* évoquent les conditions qui limitent les réponses technologiques aux mesures de politique environnementale. Par exemple, la nature particulière d'un problème environnemental peut amener à adopter une attitude à court terme, en développant une technologie "end-of-pipe" qui constitue une réponse limitée à une pollution spécifique. Néanmoins, lorsque les objectifs environnementaux sont fixés à plus long terme, dans une perspective de prévention des pollutions et d'économie des ressources, un changement dans la conception même de la technologie pourra constituer une réponse adéquate. Ces variables tiennent également compte du climat innovateur dans lequel une réponse va surgir (structure du secteur, caractéristiques de l'entreprise) : le système technologique, tantôt fluide ou flexible, tantôt mûr ou rigide, dans lequel un problème environnemental vient à se poser, influence évidemment la réponse technologique qui y sera apportée par l'entreprise.

Les effets des instruments des politiques environnementales publiques ont déjà été discutés plus haut. Il convient toutefois de préciser que les innovations technologiques en matière environnementale résultent de pressions très diverses, qui n'émanent pas uniquement des politiques publiques. Il peut s'agir de pressions émanant des compagnies d'assurance, des banques, des clients, des travailleurs, des groupements environnementaux, des organisations de défense des consommateurs.

En ce qui concerne les *réponses technologiques*, deux éléments sont importants : le degré de changement provoqué et le lieu d'où émane le changement. Le changement peut être imperceptible (statu quo technologique pour une entreprise déjà en conformité), il peut consister en une diffusion de technologies existantes, en une adaptation permanente, en une innovation technologique incrémentale ou radicale. Le tableau 3 illustre les différents types de réponse technologique en termes de degré de changement.

Tableau 3
Type de réponse technologique aux instruments de politique environnementale

	<i>Innovation radicale</i>	<i>Innovation incrémentale</i>	<i>Adaptation continue</i>	<i>Diffusion de technologies</i>
Normes de produits	X	XX	X	XXX
Autorisations de mise sur le marché	X	XXX	N/A	N/A
Interdiction de produits	XXX	X	XX	XXX
Normes de performance	X	XXX	XX	XX
Spécifications techniques	X	XX	X	XXX
Permis d'installation	X	XX	X	XX
Redevances de pollution	X	XXX	XXX	XX
Permis de pollution négociables	X	XX	XX	X
Subventions environnementales	XX	XXX	XX	XXX
Responsabilité du producteur	XXX	XX	XX	X
Obligation d'information	X	XXX	XXX	XX
Accords volontaires	X	XX	XX	XXX

X = faible, XX = moyen, XXX = important, N/A = non approprié

Source : Heaton, 1997

Par ailleurs, les lieux d'où émane la réponse technologique en matière environnementale se sont considérablement élargis au fil du temps. L'industrie des biens et services environnementaux s'est fortement développée au cours des deux dernières décennies et constitue désormais un nouveau secteur générateur d'innovations. Lorsque des solutions technologiques radicales s'imposent, les nouveaux entrants sur les marchés constituent parfois une source d'innovation. Enfin, plus récemment, d'autres institutions semblent exercer un rôle important dans l'innovation environnementale : universités, laboratoires publics de recherche, consortiums industriels, etc.

Ce schéma d'analyse est donc instructif pour l'analyse des interactions entre les stratégies d'innovation environnementale des entreprises et les dispositifs de l'intervention publique. Il ne doit cependant pas occulter le fait que beaucoup de technologies ayant des effets positifs sur l'environnement sont développées ou adoptées par les entreprises pour des motifs économiques tout à fait classiques, à savoir la réduction des coûts de production et l'amélioration de la qualité des produits.

Par ailleurs, la diffusion de technologies bénéfiques pour l'environnement ne s'opère pas sur base de leurs seules qualités environnementales, car elles doivent aussi répondre aux exigences habituelles en termes de coût, de performance, de confort, d'adaptation aux procédés existants.

1.3. Les relations entre politiques environnementales et innovation technologique : modularité et flexibilité

A l'occasion du workshop OCDE consacré au thème "Innovation et environnement", organisé en juin 2000 par le *OECD Working Group on Innovation and Technology Policy*, l'importance d'une interaction optimale entre les instruments des politiques environnementales et des politiques d'innovation a été soulignée une nouvelle fois. Selon R. Kemp, l'objectif à poursuivre en matière de changement technologique et le contexte d'application doivent déterminer quel est l'usage optimal de tel ou tel instrument réglementaire ou économique. Il n'y a donc pas de recette toute faite, les différents instruments doivent être utilisés en fonction du contexte dans lequel ils doivent s'appliquer.

A partir des tableaux de synthèse présentés par R. Kemp lors de ce workshop (34), nous avons tenté de rassembler les principaux éléments d'une "contextualisation" des rapports entre politiques environnementales et politiques d'innovation. Le tableau 4 (page suivante) met en relation trois variables clés :

- les différents instruments des politiques publiques,
- les objectifs ou les modalités spécifiques de l'innovation technologique, qui correspondent à l'utilisation de ces instruments,
- les contextes spécifiques dans lesquels les outils des politiques environnementales et les modalités de l'innovation produisent une interaction optimale.

(34) Kemp P., *Technology and Environmental Policy – Innovation effects of past policies and suggestions for improvement*, in OECD, *Innovation, environment and sustainable development*, Proceedings of the workshop of June 2000, Paris, 2000, pp. 35-62.

Tableau 4
Contextualisation des rapports entre politiques environnementales et innovation technologique

<i>Instrument des politiques publiques</i>	<i>Objectifs et modalités de l'innovation</i>	<i>Contextes d'application</i>
Normes environnementales basées sur la technologie existante	Diffusion de technologies et innovations incrémentales	Quand les écarts de coûts marginaux dans la réduction des pollutions sont faibles et quand des solutions économiquement praticables sont disponibles.
Normes qui nécessitent une avancée technologique	Innovation technologique	Quand des opportunités technologiques sont disponibles à des coûts acceptables et quand il y a un consensus sur la conformité des technologies.
Eco-taxes	Recyclage et économies d'énergie ou de matière première Diffusion de technologies et innovations incrémentales	Pour des pollueurs hétérogènes, qui répondent aux signaux des prix. Quand il y a plusieurs technologies différentes pour obtenir des bénéfices environnementaux.
Permis environnementaux négociables	Diffusion de technologies et innovations incrémentales	Semblables aux taxes, à la condition que les coûts de transaction et de surveillance ne soient pas trop élevés.
Conventions et alliances technologiques	Diffusion de technologies	Quand il y a de nombreux pollueurs et de nombreuses solutions technologiques et si la surveillance des performances environnementales est coûteuse.
Subventions à la R&D	Innovation technologique	Quand des technologies n'ont pas encore de marché et en cas d'incertitude sur les politiques futures. Quand il y a des problèmes d'appropriation des bénéfices. Quand il y a d'importantes retombées pour les connaissances. Quand les bénéfices sociaux sont importants et les bénéfices privés insuffisants.
Subventions à l'investissement	Diffusion de technologies	Quand l'industrie est victime de désavantages concurrentiels dus à des législations plus laxistes dans d'autres pays.
Communication (par exemple : éco-labels)	Diffusion de technologies	Quand il y a un manque d'information ou de sensibilisation à l'environnement.
Création de réseaux	Diffusion de technologies et innovation	Quand l'information des firmes est déficiente.
Débats sociétaux sur les enjeux environnementaux	Stimuler la compréhension mutuelle, apprendre à connaître les systèmes de valeurs, améliorer le processus de participation	Quand il y a des controverses sur l'identification des problèmes et les solutions à mettre en œuvre.
Etudes prospectives sur le développement durable	Connaître les options, nuancer les idées reçues	Quand la stratégie à long terme a besoin d'être clarifiée.

Source : FTU, d'après R. Kemp, OCDE, 2000

2. Les stratégies d'innovation des entreprises

Trois approches ont été suivies pour étudier les stratégies d'innovation des entreprises en rapport avec l'objectif de développement durable. Dans un premier temps, une enquête a été menée sur un échantillon d'innovations environnementales, de manière à dégager les caractéristiques de ces innovations. Les résultats ont toutefois montré qu'il était très souvent difficile de caractériser une technologie en tant que telle comme favorable ou non au développement durable, dans la mesure où le processus d'innovation est un critère bien plus déterminant que la technologie elle-même.

Dans un second temps, une série d'études de cas ont été menées dans des entreprises innovantes, précisément dans le but d'appréhender les différentes dimensions du processus d'innovation et de discerner d'éventuelles caractéristiques spécifiques à l'innovation en faveur du développement durable. Parallèlement à ces études de cas, diverses enquêtes existantes, concernant les objectifs et les modalités de l'innovation, ont fait l'objet d'une analyse comparative, sous l'angle du développement durable.

2.1. Enquête sur la "vitrine" de l'innovation technologique soutenable

2.1.1. Méthodologie

L'objectif de cette enquête est de tester une grille de caractérisation des technologies au service du développement durable. Une série de critères de caractérisation sont proposés à partir de la littérature existante. Ils sont confrontés à l'observation et l'analyse de données concrètes. La méthode qui a été choisie consiste à observer, au cours d'une période donnée (huit mois en 1997-98), la manière dont les innovations technologiques au service du développement durable sont "mises en vitrine", c'est-à-dire présentées lors de foires spécialisées ou dans des revues professionnelles. L'inventaire comprend environ 800 innovations favorables à l'environnement, qui peuvent être considérées comme un échantillon des "meilleures technologies disponibles" (*BAT, best available technologies*) du point de vue de leurs utilisateurs potentiels en Belgique. L'inventaire comporte deux types de sources d'information :

- *Les sources publicitaires.* Nous avons collecté et analysé une série d'informations factuelles : articles, brochures, rapports d'activités d'entreprises, communications à des conférences ou présentations dans des salons. Ces données sont essentiellement de type publicitaire ou informatif et ont été puisées dans différentes revues (principalement *Eco Manager* et *Décision Environnement* de septembre 1997 à avril 1998) et lors d'expositions spécialisées (*Best 97, Pollutec 97*). Elles constituent un échantillon de la vitrine des technologies favorables à l'environnement.
- *Les rapports environnementaux volontaires des entreprises.* Un second échantillon a été constitué avec des offres et investissements relevés dans différents rapports environnementaux publiés volontairement par des entreprises situées en Belgique. Cette source d'information concerne des entreprises a priori mieux sensibilisées aux problèmes d'environnement, puisqu'elles adoptent une démarche volontaire d'analyse interne et d'information externe. Elle fournit donc un sous-groupe spécifique dans l'échantillon.

Dans les deux catégories de sources, les innovations consistent d'une part en *offres de technologies*, qui sont présentées sur le marché par les concepteurs ou les fournisseurs, d'autre part en *investissements en technologies*, tels qu'ils sont décrits par les entreprises qui les ont mis en œuvre. L'aspect financier des investissements n'est pas pris en compte.

Trois catégories de critères sont utilisés pour classer et caractériser les informations collectées.

1. Une première série de critères concerne les *objectifs des innovations*, définis en référence à une de nos études antérieures (35). Six objectifs sont pris en compte :
 - les technologies de prévention, qui visent à réduire les risques d'accident ou de pollution ;
 - les technologies de bout de chaîne (*end-of-pipe*), qui visent à limiter ou à traiter les impacts environnementaux sur l'air, l'eau, les déchets, les sols ou le bruit ;
 - les technologies de réhabilitation, destinées à restaurer les écosystèmes endommagés,
 - les technologies de surveillance et de mesure ;
 - les technologies de substitution, qui visent à remplacer des substances ou des procédés dangereux par des alternatives favorables à l'environnement ;
 - les technologies sobres, qui réduisent l'utilisation de ressources matérielles et énergétiques non renouvelables.
2. Un second critère concerne la distinction entre *technologies additives* et *technologies intégrées*, qui a déjà été expliquée précédemment (II, §1.2.1, page 10).
3. Un troisième critère se réfère à la distinction entre *innovations incrémentales* et *innovations radicales*, également expliquée plus haut (II, §1.2.2, page 12).

Cette méthodologie peut être considérée comme originale, mais elle présente un certain nombre de limites et de faiblesses :

- Il s'agit d'innovations "favorables à l'environnement", ce qui n'est pas la même chose que "favorable au développement durable" ; les critères d'équité et de solidarité diachronique et synchronique, qui font partie du concept de développement durable, n'ont pas pu être évalués sur base des informations collectées ici.
- Les constats sont tributaires de l'échantillon choisi, qui reflète la vitrine des innovations favorables à l'environnement, mais non pas les marchés. L'échantillon comporte aussi bien des technologies bon marché et des technologies coûteuses, des technologies déjà répandues et des technologies émergentes.
- Il n'est pas possible d'appliquer à toutes les innovations les trois groupes de critères retenus. Le troisième critère (innovations incrémentales ou radicales) est quasiment impossible à évaluer à partir de sources secondaires, sans rien connaître des conditions concrètes de mise en œuvre des innovations dans les firmes concernées.

(35) Valenduc G., Vendramin P., *Le travail au vert*, Editions EVO, Bruxelles, 1996, pp. 9-17.

2.1.2. Principaux résultats

Les résultats détaillés sont présentés dans le Working Paper n° 3 (pages 3 à 16). L'analyse des résultats montre une prédominance des technologies additives sur les technologies intégrées. La proportion de technologies intégrées est toutefois plus élevée dans le sous-échantillon des innovations provenant des rapports environnementaux. Ceci peut indiquer que les firmes qui font preuve d'une meilleure prise de conscience environnementale consacrent aussi une plus grande priorité aux technologies intégrées.

Tableau 5
Répartition entre technologies additives et technologies intégrées

	Sources publicitaires		Rapports environnementaux	
	Offres	Investissements	Offres	Investissements
Technologies additives	76 %	61 %	32 %	53 %
Technologie intégrée	24 %	39 %	68 %	47 %
	100 %	100 %	100 %	100 %

Une autre caractéristique spécifique du sous-groupe des innovations provenant des rapports environnementaux est la proportion plus élevée de technologies de substitution. Le tableau 6 montre la répartition de l'échantillon en fonction des différents objectifs environnementaux.

Tableau 6
Répartition des innovations selon leurs objectifs environnementaux

	Sources publicitaires		Rapports environnementaux	
	Offres	Investissements	Offres	Investissements
Prévention	9.6 %	8.2 %	2.0 %	5.8 %
End-of-pipe	49.3 %	52.3 %	49.0 %	49.0 %
Réhabilitation	5.3 %	2.1 %	1.3 %	4.0 %
Surveillance	19.6 %	4.8 %	0.0 %	5.8 %
Substitution	3.3 %	6.6 %	19.6 %	9.2 %
Economie de ressources	12.9 %	26.0 %	28.1 %	26.2 %
	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %

Les données du tableau 6 montrent que les technologies de bout de chaîne sont les plus répandues, dans toutes les parties de l'échantillon. Ces innovations sont avant tout destinées à éviter les dommages environnementaux. Elles peuvent être considérées comme des réponses à la réglementation environnementale. Les technologies qui permettent d'économiser l'énergie, l'eau ou les matières premières viennent au second rang. Ces innovations conduisent à une réduction directe des coûts de production des entreprises et ont un retour sur investissement assez rapide. La mise en conformité vis-à-vis des réglementations et les réductions de coûts apparaissent donc comme les principaux incitants à l'innovation.

Comme on l'a déjà souligné, les critères utilisés dans la caractérisation de la "vitrine" des innovations environnementales ne sont pas suffisants pour comprendre les trajectoires qui conduisent à des innovations favorables au développement durable. C'est pourquoi d'autres méthodes ont été mises en œuvre pour comprendre ces trajectoires. Leurs résultats sont présentés dans les deux sections suivantes (2.2 et 2.3).

2.2. Etudes de cas dans des entreprises innovantes

2.2.1. Méthodologie

L'échantillon des études de cas est constitué aussi bien d'entreprises *productrices* d'innovations technologiques que d'entreprises *utilisatrices* (ou les deux à la fois). Dans les deux cas, c'est le *processus d'innovation* qui est au centre de l'étude de cas. Pour adopter une ligne de conduite opérationnelle au niveau des études de cas, nous avons considéré que :

- Les innovations à cibler peuvent concerner non seulement les aspects environnementaux, mais aussi l'énergie, les matières premières et les transports. Il peut s'agir aussi de technologies des matériaux ou de technologies de l'information et de la communication, destinées à résoudre un problème spécifique de développement durable.
- Des indices de la dimension "développement durable" sont, d'une part, la préoccupation pour le long terme, alors que beaucoup de technologies environnementales sont des solutions à court terme, et d'autre part, l'ouverture à la problématique Nord-Sud (transferts de technologies, coopération, etc.). Un autre indice possible est la dimension d'éthique des affaires (*business ethics*).

Plusieurs sources ont été utilisées pour sélectionner les entreprises susceptibles de faire l'objet d'une étude de cas :

- un inventaire de 39 entreprises situées en Belgique et qui publient, de leur propre initiative, des rapports environnementaux ;
- l'annuaire des entreprises innovantes publié par la Région wallonne (DGTRE) ;
- le répertoire des technologies pour le Sud réalisé par l'Agence Wallonne à l'Exportation (AWEX) et le Collectif d'échange pour les technologies appropriées (COTA) ;
- divers articles de revues spécialisées sur les questions relatives à l'environnement et l'innovation technologique.

Une liste préliminaire de 102 entreprises a été dressée. Elle a uniquement servi à sélectionner une seconde liste de 27 entreprises, qui, d'après les sources secondaires (rapports d'activités, articles), présentaient des indices significatifs d'innovation technologique et de préoccupation pour le développement durable. Parmi ces 27 entreprises, 11 ont été sélectionnées pour l'échantillon final d'études de cas, selon des critères pragmatiques de faisabilité, de disponibilité d'une documentation préparatoire et d'une prédisposition favorable lors des premiers contacts avec ces entreprises.

Les études de cas ont été réalisées sur base d'entretiens semi-directifs au sein des entreprises (responsables d'environnement et de R&D, directeurs, etc.), ainsi qu'en référence à diverses publications traitant de ces entreprises (rapports d'activités, journal interne, articles de presse, etc.). Le tableau 7 présente le canevas qui a servi de guide d'entretien et de grille d'analyse pour ces études de cas.

Tableau 7
Canevas pour la réalisation des études de cas

<i>Les raisons d'innover</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Gagner des parts de marché. – Rester à la pointe dans sa branche d'activité. – Améliorer la compétitivité sur les prix. – Trouver une niche sur les marchés. – Comprimer les coûts de production. – Améliorer les conditions de travail. – Diminuer les nuisances pour l'environnement.
<i>La nature des innovations</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Innovations de produit (y compris les services liés au produit). – Innovations de procédé (y compris les technologies propres). – Innovations d'organisation (y compris les changements organisationnels liés au management environnemental et à une éventuelle certification ISO ou EMAS). – Innovations de marché (relations avec les clients, fournisseurs, partenaires, sous-traitants, etc.).
<i>La place de l'innovation dans l'entreprise</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Organisation de la fonction recherche et développement technologique dans l'entreprise (dans les PME : place des ingénieurs et des développeurs). – Capacité d'anticipation au sein de l'entreprise (notamment capacité de veille technologique). – Modalités particulières de gestion du personnel impliqué dans la recherche et l'innovation. – Degré d'autonomie ou de dépendance technologique. – Coopérations avec d'autres partenaires pour la R&D. – Insertion éventuelle dans des projets nationaux ou internationaux de R&D, dans des réseaux liés à l'innovation. – Pratiques en matière de transfert de technologies.
<i>La place du développement durable dans l'entreprise</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Éléments de politique environnementale mis en place par l'entreprise (management environnemental, écobilans, certifications, etc.). Solutions à court terme et solutions à long terme. – Attitude de l'entreprise dans le domaine des rapports Nord / Sud : approvisionnements, marchés, stratégie d'exportation, présence éventuelle dans des pays du Sud, etc. – Participation éventuelle de l'entreprise à des associations ou des réseaux d'entrepreneurs sur le thème du développement durable ou de l'éthique industrielle.
<i>Le pilotage des innovations</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Préparation et maturation des innovations : analyse et anticipation des besoins de la clientèle, observation des concurrents et des pionniers dans la branche, veille technologique, acquisition de technologies ou de brevets, organisation de la créativité interne. – Décision d'innover : processus, modalités, critères et acteurs des décisions d'innovation. – Diffusion des innovations : marketing, communication, prospection, gestion de la propriété intellectuelle (brevets et licences), contrats de prestation de services avec les clients, etc.
<i>Le soutien à l'innovation</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Recours aux diverses formes de subvention ou d'aide des pouvoirs publics. – Besoins d'aide à la diffusion des innovations. – Problèmes rencontrés en matière de financement des innovations. – Attitude vis-à-vis des réglementations (environnement, marchés publics, propriété intellectuelle, transferts de technologie, etc.). – Soutien à la formation et à la gestion des compétences du personnel de R&D.

2.2.2. Brève présentation des onze entreprises étudiées

1. *L'entreprise de peinture* est une PME qui, dans un premier temps, a réalisé des produits pour les marchés publics (SNCB et marquages routiers). Progressivement, à la demande de particuliers ou d'entrepreneurs, la gamme de produits s'est élargie pour s'étendre dans les années 80 aux produits pour bâtiments.
2. *L'entreprise de colorants* vend sa production aux secteurs du textile, du papier et du cuir. A l'origine, elle faisait partie d'un groupe américain, mais elle a été rachetée au début de l'année 2000 par un groupe anglais. Au cours des dernières années, la rentabilité s'est érodée et les contraintes environnementales ont pesé de plus en plus lourd sur la firme. Un nouveau directeur a insufflé une dynamique nouvelle à l'entreprise : associer tout le personnel à la recherche d'économies afin de financer les investissements environnementaux et éviter ainsi la fermeture du site ou les licenciements.
3. *L'entreprise de produits pharmaceutiques* fait partie d'un groupe américain qui domine les activités de soins de santé dans le monde. Elle dispose de plusieurs implantations en Belgique, dont un important centre de recherche et de production de médicaments à usage humain et vétérinaire. Récemment, elle a réalisé un projet visant à mesurer et à corriger les impacts négatifs pour le développement durable d'un de ses produits.
4. *L'entreprise de panneaux solaires photovoltaïques* est une PME qui a débuté ses activités dans le sillage de la KUL, au milieu des années 70, par l'encapsulation de cellules. Depuis les années 80, la société fabrique ses propres cellules pour les applications terrestres, puis spatiales. Malgré des modifications récentes dans la structure du capital, l'actionnariat est majoritairement détenu par le personnel de l'entreprise.
5. *L'entreprise de transformation des métaux* est une entreprise à caractère international, mais d'ancrage belge, qui a décidé de se diversifier dans le domaine des matériaux nouveaux, en particulier dans le solaire photovoltaïque. Elle a réalisé une joint-venture avec une entreprise américaine afin de construire une vaste usine de panneaux solaires. Cette entreprise se distingue notamment de la précédente par la technologie utilisée : les couches minces au silicium amorphe.
6. *L'entreprise d'assemblage d'éoliennes* jouit d'une structure très souple qui lui permet de coller au plus près aux besoins du marché. Elle est de petite taille mais en plus de ses propres éoliennes, elle commercialise des éoliennes d'autres fabricants de manière à couvrir la gamme complète (de 10 kW à 2 MW). Elle est la filiale d'un groupe belge qui commercialise les produits Caterpillar en Belgique et a noué des liens informels avec les divers représentants de la multinationale dans le monde, ce qui lui assure une forme de délégation officieuse.
7. *L'entreprise d'électromécanique* est une PME qui produit essentiellement des carabines à air comprimé (non létales) et des hydrauliques (moulins à eau flottants, destinés à produire de l'électricité au fil de l'eau).

8. La *tannerie* est une firme familiale d'une centaine de personnes. Elles produisent essentiellement du cuir de haute qualité, destiné à l'industrie du luxe: semelles de cuir et maroquinerie.
9. La *filature* est une entreprise belge d'une centaine de personnes, qui ne travaille que les fibres longues, essentiellement la laine et le lin. Les fils préparés sont destinés à l'ameublement (tapis de laine) et depuis quelques années, à l'habillement mais dans une moindre mesure. Elle développe de nombreuses innovations incrémentales dans ses produits, mais n'a pas de structure spécifique consacrée à la recherche.
10. L'*entreprise de traitement des déchets* est en fait un groupe constitué de plusieurs filiales opérationnelles. Une de ces filiales est chargée des aspects technologiques au sein du groupe en assurant une veille technologique et en jouant le rôle d'ensemblier au profit des autres sociétés du groupe. Ce groupe fait lui-même partie d'un groupe international.
11. L'*entreprise productrice d'électricité* domine le marché belge de l'électricité. Elle fait partie d'un groupe contrôlé par une multinationale française dont elle assume le pôle énergétique.

2.2.3. Caractérisation des comportements innovateurs

Le Working Paper n° 3 présente les résultats détaillés des études de cas (pp. 21 à 43), selon quatre rubriques :

- la nature des innovations,
- la latitude de l'entreprise pour innover,
- la préoccupation pour l'environnement et le développement durable,
- le processus d'innovation.

Le tableau 8 propose une synthèse des principales caractéristiques du comportement innovateur des onze entreprises.

Tableau 8
Etudes de cas – caractéristiques principales des comportements innovateurs

<i>Entreprise</i>	<i>Nature des innovations</i>	<i>Caractéristiques du processus d'innovation</i>
Peintures	Substitution de produits et de matières premières	Stimulants : réglementation plus stricte, concurrence, santé et sécurité. Collaboration avec des centres collectifs de recherche industrielle.
Colorants	Substitution de produits, nouveaux procédés Epuración des eaux usées, économie de ressources	Stimulants : qualité des produits, sauvetage de l'entreprise, qualité de l'environnement et qualité du travail, mobilisation du personnel. Laboratoire orienté vers le développement de nouveaux procédés plutôt que le contrôle ; collaboration avec des universités. Démarche participative de recherche de solutions techniques (groupes de travail, formation, dialogue social).

Entreprise	Nature des innovations	Caractéristiques du processus d'innovation
Produits pharmaceutiques	Produits et procédés Services associés aux produits Développement de méthodes d'analyse des cycles de vie et des impacts des produits.	Dans le top 20 mondial des ratios R&D/chiffre d'affaires. Laboratoire de 1500 chercheurs. Projet pilote "sustainable performance management". Code d'éthique des affaires, incluant la responsabilité environnementale ; membre du World Business Council for Sustainable Development.
Panneaux solaires	Nouvelles techniques pour réduire le prix des produits	Partenariats européens de R&D. Partenariats en vue de transferts de technologie vers les pays du Sud.
Transformation des métaux et nouveaux matériaux	Cellules photovoltaïques en matériaux souples	Innovation de produits pour des niches de marché, à haute valeur ajoutée. Système de suggestion d'innovations via l'intranet. Obtention de certifications éthiques : Ethibel et Dow Jones Sustainability Group Index. Attitude proactive et revendicative vis-à-vis des pouvoirs publics et du soutien à la R&D.
Assemblage d'éoliennes	Design, contrôle électronique, maîtrise des conditions d'installation	Création de joint-ventures pour la conception et la réalisation de nouveaux sites d'implantation d'éoliennes.
Electromécanique	Produit nouveau et unique (hydraulique)	Innovation pilotée par un inventeur – entrepreneur, organisation interne favorisant la créativité.
Tannerie	Procédés, gestion des effluents	Stimulants : qualité des produits, réduction des dommages environnementaux. Partenariats freinés par la protection des secrets de fabrication.
Filature	Nouveaux produits	Faible potentiel d'innovation interne, recherche de partenariats avec des fournisseurs. Partenariats de R&D plus récents avec des centres collectifs de recherche industrielle.
Traitement des déchets	Informatisation, contrôle électronique, traitement des sols	Développement d'une expertise de haut niveau sur toute la filière de gestion des déchets. Maintien d'une "culture de l'ingénieur". Acquisition et adaptation de technologies. Démarches pour obtenir une certification environnementale.
Production d'électricité	Utilisation rationnelle de l'énergie Energies renouvelables	Stimulants : évolution des marchés, défis environnementaux, réduction des coûts. Définition d'une nouvelle stratégie interne d'innovation pour le long terme. Synergie avec une filiale qui est un bureau d'étude et d'ingénierie. Mise en place d'un système interne de management environnemental et d'audit.

2.2.4. Analyse transversale des résultats des études de cas

Une caractérisation des entreprises en fonction de leur approche de l'innovation et de l'impact de celle-ci sur le développement durable révèle trois groupes :

- les grandes entreprises qui développent une stratégie globale de développement durable ;
- les petites entreprises actives dans une niche environnementale innovante ;
- les autres.

Les frontières entre ces trois groupes ne sont pas hermétiques. Certaines entreprises peuvent être à cheval sur deux groupes.

Les grandes entreprises

1. ***L'impact de la taille.*** Diverses enquêtes mentionnées dans cette étude (voir III, §2.3) attirent l'attention sur le rôle déterminant joué par la taille de l'entreprise dans la prise en compte du développement durable. Toutefois, s'en tenir à un strict critère arithmétique (le nombre de personnes employées par la firme) peut fausser l'image que l'entreprise donne d'elle-même. La construction de cette image est une combinaison d'éléments tels que le secteur d'activité, le degré d'internationalisation du marché, la structure de référence pour les décisions stratégiques, etc.

Ainsi, la tannerie emploie plus de cent personnes, dans un contexte où le marché du cuir est soumis à une forte concurrence asiatique et où de nombreuses entreprises locales ont dû fermer leurs portes. Pourtant, l'entreprise se considère comme une entreprise familiale et artisanale. Ses relations avec la clientèle sont fondées sur la reconnaissance de la qualité de la production. Enfin, l'usine elle-même a peu évolué et la structure sociale paraît également figée dans le temps. Même si elle se soucie de la qualité de l'environnement, il est clair que cette entreprise se sent beaucoup moins concernée par le développement durable que l'entreprise de panneaux solaires, pourtant beaucoup plus petite, mais dont les activités se positionnent directement dans le développement durable et qui participe à des projets de développement dans les pays du Sud.

L'appartenance ou non à un groupe international implique d'autres éléments : contraintes de rentabilité plus élevées, moyens d'action plus importants, synergies possibles avec d'autres entreprises du groupe, etc.

Le critère de la taille est donc un critère assez lâche. Il est néanmoins déterminant dans la mise en œuvre d'une stratégie axée sur le développement durable dans laquelle l'innovation technologique joue un rôle important, mais peut-être pas déterminant. Cette stratégie repose sur plusieurs formes d'innovation.

2. ***Le développement durable : une stratégie à long terme.*** Les grandes entreprises sont plus exposées à la critique que les petites. D'une part parce que leurs performances (économiques, financières, etc.) sont des sujets traités par la presse, et d'autre part, parce que leurs nuisances sont quantitativement plus importantes. Enfin, les aspects économiques et environnementaux sont de plus en plus liés (primes d'assurances plus élevées, moins-value boursière en cas de pollution grave, etc.). De ce fait, ces entreprises cherchent à se prémunir de ces risques ou à se forger

une image de marque favorable. Elles en ont généralement les moyens humains et financiers, puisque la stratégie à long terme fait souvent partie de la culture des grandes entreprises. Une image favorable au développement durable peut représenter pour elles un avantage concurrentiel (voir enquête du WBCSD, page 45), mais aussi, dans certains cas, un moyen d'esquiver la critique.

3. ***L'interprétation du développement durable par la firme.*** Bien que communément admise par tous, la définition du développement durable proposée par le rapport Brundtland fait l'objet d'interprétations diverses. Les entreprises adaptent généralement ce concept à leurs activités, pour en faire un concept "ad hoc". Ainsi, l'entreprise pharmaceutique estime qu'anticiper les besoins de la société en matière de médicaments est une forme de réponse au développement durable. Pourtant, le niveau de santé d'une population n'est pas directement lié aux dépenses en médicaments. De même, le producteur d'électricité clame les vertus du nucléaire pour limiter l'effet de serre, tout en cherchant à léguer à l'Etat belge la gestion de ses déchets radioactifs.

Il est clair que cette latitude que se réservent les entreprises dans la concrétisation du concept de développement durable leur permet de définir plus facilement une stratégie à long terme qui sert leurs intérêts.

4. ***Vers une dématérialisation de l'économie.*** Recommandée par plusieurs travaux théoriques (voir pp. 14 et 18), la dématérialisation de l'économie devient une réalité concrète pour les grandes entreprises. Plusieurs entreprises ont décidé de joindre des services à leur produits ou d'augmenter le contenu en service de leurs prestations (l'entreprise pharmaceutique, le producteur d'électricité et l'entreprise de gestion des déchets notamment). Dorénavant, la stratégie n'est plus de vendre plus, mais de vendre mieux. Cette innovation de produit n'a pas nécessairement un contenu technologique élevé. Il s'agit en général d'audits visant à mieux cerner la production de nuisances environnementales dans les procédés actuellement utilisés.

Cette politique permet de réduire la production de biens, génératrice de nuisances, et d'augmenter la production de services, de manière à mieux répondre à la demande du client, mais aussi de s'assurer sa fidélité. Naturellement, ce service a un coût, qui est facturé au client. Mais dans un univers de plus en plus concurrentiel, cette différenciation des produits par les services ajoutés permet soit de creuser de nouvelles niches, soit de moduler les prix pour des produits qui ne sont plus uniformisés. Cet apport supplémentaire requiert un savoir-faire qui ne se standardise pas aisément et qui permet de contourner la concurrence pour de simples produits manufacturés. L'environnement est clairement un argument dans cette stratégie.

5. ***La stratégie de communication.*** La mise en œuvre de stratégies de communication est une innovation de marketing. Non seulement l'entreprise fait connaître au grand public tous ses efforts pour réduire son impact environnemental, mais en plus, elle est à l'écoute attentive de ses clients pour leur proposer des solutions sur mesure.

En interne également, la communication joue de plus en plus un rôle fondamental. Il faut s'assurer de l'adhésion de ses salariés et donc leur expliquer les orientations prises (cas du producteur d'électricité et de l'entreprise de traitement des déchets) ou au contraire, écouter les suggestions des opérateurs (cas des entreprises de produits

pharmaceutiques, de colorants et de transformation des métaux) pour améliorer les performances de l'entreprise.

Une forme sophistiquée de stratégie de communication consiste à participer soi-même à l'élaboration de toutes les formes de mesures contraignantes (normes d'émission, accords de branche, etc.). Bien sûr, cette démarche semble démontrer l'approche proactive des entreprises en matière d'environnement, mais cette participation n'est pas toujours le reflet du dynamisme de l'entreprise. Il peut s'agir au contraire d'une manière de bloquer les avancées environnementales par une politique de lobbying.

6. **La stratégie d'innovation.** Les grandes entreprises sont généralement dotées de structures de R&D ou disposent de moyens financiers suffisants pour accéder aux technologies développées par d'autres. Pour elles, l'innovation technologique est un moyen de se différencier de la concurrence, en proposant de nouveaux produits, en améliorant leurs performances, en diminuant les coûts de production, mais aussi en réduisant les nuisances liées à leur production.

Les petites entreprises innovantes

1. **La taille.** Une fois encore, il faut considérer le critère de la taille avec une extrême prudence : les entreprises de panneaux solaires et d'assemblage d'éoliennes emploient toutes deux le même nombre de personnes, mais la seconde bénéficie des moyens financiers d'une solide entreprise belge. Elle peut donc se permettre de monter des projets financiers assez lourds, tout en ayant la souplesse d'une PME. Inversement, bien que de stature internationale, l'entreprise de traitement des métaux est un lilliputien sur le marché des panneaux solaires. Mais là encore elle jouit d'un encadrement technique et financier de haut niveau.
2. **Le développement durable : une stratégie à moyen terme.** Les trois entreprises citées ci-dessus, ainsi que l'entreprise d'électromécanique, sont actives dans le domaine des énergies renouvelables. Elles s'insèrent dans des créneaux assez étroits (en tout cas en Belgique jusqu'à présent) mais sont convaincues que leur produits s'inscrivent en droite ligne dans une perspective de développement durable.

Ces entreprises trépigent devant la lenteur d'une mise en œuvre par les pouvoirs publics d'une véritable stratégie globale de lutte contre l'effet de serre. Une promotion à grande échelle des énergies alternatives leur assurerait une croissance des marchés réconfortante. Leur petite taille les empêche de mener une politique de lobbying efficace. Elles ne sont pas passives pour autant et développent des stratégies qui doivent assurer leur maintien ou leur croissance sur le marché actuel, en attendant le véritable développement des énergies renouvelables. L'une mène des projets de parcs à éoliennes off-shore, une autre construit une usine de taille suffisante pour assurer des économies d'échelle qui diminuent les prix des panneaux solaires photovoltaïques, une autre travaille pour l'agence spatiale européenne, et la dernière peaufine son projet d'hydraulienne jusqu'à ce qu'il attire enfin l'attention des agences de coopération internationales. La taille de ces entreprises et leur marché sont cependant encore trop restreints pour pouvoir mener de véritables politiques à long terme.

3. **Les stratégies d'innovation.** Bien que conscientes de leur petite taille sur le marché mondial, ces entreprises ne souffrent d'aucun complexe en matière d'innovation technologique. Elles estiment pouvoir développer un savoir-faire suffisant pour pouvoir rester dans la compétition, au moins dans certaines niches bien précises. Elles accordent une grande attention à leurs collaborateurs et créent un climat favorable à un travail de R&D. L'innovation est leur credo.

Les autres entreprises

Les autres entreprises sont celles qui sont soumises à une moindre pression environnementale, ou plus exactement celles dont les nuisances environnementales ne menacent pas à court terme leurs activités. Bien sûr, elles sont soumises à une réglementation plus ou moins contraignante selon les secteurs, mais elles ont les ressources internes pour y faire face. L'environnement ou le développement durable n'est pas une composante stratégique, mais un élément parmi d'autres dont elles doivent tenir compte. Paradoxalement, la filature, qui est très propre, est peu sensible au problème de développement durable, alors que l'entreprise de peinture est consciente que malgré les améliorations qu'elle apporte à ses produits et ses procédés, l'utilisation de ses produits est génératrice de nuisances.

2.3. Analyse de résultats d'enquêtes existantes sur l'innovation

L'analyse comparative porte sur les résultats de trois enquêtes récentes, qui fournissent des enseignements utiles sur les processus d'innovation, sur les nouvelles formes de management, y compris le management des connaissances, et sur la contribution de l'innovation technologique au développement durable.

Il s'agit respectivement de résultats partiels relatifs à la Belgique de la seconde enquête Community Innovation Survey (CIS-2), menée à l'échelle européenne en 1997-1998, de l'enquête menée en 1998 par la Fondation de l'Entreprise sur les nouvelles formes de management et enfin de l'enquête publiée en 2000 par le World Business Council for Sustainable Development.

2.3.1. Les résultats partiels de l'enquête CIS-2 en Belgique

Méthodologie

Le "Community innovation survey" (CIS) est une initiative de la Commission Européenne, qui consiste à recueillir des informations sur le comportement innovateur des entreprises dans les pays de l'Union européenne. La première enquête communautaire sur l'innovation remonte à 1992. La deuxième enquête a été lancée dans les états membres en 1997-1998. Les résultats de cette enquête CIS-2 s'appuient sur les réponses de 39 500 entreprises en Europe. L'enquête porte sur les activités économiques suivantes: ensemble des branches de l'industrie manufacturière, production et distribution d'électricité, de gaz et d'eau et certains secteurs de services (commerce de gros, transports, télécommunications, activités financières, activités informatiques et activités d'ingénierie). Elle concerne les entreprises de plus de 10 salariés.

Les résultats concernant le taux d'innovation dans les entreprises belges sont fort modestes par rapport à la moyenne européenne, mais certains éléments d'ordre

méthodologique peuvent expliquer la faiblesse de ces résultats. En effet, même si tous les pays participants ont convenu d'un cadre méthodologique commun et d'un questionnaire de base visant à fournir des données comparables, harmonisées et représentatives à l'échelle européenne, en se fondant sur le Manuel d'Oslo (36), il y a eu des écarts dans la compréhension des concepts et des définitions. Ainsi, la Belgique a opté pour une conception restrictive de l'innovation, en se limitant aux innovations à caractère technologique. De plus, le questionnaire belge a sondé les entreprises sur les innovations technologiques en évaluant le "degré de nouveauté" par rapport au marché et pas seulement par rapport à la firme, ce qui était par contre le cas pour l'enquête relative aux Pays-Bas. Ce sont là deux éléments (conception de l'innovation, degré de nouveauté) qui ont forcément influencé à la baisse les résultats pour la Belgique.

Nous ne présenterons pas ici l'ensemble des résultats belges relatifs à cette enquête, mais seulement certains aspects de l'enquête qui ont trait au développement durable.

Pour constituer l'échantillon belge, 2164 entreprises industrielles ont été tirées au sort sur un total de 7293 entreprises industrielles de plus de 10 salariés ; 1377 de ces entreprises ont collaboré à l'enquête. Dans le secteur des services, 1400 entreprises ont été tirées sur un total de 6706 entreprises de plus de 10 salariés, et parmi elles, 915 ont rempli le formulaire d'enquête. On trouvera dans le Working Paper n° 3 (page 50) davantage de détails sur la représentativité de l'échantillon belge.

Résultats pour la Belgique, sous l'angle du développement durable

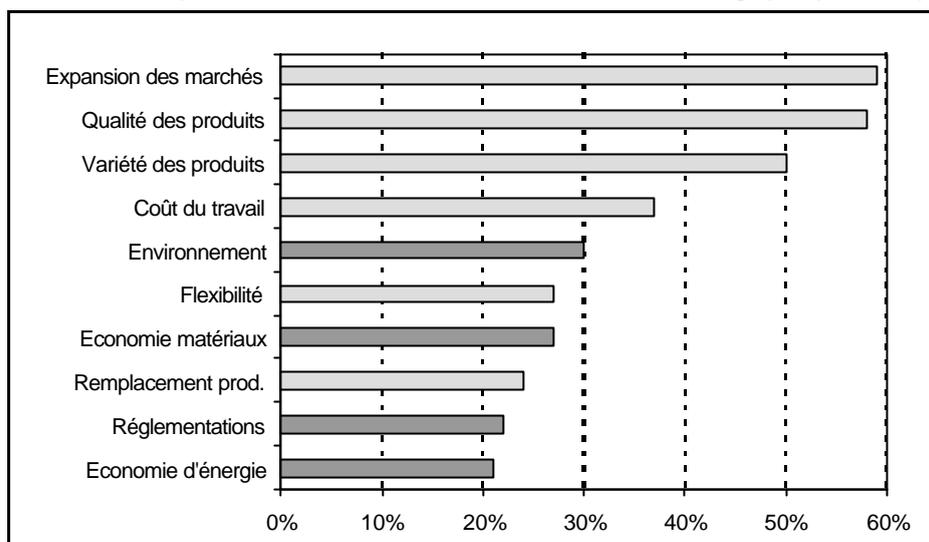
Les entreprises ont été sondées sur les objectifs de l'innovation entre 1994 et 1996. Il s'agit en effet de comprendre les principales raisons du développement et de l'introduction des innovations. Les entreprises étaient amenées à pondérer leur réponse, selon que l'objectif présentait pour elles : aucune importance, peu d'importance, importance moyenne, beaucoup d'importance.

Si l'on tient compte des objectifs présentés comme très importants, on obtient pour les entreprises industrielles les résultats suivants (figure 2, page suivante) : l'ouverture de nouveaux marchés ou l'accroissement des parts de marché constitue la principale raison pour innover (58,2%), devant l'amélioration de la qualité de produit (57,9%) et l'extension de la variété des produits (49,6%).

Dans les entreprises de services (figure 3, page suivante), ce sont l'amélioration de la qualité du produit (72%), l'ouverture de nouveaux marchés ou l'accroissement des parts de marché (56%) et l'extension de la gamme de produits (55%) qui sont prioritairement citées comme motivations très importantes pour l'innovation. La réduction du coût salarial est moins invoquée comme facteur décisif d'innovation par les entreprises de services que par les entreprises industrielles.

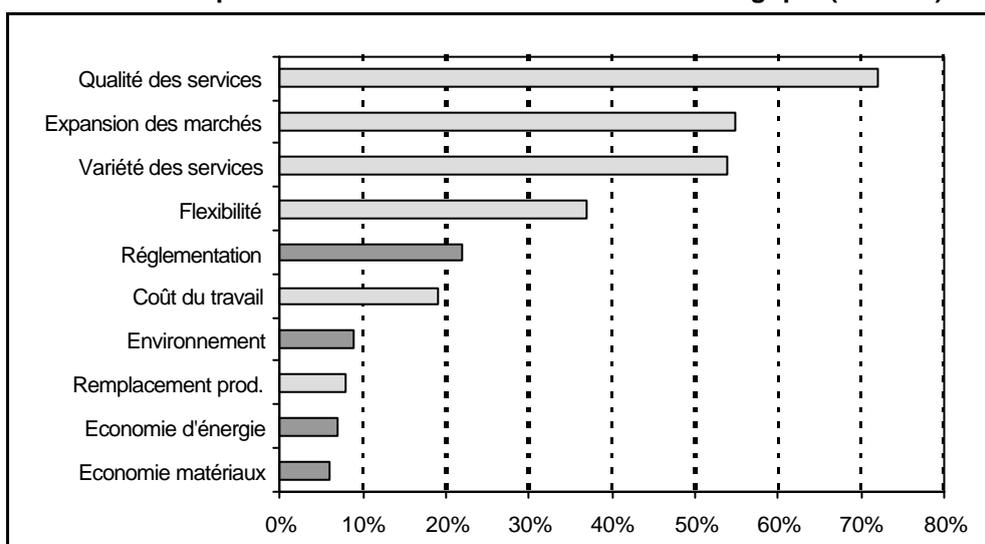
(36) OCDE, *Manuel d'Oslo, principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, OCDE/Eurostat, 1997.

Figure 2
Motivations pour l'innovation dans les industries en Belgique (1994-96)



Source : CIS-2 (SSTC, résultats belges), calculs FTU

Figure 3
Motivations pour l'innovation dans les services en Belgique (1994-96)



Source : CIS-2 (SSTC, résultats belges), calculs FTU

Parmi les raisons d'innover, trois motifs ont trait directement au développement durable. Il s'agit de la réduction des atteintes à l'environnement, la réduction de la consommation d'énergie et la réduction de la consommation des matériaux. Indirectement, l'objectif de conformité avec la réglementation peut également être pris en compte. Ces objectifs ne constituent pas des éléments moteurs dans les stratégies des entreprises répondantes, si l'on en croit les figures 2 et 3. Il est cependant intéressant d'effectuer une analyse plus approfondie et d'évaluer le poids de ces objectifs environnementaux au sein des entreprises, selon les secteurs d'activités économiques concernés et selon la taille des entreprises.

Lorsqu'on analyse les données par secteur d'activité économique (voir Working Paper n° 3, pp. 52-53), on peut faire les observations suivantes :

- Parmi les objectifs environnementaux, la réduction de la consommation des matériaux est l'objectif le plus couramment invoqué par les entreprises industrielles, suivie par la réduction des atteintes à l'environnement et enfin, la réduction de la consommation d'énergie, tandis que pour les entreprises de services, la réduction des atteintes à l'environnement obtient la palme, suivie de la réduction de la consommation d'énergie et enfin de la réduction de la consommation de matériaux.
- Les objectifs environnementaux sont dans l'ensemble nettement moins invoqués comme facteurs d'innovation par les entreprises de services que par les entreprises industrielles.
- Les objectifs environnementaux sont cités comme facteur très important d'innovation principalement dans les entreprises alimentaires, l'industrie chimique, l'industrie du caoutchouc et du plastique, le commerce de gros et de détail et l'industrie du travail des métaux.

Le tableau 9 établit des corrélations entre la taille des entreprises et les objectifs environnementaux considérés comme facteurs d'innovation très importants.

Tableau 9
Objectifs environnementaux selon la taille de l'entreprise

Taille de l'entreprise	Réduction atteintes environnement	Réduction consommation énergétique	Réduction consommation des matériaux	Total des mentions "objectifs environnementaux comme facteurs très importants d'innovation"	Total pondéré selon nombre d'entreprises de chaque classe
< 20	10	9	7	26	0.070
20 – 49	21	16	26	63	0.097
50 – 99	12	10	19	41	0.101
100 – 199	28	19	27	74	0.166
200 – 499	19	12	27	58	0.214
500 – 999	9	8	13	40	0.470
> 1000	15	13	16	44	0.602

Source : CIS-2 (résultats belges, SSTC)

L'effet de taille est tout à fait remarquable : les facteurs environnementaux sont d'autant plus décisifs dans la stratégie d'innovation que l'entreprise est de grande taille.

On peut en déduire qu'une politique de stimulation de l'innovation favorable au développement durable devra prioritairement viser les PME, car ce sont elles qui ont le moins incorporé les exigences du développement durable dans leur stratégie d'innovation au cours des années 1994 à 1996.

2.3.2. L'enquête de la Fondation de l'Entreprise sur les nouvelles formes de management

Méthodologie

En 1995, la Fondation de l'Entreprise décide d'étudier le phénomène de la société de la connaissance, c'est-à-dire une société où la connaissance a supplanté le capital comme principal facteur de production. Dans ce cadre, la FDE a notamment mené une enquête sur les nouvelles formes de management (37). L'échantillon comprend 320 entreprises. Il comporte une certaine sur-représentation du secteur de l'industrie chimique par rapport à son poids effectif dans l'économie, une forte sous-représentation du secteur du commerce et des réparations et une sous-représentation des services rendus aux entreprises. Il permet cependant de rassembler des données sur la plupart des secteurs de l'économie marchande. Il comporte également des entreprises de toutes les tailles.

Analyse des résultats

Nous ne présentons ici que certains résultats qui apportent un éclairage intéressant du point de vue de l'innovation technologique comme facteur de développement soutenable : la R&D, la récolte d'informations externes à l'entreprise et l'entretien des compétences par la formation.

1. **L'organisation de la R&D.** Si 65% des entreprises déclarent faire de la R&D, on constate un écart important entre les entreprises de plus de 1000 personnes, qui pratiquent de la R&D à plus de 90%, et celles de moins de 50 personnes, où 40% seulement déclarent en pratiquer. La taille de l'entreprise est manifestement un élément discriminant. On constate que, en moyenne, 70% des entreprises qui font de la R&D disposent d'un département R&D. Cependant, l'effet de taille est à nouveau important, puisque moins de 50% des entreprises de moins de 50 personnes disposent d'un tel département, alors que 90% des entreprises de plus de 1000 personnes en ont un.

En ce qui concerne les partenariats avec d'autres entreprises, avec des centres de recherche universitaires ou autres, ou l'insertion dans des programmes internationaux, l'effet de taille est une fois de plus tout à fait significatif. C'est le partenariat avec des centres de recherche universitaires qui est le plus répandu : près de 50% des entreprises y ont recours (ce chiffre tombe à 10% pour les entreprises de moins de 50 personnes). Le partenariat avec d'autres entreprises en matière de recherche-développement est également rentré dans les mœurs des entreprises ; par contre l'insertion dans des programmes internationaux reste beaucoup plus modeste.

Pour ce qui a trait aux mécanismes de transfert d'idées convergeant vers la R&D, ils sont formalisés dans plus de 70% des entreprises des entreprises qui font de la R&D. L'évaluation critique des mécanismes internes de transfert ne se pratique que dans 50% des entreprises sondées. S'agissant de la diffusion externe des développements technologiques, la participation à des bourses technologiques est extrêmement modeste, et selon les enquêteurs, ce faible score serait dû au caractère stratégique des développements technologiques.

(37) Janssen D., *Vers la société de la connaissance : résultats de l'enquête sur les nouvelles formes de management*, rapport FDE n°98/6, Bruxelles, octobre 1998.

2. **L'accès à l'information.** Si l'on s'interroge sur les usages des entreprises en matière de veille stratégique, les résultats qui suivent sont intéressants car ils renseignent sur les canaux d'information utilisés, sur les modalités internes de dissémination de l'information recueillie à l'extérieur et sur les pratiques de veille stratégique.

Sur l'ensemble des entreprises de l'échantillon, environ 20% du personnel dispose d'un accès informatique à l'information extérieure. Néanmoins, la petite taille de l'entreprise constitue dans ce cas-ci un avantage puisque 25% du personnel bénéficie en moyenne d'un accès informatique. La diffusion interne et formalisée de l'information externe est toutefois beaucoup plus prononcée dans les très grandes entreprises.

La pratique de la veille stratégique est dans l'ensemble assez fréquente et en particulier fort répandue auprès des très grosses entreprises. La transmission des informations de type veille stratégique au responsable R&D s'opère dans 90% des cas, mais ces informations ne se traduisent en actions de formation que dans une plus faible mesure.

3. **Le développement des compétences.** Se penchant sur l'entretien permanent des compétences, enjeu essentiel des organisations apprenantes, l'enquête porte tout d'abord sur le temps consacré à la formation continue. Si les différences sont dans l'ensemble assez légères entre petites et grandes entreprises au niveau des dirigeants, elles sont plus prononcées au niveau des cadres et employés. L'écart se creuse encore entre petites et grandes entreprises en ce qui concerne l'existence d'un responsable de la formation.

Quant aux sujets choisis pour les formations continues, on peut observer deux phénomènes. Le spectre des formations s'élargit au fur et à mesure que la taille de l'entreprise s'accroît. Les formations ayant trait aux techniques de management sont dans l'ensemble fort prisées, même si elles sont plus répandues dans les grandes entreprises. Le suivi des formations reste plutôt limité puisqu'il n'est effectif que dans 65% des entreprises sondées. On constate un net effet de taille sur l'organisation de ce suivi, les grandes entreprises le pratiquant bien davantage que les petites.

En ce qui concerne le recours à des groupes de projets interdépartementaux et l'existence d'équipes interdisciplinaires, à nouveau la taille de l'entreprise est un élément tout à fait discriminant. Très répandues dans les très grandes entreprises, ces formules concernent moins d'un tiers des petites entreprises.

2.3.3. L'enquête réalisée par le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

Méthodologie

Le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) est une association regroupant 130 entreprises multinationales autour d'un engagement en faveur de l'environnement et de principes de croissance économique associée au développement durable. Les membres sont issus de 30 pays et de plus de 20 secteurs différents. En 1998, le WBCSD a mis en place une task force chargée d'étudier la contribution de

L'innovation technologique au développement durable et la façon dont il est possible d'intensifier cette contribution. Parmi les initiatives prises par cette task force, on retiendra particulièrement l'enquête (38) menée de juin à novembre 1999 auprès de 150 entreprises, répertoriées en vertu de leurs engagements publics en faveur du développement durable et de la protection de l'environnement ; 80 entreprises (dont 55 sont membres du WBCSD) ont pris part à l'enquête. Elles sont réparties sur les cinq continents et couvrent toutes les grandes branches d'activité.

L'objectif était d'interviewer des cadres supérieurs en charge soit de divers aspects de l'innovation, soit du développement de produits, soit encore de la gestion de la technologie. Environ un tiers des répondants sont des responsables de la R&D ou du développement technologique, un cinquième des répondants occupent des fonctions de cadres dans des unités opérationnelles, le reste travaillant dans des services fonctionnels.

Analyse des résultats

Les résultats de cette enquête illustrent à quel point le développement durable fait déjà partie de la rhétorique qui accompagne les stratégies d'entreprise. Ils mettent aussi en évidence le rôle d'aiguillon que remplit le développement durable en ce qui concerne la compréhension des opportunités technologiques et ils soulignent l'importance des technologies de l'information et de la communication en ce qui concerne la contribution de l'innovation technologique au développement durable.

Les réponses à la question "Si le développement durable est un facteur clé dans votre entreprise, pour quelles raisons ?" et à la question "Quels sont les facteurs qui vont gagner en importance au cours des cinq prochaines années ?" mettent clairement en évidence le poids important et grandissant de la réputation, de l'image de marque de l'entreprise quant à une orientation stratégique de l'entreprise en faveur du développement durable. Si à l'heure actuelle, les valeurs et les principes de l'entreprise contribuent de façon significative à opter pour une stratégie soutenable, la recherche d'un avantage compétitif lié au développement de nouveaux produits et services incitera davantage dans les cinq prochaines années à intégrer le développement durable dans la stratégie de l'entreprise.

Parmi ces entreprises qui disposent à 85% d'un processus formalisé de conception et de développement de produits et de services, on notera que 55% affirment que la prise en compte du développement durable (dans ses aspects sociaux et environnementaux) dans le processus d'innovation incombe de façon expresse à des membres de leur personnel. Par contre, 20% des répondants seulement estiment que la prise en compte du développement durable est du ressort de leur responsable du développement technologique.

Dans leurs réponses à la question "Quelle a été l'influence du développement durable ?", les répondants insistent surtout sur l'intérêt élevé qu'il présente pour la compréhension d'opportunités et d'options technologiques. Ils soulignent également son intérêt pour la compréhension des besoins du consommateur (effectif ou potentiel), mais

(38) World Business Council for Sustainable Development, *Building a better future: innovation, technology and sustainable development, a progress report*, Geneva, June 2000.

ils sont moins prêts à reconnaître l'influence positive du développement durable sur leur aptitude à gérer les compétences requises pour l'innovation.

Quant aux technologies qui leur paraissent pouvoir contribuer au développement durable au cours des dix prochaines années, les répondants mettent en avant les technologies de l'information et de la communication, ainsi que les technologies énergétiques et les sources d'énergie renouvelables. Le développement des biosciences remporte par contre un faible score, il est présenté comme un frein au développement durable par 29% des répondants. Les technologies de mesure et de détection ne sont guère perçues comme une contribution au développement soutenable.

A la question "En quoi la prise en considération du développement durable a-t-elle aidé votre firme ?", les entreprises mentionnent essentiellement le lancement de nouveaux produits et services. Le développement durable est également à l'origine de l'établissement de nouveaux processus ou, à tout le moins d'améliorations significatives des processus ou des opérations existantes.

Enfin, les entreprises reconnaissent qu'il est plus aisé de démontrer qu'un produit, service ou procédé est respectueux de l'environnement ou de l'éthique sociale, que de prouver son rendement ou sa rentabilité aux yeux des actionnaires.

2.3.4. Les principaux enseignements à tirer de ces enquêtes.

Il ressort du volet belge de l'enquête CIS-2 que la réduction des atteintes à l'environnement, la réduction de la consommation d'énergie et la réduction de la consommation des matériaux ne constituent pas des incitants majeurs à l'innovation. Les objectifs environnementaux motiveraient davantage les entreprises industrielles que les entreprises de services. La taille des entreprises aura un effet significatif sur la prise en compte des facteurs environnementaux dans la stratégie d'innovation.

On retiendra de l'enquête FDE que, en ce qui concerne les modes d'accès à la technologie, la pratique de la R&D est fort répandue dans l'ensemble des entreprises. En ce qui concerne la diffusion de la technologie, les chiffres de l'enquête FDE mettent en évidence la très faible participation de l'ensemble des entreprises à des bourses technologiques.

Enfin, élément capital à retenir de cette enquête, c'est l'effet discriminant de la taille de l'entreprise sur de nombreux aspects: la pratique de la R&D, l'organisation d'un département de R&D, l'existence d'une procédure formelle de suivi des suggestions adressées au responsable R&D, l'établissement de partenariats, l'accès informatique à l'information externe, la diffusion interne des informations recueillies à l'extérieur, la désignation d'un responsable formation, le suivi formel des formations, le lancement de projets interdépartementaux, le recours à des équipes pluridisciplinaires. Cet effet joue en défaveur des petites entreprises, sauf en ce qui concerne l'accès informatique à l'information externe.

Cette plus faible formalisation des apprentissages et la mise en place moins fréquente de projets interdépartementaux et d'équipes pluridisciplinaires au sein des PME ont des conséquences sur la gestion des compétences. Dans une perspective de long terme, les pouvoirs publics doivent en tenir compte en menant des politiques ciblées à destination

des PME afin d'éviter "une dualisation sur la route de l'organisation apprenante entre les grandes et les petites entreprises, au détriment de ces dernières" (39).

Du point de vue des mesures d'accompagnement de l'innovation, à déployer dans le cadre de politiques publiques d'innovation, les résultats de l'enquête WBCSD mettent en lumière :

- le besoin d'une intervention publique compte tenu de la difficulté pour les managers de convaincre l'actionnariat de leur entreprise de la rentabilité d'une stratégie en faveur du développement durable ;
- l'intérêt d'exercices de prospective technologique menés à grande échelle pour identifier de façon plus précise des technologies prometteuses à la fois du point de vue de leur soutenabilité, de leur acceptabilité auprès du public et des consommateurs, et de leurs perspectives économiques (taille du marché, taux de croissance, champ et intensité de la concurrence) ;
- le défi que représente pour les entreprises le management des compétences requises pour innover de façon durable.

(39) Janssen D., *ibid.*, p.55

3. La stimulation de l'innovation technologique favorable au développement durable

3.1. Les principaux instruments de stimulation de l'innovation technologique

3.1.1. Les dimensions du changement technologique

Le changement technologique comprend d'une part, les investissements destinés au développement de nouveaux procédés et de nouveaux produits, et d'autre part, la diffusion de ces nouveaux produits et procédés auprès de leurs utilisateurs. Soete et Arundel(40) suggèrent de caractériser le changement technologique à l'aide de cinq éléments :

- Les infrastructures de communication et les canaux de circulation de l'information et la connaissance sont indispensables pour favoriser les liaisons en boucle au sein d'une entreprise, d'un secteur ou entre secteurs.
- Des processus cumulatifs et d'auto-renforcement se mettent en place lorsque se produit un changement technologique. Dans l'analyse du processus d'innovation, il y a aujourd'hui une meilleure prise en considération du temps. On observe des phénomènes de sélection (ex. : trajectoires technologiques), mais aussi de création d'irréversibilité (ex. : effets de verrouillage).
- La connaissance et l'apprentissage jouent un rôle central. L'accent est aujourd'hui mis par de nombreux auteurs, dont Foray(41), sur le rôle des savoirs codifiables mais aussi celui des savoirs tacites accumulés par l'expérience, aussi bien l'expérience directe (*learning by doing*) que l'expérience des autres (*learning by interacting*).
- Chaque innovation présente un caractère singulier. Peu d'instruments de promotion de l'innovation peuvent convenir en toutes circonstances. Il est raisonnable de mener de front des politiques génériques, convenant pour un large éventail de technologies, et des politiques plus ciblées sur certains domaines technologiques et pouvant faire l'objet d'adaptations rapides, en fonction des circonstances.
- Le changement technologique a un caractère systémique. Il se produit des interactions entre les connaissances publiques et les technologies privées ainsi que des transferts de connaissances entre opérateurs de la science et de la technologie appartenant à des activités ou des organisations différentes (42).

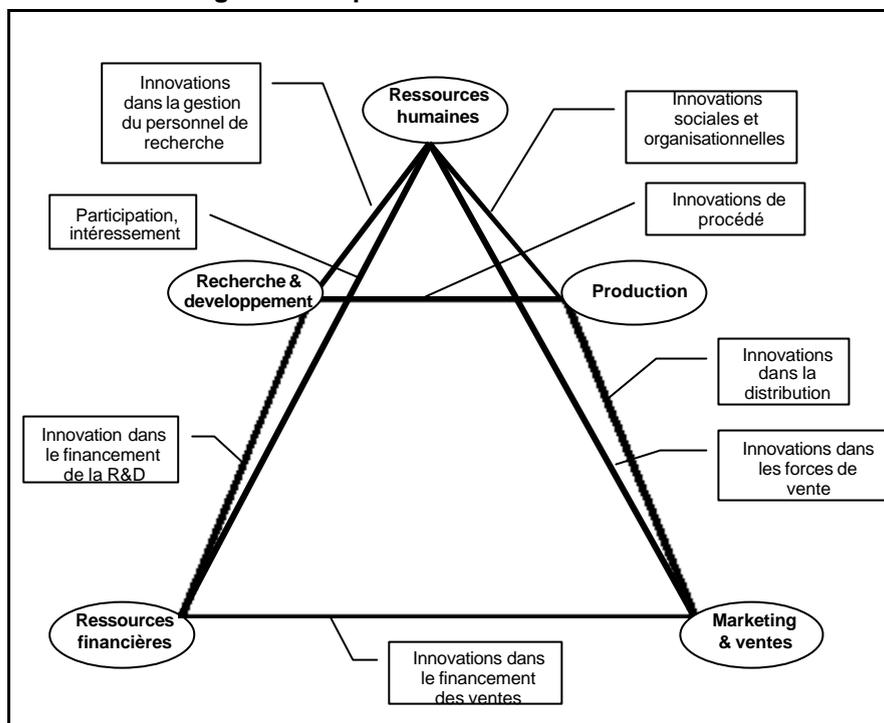
(40) Soete L., Arundel A. (Eds.), *An integrated approach to European innovation and technology diffusion policy – A Maastricht Memorandum*, European Commission, Luxembourg, 1993.

(41) Foray D., *L'économie de la connaissance*, Ed. La Découverte, Paris, 2000.

(42) Amable B., Barré R., Boyer R., *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Economica, Paris, 1997.

Par ailleurs, dans une entreprise, l'innovation peut se développer selon plusieurs axes, qui concernent toutes les dimensions de l'activité de l'entreprise (figure 4).

Figure 4 : le prisme de l'innovation totale



Source : FTU, d'après Giget (43)

3.1.2. Les défis du développement durable pour les politiques d'innovation

Le concept de développement durable est un concept-cadre, qui cristallise trois questions : la question écologique, la question de la solidarité (entre les générations actuelles et futures et entre le Nord et le Sud) et la question des modes de production, de consommation et de régulation. Par rapport à ces trois questions, l'innovation technologique n'est pas neutre, puisqu'elle peut aggraver les problèmes ou au contraire contribuer à les résoudre. Le commun dénominateur de ces problèmes est l'incertitude qui les entoure.

Les défis que pose le développement durable aux mécanismes collectifs d'encadrement de l'innovation sont multiples. Nous avons caractérisé six principaux défis :

1. Pour pallier la *défaillance des marchés* en ce qui concerne les technologies favorables au développement durable, il faut recourir à divers mécanismes permettant de combler l'écart entre leur rendement privé et leur rendement social auprès des générations actuelles et futures. Des mécanismes de soutien à la demande de technologies, ainsi que de subvention de la recherche fondamentale et de la recherche technologique de base, peuvent être utilement déployés.

(43) Giget M., « L'innovation dans l'entreprise », *Techniques de l'ingénieur, traité Généralités*, A 4 010, vol. AG 2, 05/1994, 1994

2. Soutenir la *diffusion de technologies propres et sobres* signifie aussi favoriser la diffusion des informations et connaissances les concernant. Ce soutien peut revêtir différentes formes : lancement de programmes de démonstration ou de certification, appui au transfert de technologies, guidance technologique.
3. Afin de *promouvoir la diversité technologique*, le soutien public à la recherche fondamentale peut être justifié comme un investissement, permettant la reconfiguration et le renouvellement de réseaux technico-économiques (44). Le maintien de la diversité permet d'éviter les verrouillages autour de technologies présentant des risques pour les écosystèmes ou pour les générations futures.
4. Afin de *renforcer les capacités d'innovation dans le long terme*, il est nécessaire de comprendre comment les compétences se codifient au sein des entreprises, comment elles se renouvellent et comment elles peuvent être gérées pour faire face au long terme. Dans une optique de long terme, il convient aussi de procéder à des exercices de prospective stratégique, en s'interrogeant sur les enjeux économiques du développement de telle ou telle technologie, sur l'acceptabilité sociale et culturelle de celle-ci, sur son potentiel de diffusion locale. De plus, une attention particulière doit être apportée aux PME pour leur permettre de s'orienter vers le long terme.
5. Si on veut mettre l'accent sur l'appropriation des technologies par les utilisateurs et par la société, il faut prévoir des modalités de *mise en cohérence des acteurs*, par des expérimentations sur site (45).
6. L'encouragement de la *participation citoyenne* peut être mené sur divers plans : lors de la construction de scénarios prospectifs, pour la détection avancée de risques, pour l'évaluation socio-économique des choix technologiques, et enfin pour la conception et l'expérimentation de produits ou procédés à composante technologique.

Ces six défis à relever seront repris dans les conclusions de cette section (III.3.5.3, pp. 65-66) et dans les recommandations finales (IV.2.1, pp. 70-72).

3.1.3. Les instruments de stimulation de l'innovation

En 1999, un projet intitulé "Tableau de bord de l'innovation" a été lancé dans le cadre du programme Innovation de la Commission européenne (46). Il fournit aux décideurs politiques et aux responsables de programmes des informations synthétiques sur les politiques, les performances et les tendances des politiques d'innovation au sein de l'Union européenne.

(44) Caracostas P. et Muldur U., *La science, ultime frontière. Une vision européenne des politiques de recherche et d'innovation pour le XXI^e siècle*, EUR 17655, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, 1997.

(45) Rip A., "Introduction of new technology : making use of recent insights from sociology and economics of technology", *Technology Analysis and Management*, vol. 7, n°4, 1995.

(46) Sur ce point, on peut consulter le site web du Tableau de bord (www.trendchart.org) qui contient toutes les informations relatives aux politiques d'innovation menées dans les Etats membres. Ces informations font l'objet d'une mise à jour permanente. On lira aussi utilement le document suivant : Commission européenne, *Tableau de bord de l'innovation. Politique de l'innovation 2000*, Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes, 2000.

Ce “Tableau de bord européen de l’innovation” est devenu le point de repère de l’analyse comparative et de l’échange de bonnes pratiques. Il répartit les instruments de stimulation de l’innovation technologique en trois grandes catégories :

1. **La promotion d’une culture de l’innovation.** L’innovation ne se commande pas, elle émerge dans un terrain favorable, elle se prépare au niveau des personnes et au niveau des entreprises. La promotion d’une culture de l’innovation comprend des mesures stimulant la créativité, l’initiative, la prise de risques calculés, l’acceptation d’une certaine mobilité sociale, géographique et professionnelle. La promotion de la culture d’innovation a trait aussi au développement des compétences, dont celles en rapport avec la collecte et le traitement d’informations. Elle vise également la capacité à anticiper les besoins et la sensibilisation de l’opinion publique.
2. **Le cadre incitatif.** La mise en place d’un cadre propice à l’innovation est destinée à encourager le développement des innovations, en stimulant à la fois la concurrence et la coopération, en protégeant plus efficacement la propriété intellectuelle et industrielle. Ce cadre incitatif requiert aussi un allègement des contraintes financières imposées à l’innovation.
3. **Le renforcement du lien entre recherche, innovation et marché.** Pour améliorer la transformation des fruits de la recherche en produits et services, différentes mesures peuvent être adoptées : exercices de planification stratégique en vue de développer des visions à long terme, création et essaimage d’entreprises innovantes, stimulation de la coopération entre secteur public, secteur privé et enseignement.

Très schématiquement, on peut dire qu’au cours de la dernière décennie, la tendance dans les politiques publiques d’innovation a été de pratiquer un soutien indirect, davantage axé sur la culture d’innovation et sur l’établissement de réseaux volontaires de partenariat. C’est ainsi que deux types de politiques basées sur la structuration en grappes et en réseaux sont apparus : les réseaux de compétence nationaux et les vallées technologiques régionales. Dans la mise en grappes, le secteur public intervient comme un courtier offrant des informations stratégiques et réunissant les parties prenantes autour de diverses plates-formes, l’appui public étant ainsi apporté non à une seule entreprise mais à un consortium. Une autre tendance consiste à ne pas miser sur la seule exploitation des ressources internes aux entreprises, mais de permettre l’accès à des ressources technologiques externes (par ex. : exercices régionaux ou nationaux de prospective technologique, incitation à la veille technologique). Enfin, des liens s’établissent aussi entre la politique d’innovation et les problèmes sociétaux (sécurité, santé, éthique, exclusion).

La question est maintenant de savoir dans quelle mesure les instruments de stimulation de l’innovation peuvent être mis au service du développement durable. Pour fournir des éléments empiriques en réponse à cette question, nous avons analysé une série de mesures ou d’initiatives de stimulation de l’innovation, prises en Belgique et dans d’autres pays, sous l’angle de leur aptitude à faire progresser la préoccupation du développement durable.

3.2. Un aperçu de vingt programmes de stimulation de l'innovation technologique contribuant au développement durable

3.2.1. Méthodologie

Plutôt que de décrire et de comparer une série de programmes de stimulation de l'innovation, nous avons préféré exploiter le cadre d'analyse du "Tableau de bord européen de l'innovation" en illustrant, à l'aide d'un programme particulièrement représentatif, chacun des objectifs de promotion d'une culture de l'innovation, de renforcement du cadre incitatif et de liaison entre recherche, innovation et marché. Le tableau 10 présente vingt lignes d'action qui relèvent de ces trois catégories d'objectifs.

Tableau 10
Objectifs des 20 fiches de présentation de programmes

<i>Développement d'une culture d'innovation</i>
1. éducation, formation, sensibilisation du grand-public 2. négociation, médiation 3. prévision technologique 4. prospective régionale 5. technology assessment 6. information à destination des professionnels 7. mise en grappes (clustering) 8. appui aux collectivités 9. coopération internationale
<i>Renforcement du cadre incitatif</i>
10. financement 11. taxation 12. commandes publiques 13. contrat de gestion avec opérateurs technologiques
<i>Liaison entre recherche, innovation et marché</i>
14. soutien à la recherche 15. soutien à la conception 16. soutien au développement technologique 17. soutien à la démonstration/ commercialisation 18. soutien au recyclage 19. guidance technico-financière 20. financement du capital-risque

Nous avons sélectionné vingt programmes capables d'illustrer ces vingt objectifs, en privilégiant :

- des initiatives *structurées*, pour lesquelles des moyens humains et financiers ont été mobilisés sur plusieurs années ;
- des actions génératrices d'innovations *favorables au développement durable*, quoique ce critère puisse être explicite ou implicite ;
- des initiatives émanant de *différents niveaux de pouvoir*, allant du niveau supranational au niveau local ;
- des initiatives prises par les pouvoirs publics, par le privé (dans un cadre sectoriel) et par le monde associatif.

3.2.2. Présentation des résultats de l'inventaire

Le Working Paper n° 4 (pages 28 à 79) propose vingt fiches de présentation des programmes sélectionnés pour illustrer les objectifs du tableau 10, construites sur un canevas identique, de manière à structurer l'information disponible. Dans ce rapport de synthèse, nous avons dû opter pour une présentation beaucoup plus compacte, qui n'a forcément pas le même caractère systématique. Pour toute information complémentaire, notamment les aspects pratiques (détails institutionnels, adresses des sites Internet), on se référera aux fiches du Working Paper n° 4.

Tableau 11
Présentation compacte de 20 programmes de stimulation

Objectif	Programme illustratif	Caractéristiques principales
<i>Développement d'une culture de l'innovation</i>		
Education, formation, sensibilisation	National action plan "Environmental education for a sustainable future", 2000	Le plan d'action est constitué de 7 lignes directrices : <ul style="list-style-type: none"> – le développement d'un réseau national d'activités pour l'éducation à l'environnement ; – l'amélioration du profil de l'éducation à l'environnement en Australie ; – l'amélioration de la coordination des activités d'éducation à l'environnement ; – l'amélioration de la qualité des outils pédagogiques de l'éducation à l'environnement ; – l'augmentation des opportunités de formation à l'éducation à l'environnement pour les enseignants ; – l'augmentation de l'intégration des activités d'éducation à l'environnement tout au long de la formation scolaire, y compris dans les formations supérieures et professionnelles ; – l'augmentation des moyens affectés à l'éducation à l'environnement.
Négociation, médiation	Projet européen de recherche intitulé "Strategies towards the Sustainable Household" (SusHouse), dans 5 pays (Allemagne, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Royaume-Uni), 1998-2000.	<ul style="list-style-type: none"> – L'objectif environnemental ne peut être atteint que par la participation de tous les groupes sociétaux : gouvernement, entreprises, institutions de recherche, grand public, etc. La démarche favorise l'échange de savoirs, d'opinions, de valeurs entre les différents "représentants". – Au cours de différentes rencontres, des scénarios sont élaborés. Un scénario doit être une construction de plusieurs acteurs qui paraît crédible aux différents représentants en incorporant non seulement leurs idées, mais aussi leurs opinions et leurs valeurs. – Lorsque la vision du futur est définie, la technique du back-casting permet d'identifier les changements radicaux nécessaires dans les mentalités et la technologie pour atteindre cette vision.
Prévision technologique	Workshop OCDE "Technology foresight for sustainable development", 1998.	<ul style="list-style-type: none"> – Le séminaire a permis de constater une convergence dans l'identification des technologies clés pour le développement durable et de leurs domaines d'application. – En dépit de ce consensus, beaucoup d'incertitudes entourent les prévisions sur la commercialisation de ces technologies. Le goulot d'étranglement ne se situe pas au niveau de l'offre mais de la demande. – Un mérite des exercices de prospective est d'instaurer un dialogue entre chercheurs et industriels afin d'envisager les opportunités et les défis autour d'innovations commercialisables.

Objectif	Programme illustratif	Caractéristiques principales
Prospective régionale	Plan régional de développement durable	– Les pré-requis nécessaires au développement durable peuvent uniquement être mis en place au niveau

	du Baden-Württemberg (Académie de Technology Assessment, Stuttgart), 1994-1998	<p>régional, même si le développement durable a une dimension mondiale.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Le projet est coordonné et suivi par un conseil qui se compose de représentants du monde académique, politique, industriel et associatif. Le conseil a pour tâche d'évaluer et d'encadrer le travail, d'exprimer des suggestions sur les investigations à venir, de recommander des experts pour les groupes de travail et d'apporter des commentaires sur la collecte et l'interprétation des données. – L'effort majeur de l'Académie de Stuttgart pour promouvoir la soutenabilité au niveau régional a consisté à mettre en œuvre des processus de médiation entre les différents acteurs.
Technology assessment	Long Range Research Initiative (LRI), Conseil européen de l'industrie chimique (CEFIC) et ses équivalents aux USA et au Japon (1999-2004)	<ul style="list-style-type: none"> – Programme destiné à accroître la confiance du public dans l'industrie chimique, sur la base d'études thématiques indépendantes, divulguées auprès d'un large public. – En Europe, le CEFIC a choisi quatre axes prioritaires : effets des substances chimiques sur l'environnement ; exposition aux risques ; méthodes d'évaluation des risques ; troubles endocriniens.
Information pour les professionnels	Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken, VITO (Mol), Région flamande (depuis 1995)	<ul style="list-style-type: none"> – Centre indépendant de ressources et d'expertise, pour les pouvoirs publics et les entreprises. – Système d'information en ligne EMIS. – Relais entre la Flandre, le Commission européenne et les instances internationales (IPCC). – Evaluation régulière par les administrations et parastataux flamands dans le domaine de l'environnement et de la technologie.
Mise en grappes	Environmental Cluster Research Programme, Ministère finlandais de l'environnement, 1997-2000	<ul style="list-style-type: none"> – Les domaines couverts par les projets de recherche du cluster environnemental sont : les flux de matières et l'analyse du cycle de vie ; l'éco-efficacité des procédés et des produits ; l'infrastructure favorable à l'environnement ; la gestion des informations et des connaissances liées à l'environnement ; la promotion du secteur vert, des exportations et du marketing écologique. – Le but du programme est aussi de renforcer le système national d'innovation et de développer le secteur vert. – Le programme de mise en grappe a été poursuivi en 2000. Cela a permis de mener des études pilotes pour l'élaboration d'un deuxième programme de mise en grappe environnemental. Dans ce dernier, l'accent sera mis sur la société de l'information et son impact sur le développement durable, le principal impact concernant les déchets électroniques qu'il convient de recycler et de réutiliser. On y investiguera également la question des infrastructures et de leur impact sur le développement durable et le problème des effets sur l'environnement de substances assimilables aux hormones. L'accent sera également placé sur la dématérialisation de l'industrie et des modes de consommation.

Objectif	Programme illustratif	Caractéristiques principales
Appui aux collectivités locales	Programme d'intervention des délégations régionales de l'Agence pour l'Environnement et la Maitrise de l'Energie (ADEME), France, depuis 1990.	<ul style="list-style-type: none"> – Le programme d'appui aux collectivités locales pour la gestion des déchets municipaux comprend quatre volets : prévention de la production de déchets ; déchets et territoire ; filières de valorisation des matières ; sites et sols pollués. – Le programme fournit aussi des aides aux industries pour modifier la conception des produits en fonction

		d'objectifs de recyclage ou de diminution de la toxicité. Il finance des études dans ce domaine.
Coopération internationale	Programme de recherche et de liaison inter-universitaire sur le développement (PRELUDE), depuis 1985	<ul style="list-style-type: none"> – Réseau international de chercheurs volontaires, issu d'une demande émanant de l'Association mondiale des universités francophones (AUPELF). – Le réseau développe trois axes de travail : la détection des savoirs et savoir-faire locaux ; la confrontation d'expériences ; la valorisation d'expériences de co-développement et de partenariat.
<i>Renforcement du cadre incitatif</i>		
Financement	Programme SOLTHERM (promotion des chauffe-eau solaires) en Région wallonne, 2000-2010	<ul style="list-style-type: none"> – Objectif principal : lancer et soutenir une filière industrielle et commerciale de chauffe-eau solaires en Wallonie. – Instrument : subventions à l'installation. – Partenaires : les industriels et fournisseurs concernés, les guichets de l'énergie de la Région, divers acteurs pour la coordination, la sensibilisation et la réalisation d'enquêtes.
Taxation	Primes à l'investissement et aides fiscales aux PME, Région wallonne, depuis 1992.	– Primes et aides fiscales complémentaires pour des projets d'investissement qui comprennent une dimension d'innovation et de technologie propre. Le niveau de la prime est lié aux autres critères de subventionnement de la Région.
Commandes publiques	Comité pour des marchés publics écologiques et durables, Suède 1998-2001	<p>Les objectifs du Comité sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> – promouvoir une politique de marchés publics durables auprès des autorités publiques ; – concentrer les efforts sur les marchés des biens et services d'une importance stratégique, c'est-à-dire là où les plus grands bénéfices peuvent être obtenus en termes de développement durable ; – analyser et contrôler la législation nationale et les accords internationaux traitant des marchés publics ; – initier et faire circuler des instructions et une méthodologie, disséminer les informations relatives à des expériences ou des bons exemples ; – s'informer des développements de politiques de marchés publics durables dans les autres pays.
Contrat de gestion avec un opérateur technologique	Contrat de gestion entre le WIN (Wallonie Intranet) et la Région wallonne	– Le projet WIN comprend deux axes : la réalisation d'une infrastructure d'épine dorsale à grand débit pour un intranet régional et le déploiement de services destinés aux administrations, aux écoles et aux particuliers.
<i>Liaison entre recherche, innovation et marché</i>		
Soutien à la conception	Programme de l'ADEME pour l'éco-conception de produits (France, 1999)	<ul style="list-style-type: none"> – Réalisation d'une campagne de sensibilisation des entreprises à des méthodes de conception de produits prenant en compte les critères d'environnement. – Trois aspects : cycle de vie d'un produit, information du consommateur, réseaux de coopération.

Objectif	Programme illustratif	Caractéristiques principales
Soutien à la recherche	Programme "Strategische Technologieën voor Welzijn en Welvaart" (STWW), Région flamande, 1998-2000	<ul style="list-style-type: none"> – Accent mis sur le long terme, l'absorption des technologies par les entreprises flamandes, la valorisation des résultats sur le marché. – Mise en place de commission d'utilisateurs pour accompagner les recherches. <p>Trois sous-programmes de recherche :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Technologie et société : technologies pour les moins valides, technologies pour la restauration du patrimoine artistique, nouvelles thérapies, prévention des risques environnementaux. – Technologie et économie : recherches multidisciplinaires stratégiques à réaliser par des consortiums d'instituts de recherche et d'utilisateurs.

		– Technologie et besoins des administrations.
Soutien au développement technologique	Programme Prométhée, DGTRE, Région wallonne, avec le soutien du programme européen "Regional Innovation Strategy" (1998-2001)	– Identification de 40 technologies clés pour le développement régional à l'horizon 2010, dont la technologie du prototypage rapide. – Trois objectifs : mieux connaître le potentiel d'innovation de la Wallonie, favoriser des partenariats et des synergies dans la mise en œuvre de grappes d'innovation, organiser un réseau d'offre de compétences adapté aux besoins des entreprises. – L'intervention de la Région dans la mise en grappes consiste à financer une mission d'expertise.
Soutien à la démonstration	Environmental Technology Verification Programme, US Environmental Protection Agency. Depuis 1990.	– Objectif de vérification des performances des technologies environnementales en phase de pré-commercialisation – Définition d'une méthodologie applicable à 12 domaines technologiques et d'un protocole de conduite des tests et de communication des résultats.
Soutien au recyclage	Recywall, groupement d'intérêt économique, Région wallonne	– Initiative commune de huit centres de recherche industrielle collective, dans le but de mettre en commun les compétences techniques dans la prévention des déchets industriels, la valorisation et le recyclage.
Guidance technico-économique	Industrial Assessment Centres Programme (IAC), Office of Industrial Technologies, Federal Dept. of Energy, USA	– Service d'audit de gestion de l'environnement, gratuit pour les entreprises de moins de 500 personnes, réalisé par un réseau de 30 universités et financé par une agence gouvernementale. – Système de suivi des recommandations formulées lors de l'audit.
Financement par capital à risque	Ecotech Finance SA, Wallonie.	– Prises de participation dans des entreprises du secteur de l'environnement, qui investissent dans des projets industriels à valeur ajoutée. – Actionnariat provenant de la Société régionale d'investissement et de partenaires privés.

3.2.3. Observations transversales

Ces initiatives collectives de stimulation de l'innovation technologique jouent sur quatre dimensions :

1. **Le renforcement des capacités stratégiques.** Il s'agit du renforcement des compétences des entreprises et de tous les autres acteurs du développement technologique. Il est lié à :
 - une détection avancée des projets à caractère durable, détection qui nécessite une évaluation et une caution scientifiques,
 - une détection avancée des risques liés aux développements technologiques,
 - une identification des technologies-clés pour le développement durable et pas seulement dans le domaine des technologies environnementales,
 - une compréhension des combinaisons possibles entre technologies et organisation sociale,
 - une attention portée à des techniques isolées mais également à des systèmes technologiques,
 - une prise en compte des cycles de vie des produits et procédés nouveaux ou techniquement améliorés et une exploration des possibilités de recyclage et de réutilisation,
 - une analyse des flux de matière dans les secteurs industriels et de services,

- le développement de méthodologies de prospective (ex : méthode du back-casting).
2. **Le renforcement des capacités technologiques**, qui concerne autant les offreurs de technologie que les utilisateurs de technologie (entreprises, collectivité, ménages). Il passe par :
- un appui à la recherche à long terme, intégrant dès l'amont les questions de commercialisation, de stratégie de diffusion, de capacité d'absorption par le tissu industriel local ;
 - une aide à la conception, fondamentale pour encourager l'éco-efficacité ;
 - une aide au développement technologique, notamment pour raccourcir le temps nécessaire à la mise sur le marché et diminuer le temps de retour sur investissement ;
 - la guidance technico-économique pour les PME qui n'ont pas toujours les moyens humains et financiers de développer une expertise pointue ;
 - des mécanismes d'information et d'évaluation à caractère indépendant pour orienter les choix technologiques des utilisateurs dans un souci de développement durable.
3. **Le renforcement des capacités relationnelles**, qui se développe par :
- la mise au point de nouvelles formes de médiation avec la société, donnant lieu à l'établissement de procédures inédites (par exemple, l'exercice de prospective régionale au Baden-Württemberg) ;
 - l'appui à des consortiums de recherche plutôt qu'à des entreprises isolées ;
 - l'amélioration de la communication entre entreprises et grand public.
4. **Le renforcement des capacités commerciales**, qui répond, d'une part, à un besoin de caution à caractère indépendant pour faciliter l'accès au marché (par exemple par des programmes de vérification technologique ou de certification), et d'autre part, à un besoin de soutenir la demande par des commandes publiques ou par le biais d'une réglementation ferme sans être impraticable.

3.3. L'expérience des centres de recherche industrielle à vocation collective en Belgique

Pour compléter cette approche en termes de dispositifs de soutien à l'innovation, il est apparu utile de s'intéresser à une spécificité déjà ancienne du système belge d'innovation : les centres collectifs de recherche industrielle. Cinq institutions ont fait l'objet d'une analyse :

- deux centres collectifs de recherche au sens strict (c.-à-d. les ex-“Centres De Groote”) : le CRIF et le CSTC ;
- un centre public de recherche de la Région wallonne : l'ISSeP ;
- un centre technologique créé dans le cadre de l'Objectif 1 en Hainaut : le Certech ;
- un centre sectoriel appartenant au secteur privé (secteur de l'énergie).

3.3.1. La place du développement durable dans les centres de recherche industrielle à vocation collective

Le CRIF, centre de recherche industrielle de Agoria

Le CRIF soutient depuis longtemps les activités des entreprises de recyclage et tente de diffuser les innovations vers les entreprises par divers créneaux : participation à rédaction des cahiers "Technologies propres" avec l'Union wallonne des entreprises, séminaires, publications, etc. Le CRIF répond aussi à des demandes ponctuelles d'entreprises, parmi lesquelles émerge une nouvelle tendance : la demande pour la conception de produits facilement recyclables en fin de vie. D'autres réalisations concourent indirectement au développement durable, soit en économisant les ressources, soit en allongeant la durée de vie des produits ou équipements.

Le CSCT, centre scientifique et technique de la construction

Le CSTC travaille surtout sur les déchets de la construction et leur recyclage (notamment dans les granulats). Il traite aussi les paramètres physiques des bâtiments et quelques problèmes connexes (radon, amiante, légionellose). Il travaille depuis plusieurs années sur les technologies d'utilisation rationnelle de l'énergie, mais rencontre peu de succès dans leur diffusion auprès des entreprises de construction. Pour sensibiliser les entrepreneurs, le CSTC a mis au point un programme de sensibilisation appelé MARCO (Management des risques environnementaux dans les métiers de la construction). Le CSTC espère pouvoir toucher la future génération d'entrepreneurs, car jusqu'à présent, il n'y a aucun volet environnement dans les programmes d'étude du secteur de la construction, ni des architectes.

L'ISSeP, institut scientifique de service public de la Région wallonne

Les missions historiques de l'ISSeP l'ont amené à considérer les déchets comme un matériau composite et à leur appliquer des traitements thermiques (thermolyse, gazéification et combustion). Le défi consiste à prolonger le cycle de vie de ces déchets et à trouver des applications pour les différentes fractions (solide, liquide et gazeuse). Toutes ces recherches sont effectuées sur base d'un financement public, dans une optique de développement durable.

Le Certech, centre d'expertise chimique et de recherche appliquée

Un tiers des activités du Certech concernent le suivi de la qualité de l'air. Il n'existe qu'une dizaine de centres sur ce thème en Europe et le Certech est le seul en Région wallonne. Le Certech a participé à l'élaboration d'une procédure certifiée de mesure des odeurs et conseille les entreprises sur les techniques d'abattement des odeurs. Les technologies proposées sont essentiellement des technologies end-of-pipe. Le Certech tente de développer des projets plus en amont de la production, mais cela coûte cher et il n'est pas facile de dégager la masse critique pour y arriver. Le Certech réalise également des recherches sur le recyclage des plastiques, dans le but de restaurer partiellement la qualité dégradée de plastiques recyclés via l'adjonction d'additifs, ou de trouver des débouchés pour lesquels la qualité dégradée peut convenir.

Un centre de recherche industrielle du secteur de l'électricité

Les pressions réglementaires d'une part et citoyennes d'autre part rendent nécessaire une prise en compte très poussée de l'environnement dans le secteur de l'électricité. Deux thèmes de travail sur les quatre développées par le centre sont en relation avec le développement durable : la protection de l'environnement et l'utilisation rationnelle de l'énergie (y compris les énergies renouvelables). Le centre joue un rôle moteur en matière d'innovation au sein du secteur. Mais ces innovations se heurtent parfois à la résistance des opérateurs. De manière générale, ces derniers n'adoptent pas une innovation si l'ancien procédé leur paraît suffisant.

3.3.2. Le potentiel des centres de recherche industrielle et les obstacles rencontrés

Les centres de recherche publics conçoivent leur rôle comme crucial pour orienter l'innovation technologique en faveur du développement durable. Leur sensibilité à cette problématique est généralement élevée et leur niveau de compétence les autorise à imaginer des solutions originales. Malheureusement, ils déplorent ne pas pouvoir les développer suffisamment. Les restrictions évoquées sont de nature diverse :

- Les moyens publics mis à leur disposition sont insuffisants pour mener toutes les activités de recherche à long terme qui bénéficieraient à leur secteur d'activité. Ces recherches génériques doivent viser des solutions préventives, en amont dans les processus de production. Ce financement public est impératif car les entreprises ne financent que les recherches à court terme, qui débouchent sur des technologies dont le temps de retour sur investissement est très court.
- Cette remarque vaut essentiellement pour les PME. Les grandes entreprises développent des stratégies de long terme. D'une part, elles ont les moyens financiers et humains pour le faire, d'autre part, elles sont plus exposées à la critique et sont quasiment obligées de montrer patte blanche pour poursuivre leurs activités. La stratégie suivie par le centre de recherche privé illustre bien ce propos.
- Pour les PME, la stratégie environnementale est rarement un élément de marketing. C'est plutôt une contrainte qu'elles souhaitent satisfaire à moindre coût. Pourtant, il existe de nombreuses "success stories" démontrant l'avantage financier du traitement à la source des nuisances environnementales (économies d'eau, d'énergie, etc.). Mais la majorité des entreprises ne disposent ni des moyens financiers, ni des moyens humains pour mettre en œuvre ces stratégies.

C'est donc aux autorités publiques à mettre en œuvre en cadre incitant pour ces entreprises, par le biais de la réglementation, d'aides à l'investissement, etc. Les centres de recherche industrielle estiment que sans climat propice créé par les autorités, les entreprises s'en tiendront à leurs habituelles contraintes de rentabilité.

3.4. Un domaine technologique emblématique : l'électricité et les énergies renouvelables

Le secteur de l'énergie se situe au cœur de la problématique du développement durable car il soulève des questions telles que l'épuisement des ressources en énergies fossiles, la hausse de l'effet de serre essentiellement liée aux émissions de CO₂, l'existence de

coûts externes supportés sans contrepartie par la collectivité. La part croissante des pays du Sud dans la demande énergétique mondiale entraîne un besoin de transfert de technologie et de savoir-faire pour maîtriser les risques liés à une augmentation massive de la concentration atmosphérique de CO₂. L'insécurité quant à l'approvisionnement (notamment liée à la hausse des prix des énergies fossiles) plaide pour une plus grande autonomie énergétique, via une diversification des sources d'énergie primaire et un recours aux sources locales.

Par ailleurs, le secteur énergétique illustre bien la panoplie d'instruments que les pouvoirs publics doivent déployer pour stimuler le développement et la diffusion d'innovations technologiques : il s'agit de lever des barrières techniques mais aussi non-techniques qui entravent la mise sur le marché d'innovations technologiques favorables au développement durable.

Le lien entre les exigences de développement durable, le besoin d'innovation et le rôle des pouvoirs publics est illustré à partir de deux cas concrets : d'une part, les résultats du projet européen ATLAS, auquel la Flandre et la Wallonie ont participé ; d'autre part, le cas des sources d'énergie renouvelable dans la production d'électricité.

3.4.1. Les enseignements du programme ATLAS

Le projet ATLAS (47), réalisé dans le cadre du programme européen Joule – Thermie, a permis de réaliser une vaste synthèse sur les technologies énergétiques. Cette synthèse comporte un état de l'art sur les différentes technologies, une analyse des barrières à la diffusion et un examen des mesures de stimulation à adopter. Ce projet a été mené par une série d'experts provenant d'agences nationales pour l'énergie. La Belgique y était représentée par l'Institut wallon et la Vlaamse Thermie Coördinatie. On en trouvera une présentation plus détaillée dans le Working Paper n° 5.

Les résultats de projet sont fort instructifs du point de vue de la politique d'innovation en matière énergétique, même s'il n'est pas axé sur les technologies énergétiques à caractère durable et s'il excède largement le cadre des énergies renouvelables.

Des différences de maturité technologique

Dans l'étude ATLAS, chaque technologie énergétique est considérée en elle-même, en tenant compte de son degré de maturité technologique afin de déterminer si l'accent doit être placé dans les dispositifs d'appui sur la recherche, le développement, la démonstration, la dissémination ou la commercialisation. Une attention particulière est accordée au feed-back des utilisateurs et du marché. L'importance de la phase de démonstration est mise en relief, c'est en effet au cours de cette phase que les besoins effectifs des utilisateurs peuvent être identifiés et pris en considération par les équipes de R&D.

Pour certaines technologies, les défis sont de nature technologique, mais pour la plupart d'entre elles, il s'agit de comprimer les coûts. La recherche et l'innovation servent dans ce cas à améliorer les performances et à réduire les coûts de production.

(47) European Commission - Thermie, *Energy technology, the next steps, summary findings from the Atlas project*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1997

Des barrières à la diffusion

Parmi les barrières à la diffusion des technologies énergétiques, au-delà des spécificités propres à une technologie en particulier, le projet ATLAS a mis en lumière des communs dénominateurs. Il s'agit du manque d'information sur le degré de maturité technologique et commerciale des innovations, du manque de confiance des investisseurs, y compris les investisseurs institutionnels, et d'un prix trop bas des énergies conventionnelles, qui ne tient pas compte de leurs externalités négatives pour l'environnement.

Des mesures techniques et non-techniques à déployer

Les mesures à déployer pour surmonter ces barrières à la diffusion sont d'ordre divers. Ces mesures peuvent être de nature technique : réglementations, standards, codes obligations de calendrier, etc. Ces mesures peuvent aussi être financières (incitants fiscaux, subsides publics, contrôle des prix de l'énergie), environnementales (contrôles d'émission, crédits CO₂) ou encore organisationnelles (à l'initiative des associations d'usagers ou d'organisations professionnelles).

La nécessité d'une mise en cohérence des diverses politiques est mise en avant. Ainsi, les réglementations en matière agricole, en matière de construction, en matière industrielle ont une incidence sur le marché des technologies énergétiques et doivent être harmonisées avec les mesures de politique énergétique ainsi qu'avec les dispositifs de soutien à la recherche et à l'innovation.

3.4.2. La promotion des sources d'énergie renouvelable dans la production d'électricité

Le projet Atlas souligne que, pour la plupart de ces technologies de production d'électricité basées sur des sources d'énergie renouvelable, davantage de R&D et de démonstration devraient faire diminuer les coûts, optimiser les performances et accroître la compétitivité. A terme, ceci devrait améliorer leur position concurrentielle sur le marché de l'énergie et donc renforcer leur contribution au développement durable. Il s'agit là d'un cercle vertueux dont il faut amorcer ou plutôt stimuler le démarrage.

Le potentiel des sources d'énergie renouvelable (SER)

Dans son rapport d'octobre 2000, la Commission pour l'Analyse des Modes de Production de l'Electricité et le Redéploiement des Energies (Commission AMPERE) évalue le potentiel des énergies renouvelables dans la production d'électricité.

Tableau 12
Potentiel d'électricité SER en Belgique

Source d'énergie	Potentiel	Prix approximatif du kWh
vent off-shore	3 TWh/an	entre 2.4 et 4 BEF
vent on-shore	entre 1.2 à 2.4 TWh/an	entre 1.8 et 2.6 BEF
biomasse	entre 0.92 et 3.5 TWh/an	entre 2 et 5 BEF
énergie photovoltaïque	0.5 TWh/an	entre 15 et 25 BEF
énergie hydraulique	puissance installée : 0.3 TWh/an,	3.6 BEF et jusqu'à 11 BEF pour

	proche du potentiel total	les petites centrales
Total réaliste	8.8 TWh/an	

Source : Rapport AMPERE (2000)

Ce tableau appelle quelques commentaires :

- Pour l'énergie éolienne, les zones économiquement les plus favorables se situent dans une bande côtière d'une quinzaine de km de large. Toutefois la disponibilité de ces zones d'implantation est très réduite et suscite des problèmes d'aménagement du territoire.
- La biomasse reprend différentes sources énergétiques, à savoir : les cultures énergétiques, les résidus de bois, les boues d'épuration des eaux, les résidus agricoles et d'élevage, les déchets ainsi que les gaz de décharge. Certaines de ces sources font appel à des technologies qui sont encore en phase de démonstration.
- Le total du potentiel représente 10% de la consommation actuelle d'électricité. Ce potentiel ne pourrait être atteint avant 2010 voire 2020 et représenterait alors un pourcentage inférieur si aucune mesure volontariste de gestion de la demande n'était mise en œuvre.
- Le coût des énergies renouvelables est nettement supérieur au coût des centrales classiques (centrale nucléaire entre 1.18 et 1.67 BEF le kWh, centrale TGV entre 1.31 et 1.48 BEF le kWh), dans les conditions actuelles de calcul de rentabilité.

Les barrières à la diffusion

Les principales barrières à la diffusion, déjà mentionnées dans le projet ATLAS, sont :

- Le mauvais rapport de prix entre l'électricité SER et l'électricité conventionnelle. La Commission AMPERE attire toutefois l'attention sur le fait qu'actuellement, seuls les coûts techniques sont pris en compte. Les coûts sociaux et environnementaux sont externalisés.
- Le poids économique, politique et institutionnel des producteurs d'électricité conventionnelle. Ceux-ci laissant peu de place pour l'émergence de l'électricité SER, qui est souvent le fait de nouveaux entrants.

Il existe encore d'autres obstacles susceptibles de bloquer le processus de diffusion de ces technologies :

- leur impact environnemental, qui concerne notamment l'exploitation des ressources hydroélectriques (barrages) et les parcs d'éoliennes ;
- la compétition pour l'occupation de l'espace, notamment pour les cultures énergétiques ;

- des mesures administratives de nature diverse, qui peuvent avoir des effets pervers ou contradictoires, en excluant certaines sources SER de critères de subvention ou d'autorisation qui n'ont pas été conçus en tenant compte de leur développement.

Les mesures favorables au développement de l'électricité SER

Trois types de mesures peuvent être envisagées : des actions sur les coûts, des mesures administratives et des initiatives de démonstration.

Parmi les mesures qui agissent sur les coûts, une orientation des activités de R&D vers une diminution des coûts d'investissement et de fonctionnement des SER s'avère primordiale. C'est notamment le cas du solaire photovoltaïque. Des mesures d'accompagnement (subventions, prescriptions urbanistiques) peuvent augmenter la taille du marché et provoquer également une réduction des coûts. Les innovations ne se situent pas toujours dans la technologie, mais parfois dans le service associé au produit. Par exemple, l'intercommunale IVEG a dynamisé son programme de subventions aux chauffe-eau solaires en proposant un système de leasing plutôt que d'acquisition.

Les mesures administratives concernent essentiellement la réglementation et l'accès à des primes spécifiques. Parmi les initiatives de démonstration, dont l'intérêt a été maintes fois souligné, il convient de mentionner les activités de développement et de promotion des piles à combustible, prises par un consortium d'entreprises et de centres de recherche appelé Promocell et soutenu par la Région wallonne.

3.5. Une évaluation des dispositifs de stimulation de l'innovation

3.5.1. Constat global

De façon globale, on constate que la palette d'interventions destinées à encadrer et à stimuler l'innovation sur une base collective est extrêmement large, faisant intervenir les trois grandes familles d'instruments présentés antérieurement à propos du Tableau de Bord européen de l'innovation. Ces instruments doivent être envisagés non pas de façon isolée mais combinatoire.

Le développement durable ne se développe pas dans un terrain vierge : on se trouve face à un arsenal d'initiatives qui sont tantôt du ressort de la politique technologique, tantôt à la frange de la politique environnementale, de la politique industrielle, de la politique d'aménagement du territoire, de l'enseignement et de la formation. La politique d'innovation elle-même remplit un rôle dont le caractère horizontal est de plus en plus souligné.

Dans les initiatives collectives examinées, on s'aperçoit qu'un certain nombre d'outils classiques (notamment l'aide à l'expansion économique) sont revus en ce qui concerne leurs conditions d'octroi, afin que les aides accordées puissent favoriser le développement durable. Un enjeu important consiste à faire admettre que le critère de durabilité s'insère parmi les autres critères couramment invoqués (rentabilité économique, performance technique, création d'emplois) dans les différents modes d'intervention des pouvoirs publics. De nouveaux instruments sont également mis au point pour relever le défi de l'innovation durable (ex. : méthodologie du back-casting dans un programme de prospective technologique hollandais).

Le travail en réseau dans le cadre de consortiums de recherche, de clusters stratégiques, le développement de nouveaux partenariats public/privé, les négociations volontaires, les actions de communication constituent les accents dominants des actions collectives menées pour stimuler l'innovation à la faveur du développement durable.

En ce qui concerne les partenariats, on relèvera en particulier l'intérêt que présente dans une perspective de développement durable la création de centres de recherche coopérative multisectoriels (ex. : Certech) et la mise en contact, selon des procédures inédites, de chercheurs avec le marché (ex. : programme STWW et ses commissions d'utilisateurs).

L'examen de quelques centres de recherche coopérative et de programmes de stimulation de l'innovation permet de souligner aussi que le soutien à l'innovation technologique durable ne se limite pas aux secteurs industriels mais incluent aussi les secteurs des services. Qui plus est, on voit se profiler des programmes tendant à accélérer le mouvement vers la dématérialisation de l'économie, visant par là la diminution de matières et des énergies incorporées dans les produits et la substitution d'un service à un bien, partant du principe que le consommateur intermédiaire ou final est davantage intéressé par l'usage que par la possession d'un bien. De ce point de vue précisément, certaines initiatives (workshop OCDE sur la prospective technologique et le développement durable) soulignent qu'il ne faut pas soutenir exclusivement des innovations technologiques : il faut également prêter attention à des innovations organisationnelles permettant la transition vers une dématérialisation de l'économie, voire vers une économie en boucle.

Les travaux menés dans le Land du Baden Württemberg présentent beaucoup d'intérêt à cet égard car ils comportent un examen assez fin des secteurs dans lesquels il existe un potentiel de reconversion important et un bon ratio coût/effectivité des mesures à lancer.

Les principales difficultés rencontrées pour soutenir l'innovation durable ont trait à des secteurs fort monopolistiques, peu enclins à innover, ou fort morcelés, où la diffusion des innovations est malaisée. Le défi majeur à relever réside du côté des PME et des très petites entreprises, et ce non pas seulement en termes d'appui financier mais aussi sous forme de guidance technico-économique, de mise à disposition d'information et d'évaluation indépendante, d'aide à la commercialisation et à l'exportation de nouveaux produits ou procédés durables.

Les modalités collectives d'encadrement de l'innovation varient bien entendu considérablement selon le degré de maturité de la technologie en question. Au stade émergent, l'intervention collective se concentrera sur le soutien à la recherche fondamentale, la tenue d'exercices de prospective et de veille technologique, l'évaluation des risques à long terme. Au stade amont du développement technologique, l'intervention collective visera à répartir la charge des investissements matériels et immatériels nécessaires à l'innovation, et à susciter la prise en compte des besoins du marché, à inciter à penser très tôt à la valorisation économique, au plan de diffusion, à l'absorption des technologies par les entreprises. Au stade aval, l'intervention collective ne doit pas se limiter à des mesures techniques, des mesures non-techniques peuvent jouer un rôle (ex. : mise en place d'une bourse pour les déchets, schéma de financement innovant pour des équipements technologiques). Le défi du stade aval consiste principalement dans l'amorçage d'un marché de façon à permettre la diffusion à large

échelle de produits ou procédés nouveaux et durables : il faut assez vite qu'à terme les pouvoirs publics puissent se retirer de façon à ne pas fausser les règles du jeu.

3.5.2. Les chaînons manquants et les maillons faibles

La mobilité du personnel scientifique et technique sous forme de détachement de personnel de centres de recherche vers des entreprises du secteur environnemental, sous forme d'échanges de personnel entre centres de recherche de secteurs différents doit être encouragée car le développement durable résulte du croisement entre les disciplines et entre les milieux professionnels. L'embauche de personnel bénéficiant d'une double formation en matière scientifique et technique et en matière environnementale doit elle aussi être encouragée auprès des PME de façon à concrétiser des projets générateurs d'éco-efficacité.

Le recours au critère de développement durable dans les conditions d'octroi d'aides publiques gagnerait à être amplifié mais également être précisé de façon à être rendu plus opérationnel et à rendre le contrôle de son application possible. Enfin, pour cet outil de gestion publique que constitue le contrat de gestion, il nous semble que les pouvoirs publics pourraient intégrer de façon systématique des exigences en termes d'innovations favorables au développement durable.

3.5.3. Les défis du développement durable sont-ils rencontrés ?

Au terme de cette analyse des dispositifs de stimulation de l'innovation, on peut se demander si les défis du développement durable (§3.1.2) sont bien rencontrés.

Pour *pallier la défaillance des marchés*, le financement public de la recherche fondamentale et la prospective technologique et socio-économique sont fondamentaux. Le partage des infrastructures, des équipements d'essais et de contrôles, la mutualisation des risques liés aux investissements de recherche sont tout aussi indispensables.

Les commandes publiques apparaissent aussi comme une mesure utile pour soutenir les marchés de produits et procédés nouveaux et durables. Cette mesure requiert une conscientisation des autorités aux différents niveaux de pouvoirs (y compris communes et intercommunales) et des organismes et entreprises réalisant des missions de service public. Cette mesure nécessite aussi une adaptation des cahiers de charge des marchés publics. Le financement d'équipements permet aussi de pallier la défaillance des marchés en stimulant l'amorçage d'un marché émergent.

En ce qui concerne la *diffusion des innovations*, les initiatives les plus urgentes à mener sont : la fourniture d'une information indépendante à destination des autorités publiques chargées de légiférer dans un domaine technologique ou de le subventionner ; la fourniture d'évaluation indépendante quant aux performances environnementales de nouveaux produits ou procédés ; la constitution de vitrine pour faciliter l'accès au marché (intérieur ou lié à l'exportation) ; l'assistance technique (diagnostic des besoins et résolution de problèmes de nature technologique).

Pour *favoriser la diversité technologique*, il faut parvenir à une masse critique de recherche fondamentale et industrielle de base et de ce fait, l'appui à des consortiums de recherche paraît la voie la plus appropriée. Les centres de recherche coopérative ne

doivent certainement pas limiter leurs activités à du transfert technologique et à des essais et mesures : la recherche générique en leur sein doit être encouragée mais elle a besoin de moyens. La structuration de la veille technologique au niveau sectoriel rencontre bien les besoins des PME du secteur concerné. En ce qui concerne la diversité technologique, il faut prévoir, en concertation avec tous les acteurs du développement technologique, les transitions technologiques afin de se dégager de systèmes technologiques polluants sur lesquels on ne ferait que greffer des technologies de remédiation pour s'orienter vers des technologies intégrées et durables.

Quant au *renforcement des capacités d'innovation*, les principaux enjeux soulevés sont l'intégration des matières environnementales dans le système d'innovation national (ex. : cluster environnemental finlandais) et la promotion de l'éco-efficacité au stade initial de la conception des produits et procédés. Celle-ci nécessite de raisonner en termes d'analyse du cycle de vie, de calcul des flux de matières. Le renforcement des capacités d'innovation est particulièrement crucial dans les PME et de façon générale dans les secteurs applicatifs, qui ne produisent pas eux-mêmes leurs technologies mais l'acquièrent auprès de leurs fournisseurs.

La *mise en cohérence des acteurs* a été signalée précédemment comme un des défis lancés par le développement durable à l'innovation technologique. La constitution de commissions d'usagers prévue dans le programme STWW constitue une réponse intéressante à cette exigence.

Quant à la *participation citoyenne*, elle est efficace comme moyen de pression pour influencer les pratiques des grandes entreprises, elle peut assez facilement être encouragée lors de la constitution de scénarios prospectifs sur les futurs modes de consommation. La participation citoyenne requiert aussi des actions d'information ou des actions à caractère démonstratif.

IV. Conclusions et recommandations

1. Principales conclusions de la recherche

Mettre l'innovation technologique au service du développement durable est un défi complexe, car les concepts d'innovation et de développement durable présentent tous deux un caractère multidimensionnel. Ce rapport de recherche a tenté d'en cerner toutes les dimensions et d'explorer celles qui paraissent les plus déterminantes.

1.1. De la “technologie soutenable” au processus d'innovation

Un des objectifs du projet de recherche était de caractériser les technologies au service du développement durable, tout en sachant que la caractérisation ne devait pas porter seulement sur la technologie elle-même, mais aussi sur son processus de conception et de diffusion. Cette nuance est de taille. Elle s'est imposée comme un constat majeur.

Nos résultats conduisent notamment à constater que la distinction entre technologies additives et technologies intégrées est certes significative, mais qu'il serait erroné d'affirmer que seules les secondes répondent aux défis du développement durable. De plus, les technologies au service du développement durable ne se réduisent pas aux seules technologies environnementales. Des technologies à caractère générique, comme les technologies de l'information et de la communication, peuvent également jouer un rôle important. Les études de cas montrent que les entreprises qui innovent dans une perspective de développement durable doivent mettre en œuvre une combinaison d'innovations de procédé, d'innovations de produits, d'innovations organisationnelles et d'innovations de marché, entre lesquelles les priorités sont établies de manière pragmatique, en fonction des opportunités et des contraintes.

Les freins à la diffusion de technologies favorables au développement durable ne proviennent pas en premier lieu d'un déficit de technologies disponibles. Celles-ci présentent cependant des degrés de maturité très variables. Les phases de maturation, de démonstration et de validation ont un poids important dans les facteurs qui expliquent le succès ou l'échec de la diffusion d'innovations.

1.2. L'interaction entre les politiques environnementale et l'innovation technologique : une grande flexibilité

Les politiques environnementales stimulent l'innovation technologique favorable au développement durable. Certaines politiques ont cependant des effets plus incitatifs que d'autres. Des instruments économiques utilisés de manière cohérente peuvent inciter les entreprises à investir à long terme dans des produits et procédés plus favorables à l'environnement. De même, des réglementations basées sur des normes de performances

et des objectifs gradués peuvent pousser les entreprises à trouver des réponses plus innovantes que la simple mise en conformité.

Il est toutefois difficile d'aller plus loin dans l'établissement d'un lien de cause à effet entre les politiques environnementales et l'innovation technologique, essentiellement pour deux raisons. D'une part, les réponses technologiques que développent les entreprises dépendent de nombreux facteurs contextuels, liés aux structures industrielles, à l'état général de l'environnement, à des facteurs institutionnels et sociaux. D'autre part, les effets de telle ou telle mesure environnementale sur tel ou tel type d'innovation sont très diversifiés, favorisant tantôt les innovations radicales, tantôt les innovations incrémentales, tantôt la diffusion de technologies existantes. L'effet des politiques environnementales sur l'innovation sont certes positifs, mais les réponses des entreprises sont très flexibles.

1.3. Les stratégies des entreprises : une diversité qui cache la perplexité

Les études de cas révèlent une large variété de stratégies d'innovation parmi les entreprises qui poursuivent des objectifs d'amélioration de la qualité de l'environnement et de développement durable. L'effet de taille est important : une grande entreprise pourra définir une stratégie à long terme, mobiliser ses ressources en R&D, améliorer sa communication interne et externe et pratiquer le lobbying, tandis qu'une petite entreprise préférera investir dans des innovations plus pointues ou des niches de marché, mobiliser la créativité de l'ensemble du personnel, mais sans pouvoir exercer une influence significative sur le contexte institutionnel ou réglementaire.

L'analyse d'enquêtes sur l'innovation montre que l'objectif de développement durable ne figure pas encore parmi les premières priorités des entreprises. Une meilleure prise en compte de cet objectif implique aussi une meilleure organisation de la fonction R&D dans les entreprises, notamment en termes de circulation de l'information, de développement des compétences, d'organisation de partenariats.

Du point de vue des entreprises, les choix en faveur du développement durable sont souvent grevés de lourdes incertitudes : non seulement sur la diffusion des innovations et leur rentabilité, mais aussi sur l'évolution des politiques publiques et du cadre réglementaire ou fiscal. Si la diversité des stratégies des entreprises s'explique d'abord par la variété des défis, elle est sans doute aussi un indicateur de leur perplexité.

1.4. La stimulation de l'innovation technologique : tendances fortes, chaînons manquants et maillons faibles

Les politiques de stimulation de l'innovation technologique favorable au développement durable tiennent déjà compte de la flexibilité des réponses aux contraintes environnementales et de la diversité des stratégies en présence. Comme le montre notre aperçu de vingt dispositifs de stimulation, toutes les catégories d'instruments répertoriés par le tableau de bord européen de l'innovation sont présentes sur le terrain du développement durable. Un point fort des politiques d'innovation est qu'elles peuvent jouer un rôle intégrateur vis-à-vis des politiques industrielles et des politiques d'environnement et exercer une influence sur les politiques d'aménagement du

territoire, d'emploi et de formation. Un autre point fort est leur capacité de susciter des démarches de prospective stratégique.

La transformation des politiques de stimulation de l'innovation est visible sous deux angles. D'une part, les critères de qualité de l'environnement et de développement durable font une percée significative, mais encore insuffisante, au sein des dispositifs traditionnels de soutien à l'innovation: aides et subventions, incitants financiers, systèmes de guidance. D'autre part, de nouveaux types d'actions apparaissent ou se renforcent : mise en grappes (*clustering*), consortiums de R&D intersectoriels, accords volontaires, partenariats public-privé, actions de communication, organisation de l'interaction entre chercheurs et utilisateurs.

Par contre, il semble que la gestion des ressources humaines et la gestion des connaissances, en particulier le développement des compétences, la mobilité du personnel de R&D et la capacité de communication, constituent encore des maillons faibles dans les processus d'innovation favorables au développement durable.

Quant aux chaînons manquants, ils se situent essentiellement dans la diffusion des innovations. En matière de développement durable plus encore que dans d'autres domaines, les dispositifs de soutien à l'innovation doivent pallier la défaillance des marchés. Cet aspect est abordé de manière plus détaillée dans nos recommandations.

2. Recommandations

Une utilisation raisonnée des instruments de politique d'innovation doit susciter des réponses en termes d'innovations auprès d'un large spectre d'acteurs. Sont en effet concernées les entreprises du secteur environnemental mais pas uniquement ; les entreprises industrielles mais aussi les entreprises de services ; les entreprises polluantes mais également les autres ; les grandes entreprises ainsi que les PME.

L'utilisation raisonnée des instruments de politique d'innovation aura pour effet d'enclencher des changements, mais sur l'échelle du changement technologique, il existe de nombreuses variations allant du statu quo pour une firme déjà conforme à une nouvelle exigence, à la diffusion de technologies existantes, à une amélioration continue, à une modification incrémentale, à une modification radicale des produits et procédés. Le degré du changement nécessaire pour faire face aux exigences du développement durable ne se limite assurément pas au statu quo, à la diffusion de technologies existantes, ni même aux modifications incrémentales. Des innovations de rupture sont la voie obligée pour se développer au plan technologique sans compromettre les besoins des générations futures. La question qui se pose en termes de politique d'innovation est de savoir si notre système d'innovation permet de les faire émerger et si ces innovations de rupture surgiront dans le secteur environnemental ou dans d'autres secteurs.

2.1. Relever les défis du développement durable

2.1.1. Mesures pour combler l'écart entre rendement privé et rendement social des investissements en R&D

Pour pallier la défaillance des marchés en ce qui concerne les technologies favorables au développement durable, les mécanismes suivants pourraient être déployés :

1. Politique de subsidiation de la recherche fondamentale et de la recherche technologique de base (crédits d'impôt, subventions, soutien à la recherche coopérative) afin d'impulser le développement de technologies propres et sobres.
2. Politique de partenariat (accords de R&D, consortiums de technologie, centres multisectoriels de recherche collective) permettant d'élargir le périmètre au sein duquel la connaissance est volontairement partagée et de réduire le problème posé par l'appropriation imparfaite des retombées de la R&D.
3. Politique de soutien de la demande via des commandes publiques pour subsidier le développement ou l'usage de technologies ou d'infrastructures favorables aux générations futures.
4. Politique de soutien de la demande via une réglementation renforcée, surtout dans les domaines de l'air, de l'eau, du sol, de l'énergie et des normes de qualité.
5. Politique de soutien de la demande par des schémas de financement novateurs pour les technologies favorables au développement durable.

2.1.2. Mesures de soutien à la diffusion de technologies propres et sobres

L'appui à la diffusion de technologies propres et sobres peut se présenter sous différentes formes qui ne sont pas exclusives l'une de l'autre :

1. Amplification de programmes de démonstration.
2. Lancement de programmes de certification quand la technologie arrive à un certain stade de maturité.
3. Recours à des dispositifs de vérification.
4. Appui au transfert technologique notamment par le biais de guidance technologique.
5. Appui à la mobilité professionnelle du personnel scientifique mais aussi technique.
6. Appui à des infrastructures d'échange destinées à accélérer la diffusion du know-how relatif aux technologies propres et sobres.
7. Soutien accru aux passerelles entre la recherche fondamentale et la recherche technologique de base
8. Formation des diplômés en sciences appliquées davantage axée sur l'analyse du cycle de vie, l'éco-conception, l'éco-efficacité.

Les PME peu innovantes et/ou peu sensibles aux questions environnementales doivent être la cible privilégiée des actions de soutien à l'innovation menées au niveau collectif car elles constituent la majeure partie du tissu économique belge et ont besoin d'appui sur le plan technique et sur le plan managérial.

Dans des secteurs très morcelés, par exemple celui de la construction, toute action publique visant à la diffusion de technologies favorables au développement durable devra être assortie d'une réglementation assez vigoureuse et d'une action de sensibilisation auprès des consommateurs afin qu'ils fassent pression sur le marché professionnel.

2.1.3. Mesures de sauvegarde de la diversité technologique

Le soutien public à la recherche fondamentale ne peut être réduit car il constitue un investissement, permettant la reconfiguration et le renouvellement de réseaux technico-économiques en vue de promouvoir la diversité dans la gamme des options scientifiques et techniques disponibles pour les entreprises. Le maintien de la diversité permet d'éviter les verrouillages autour de technologies présentant des risques pour les écosystèmes ou pour les générations futures.

2.1.4. Mesures visant le renforcement des compétences à long terme

Les savoirs et savoir-faire sont indissociablement mêlés aux capacités d'innover d'une entreprise. Il est donc fondamental de comprendre comment les compétences se codifient au sein des entreprises, comment elles se renouvellent et enfin comment elles peuvent être gérées pour faire face au long terme : cela nécessite le financement et la conduite d'études et d'enquêtes sur les organisations apprenantes.

Ce renforcement des compétences à long terme nécessite en matière de formation initiale un appui renforcé aux sciences interdisciplinaires : cela devrait permettre de mieux appréhender les phénomènes complexes régissant l'évolution de la planète et de comprendre les interactions entre les innovations technologiques et les milieux naturels et humains.

En matière de formation continue, des initiatives sectorielles ou multisectorielles peuvent utilement familiariser les entreprises avec des méthodes génératrices de comportements industriels plus durables (analyse du cycle de vie, éco-efficacité, maîtrise de la qualité environnementale).

Dans une optique de long terme, et à un niveau plus collectif, il convient aussi de procéder à des exercices de prospective stratégique en s'interrogeant sur les enjeux économiques du développement de telle ou telle technologie, sur les risques de dépendance industrielle que l'on court si l'on ne développe pas une technologie, sur la position concurrentielle qu'elle permet d'obtenir, sur l'acceptabilité sociale et culturelle de celle-ci, sur la capacité de diffusion locale d'une technologie.

Une attention particulière doit être apportée aux PME dont les moyens humains et financiers sont plus limités, les orientant davantage vers le court ou moyen terme. Des mesures destinées à accroître leur capacité d'innovation devraient leur permettre soit de développer en interne des technologies prometteuses, soit d'acquérir des technologies

en sachant les adapter à leurs besoins propres, soit de formuler des questions pertinentes lors de coopérations technologiques.

2.1.5. Mesures pour encourager la participation citoyenne

La participation du public peut être encouragée sur divers plans : lors de la construction de scénarios prospectifs, pour la détection avancée de risques, pour l'évaluation socio-économique des choix technologiques, et enfin pour la conception et l'expérimentation de produits ou procédés à composante technologique. Cette participation citoyenne ne peut être conçue de façon trop spécifique, limitée au développement et à la diffusion d'une technologie particulière, elle doit en effet porter également sur l'adhésion à une économie en boucle, ce qui nécessite un changement dans les modes de production mais aussi et surtout dans les modes de consommation.

2.1.6. Mesures de mise en cohérence des acteurs

Cette mise en cohérence se joue à plusieurs niveaux.

1. Elle nécessite d'intégrer le critère de durabilité dans les décisions d'interventions publiques de soutien à l'innovation, ainsi que dans l'import-export de technologies et lors de l'adoption de réglementations relatives à des nouvelles technologies.
2. Elle requiert une concertation renforcée entre niveaux de pouvoir différents et entre domaines de compétence dispersés pour parvenir à une véritable intégration des instruments mis en œuvre pour favoriser l'innovation technologique favorable au développement durable, qu'ils aient trait à la culture d'innovation, à la mise en place d'un cadre incitatif et à la transformation des fruits de la recherche en produits et services. L'éclatement des responsabilités en ces matières en Belgique nécessite à l'évidence un travail considérable de mise en cohérence.
3. Si l'on veut mettre l'accent sur l'absorption et l'appropriation des technologies par les utilisateurs et par la société, de nouvelles formes de médiation doivent être soutenues. Il faut prévoir des modalités des expérimentations qui sont en quelque sorte des innovations sur place, sur site avant que tout ne fonctionne correctement au niveau technique et organisationnel. Cette mise en cohérence permettrait les ajustements mutuels aux différents acteurs impliqués dans le développement ou la diffusion d'une technologie.

2.2. Intervenir tout au long du processus d'innovation

Des dispositifs d'accompagnement peuvent être déployés tout au long des processus d'innovation, tantôt par les pouvoirs publics, tantôt par le privé (au niveau sectoriel, intersectoriel ou au niveau des entreprises), tantôt par les milieux associatifs.

Ces dispositifs doivent être adaptés au *degré de maturité* de la technologie soutenue :

- détection avancée (recours à des exercices de prévision, veille technologique, technology assessment, risk assessment) ;

- recherche (financement de la recherche fondamentale et technologique de base, appui aux sciences interdisciplinaires, accent sur les sciences de transfert) ;
- conception (diffusion des méthodes prônant l'analyse du cycle de vie, l'éco-efficacité, recours au benchmarking pour mettre en évidence des pratiques allant en ce sens) ;
- développement (ex. : aide au prototypage rapide) et démonstration (y compris tests sur site) ;
- commercialisation (aide à la vérification technologique, aide à la certification, labels verts)
- dissémination (organisation d'événements de promotion de technologies soutenables, adaptation des cahiers des charges des commandes publiques)

Il faut prévoir également un *accompagnement transversal* en fonction de différents besoins.

- Formation initiale : adaptation des cursus du fondamental, du secondaire, du supérieur universitaire et non-universitaire afin de renforcer la culture technique et d'aiguiser la sensibilité au développement durable à l'aide d'outils appropriés.
- Formation permanente : accent à mettre sur l'apprentissage tout au long de la vie permettant de s'approprier davantage les évolutions technologiques et de maîtriser des méthodes destinées à promouvoir les comportements durables dans les activités productives.
- Information : constitution de banques de données sur les BAT, mise à disposition d'indicateurs de développement durable.
- Gestion : adaptation de la comptabilité des entreprises et des administrations de façon à incorporer les coûts techniques de production mais aussi les coûts sociaux et les coûts environnementaux ; aide à l'ingénierie de projets d'innovation technologique (recherche de financement, réalisation d'études technico-financières, analyse de marché, etc.).
- Financement : appui financier à la recherche sous forme de subsides, d'avances, d'exonération fiscale, etc. et appui à l'acquisition d'équipements, soit en entreprises, soit pour les particuliers.

Une *combinaison de mesures d'accompagnement* est souhaitable si l'on veut agir de façon cohérente sur les multiples paramètres qui viennent influencer le changement technique : combinaison de mesures macro- et microéconomiques, de mesures à court terme et long terme, de mesures générales et de mesures ciblées sur des technologies particulières.

La *diffusion technologique* doit être au centre des préoccupations en matière de soutien à l'innovation favorable au développement durable : en effet, s'il y a un relatif consensus sur l'identification de technologies-clés pour favoriser le développement

durable, l'incertitude la plus complète entoure les temps de mise sur le marché et de diffusion à grande échelle de ces technologies. De toute évidence, c'est l'aval du développement technologique qui constitue le principal problème à l'heure actuelle pour le pilotage du changement technique.

L'établissement ou le renforcement de *partenariats public/privé* constituera une voie intéressante pour promouvoir le développement durable au travers du changement technique, car cela permet de s'appuyer sur des mécanismes plus consensuels, participatifs dans la définition des objectifs de durabilité, dans le choix des technologies appropriées et dans l'élaboration de normes fermes tout en étant praticables.

Le cap à maintenir est celui de la *transition vers une économie dématérialisée*. Rendant possible la prolongation de la période d'utilisation des marchandises, le service exerce un impact sur la durée de vie matérielle d'un bien. En développant cette complémentarité entre services et biens, on en vient à mettre l'accent sur la disponibilité, l'usage d'un produit/service. Le raisonnement fondé sur le coût complet d'achat, d'exploitation et de renouvellement d'un produit/service laisse entrevoir l'émergence d'une économie en boucle. Celle-ci pourrait supplanter notre économie linéaire où il est toujours question de valeur ajoutée (exclusivement liée aux activités de production), d'amortissement après le point de vente (autrement dit de dépréciation) et de déchets au terme de la première utilisation des marchandises.

V. Bibliographie

- Adams A., *Environmental policy and competitiveness in a global economy : conceptual issues and a review of the empirical evidence*, OCDE, 1997.
- Akrich M., Callon M., Latour B., *L'art de l'intéressement*, in Vinck D.(coord.), *Gestion de la recherche, nouveaux problèmes, nouveaux outils*, De Boeck, Bruxelles, 1991.
- Altener programme, *The European renewable energy study : prospects for renewable energy in the European Community and Eastern Europe up to 2010- annex 2 : country profiles /Belgium*, Luxembourg, Office for official publications for the European Communities, 1994.
- Amable B., Barré R., Boyer R., *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Economica, Paris, 1997
- Arrow K., *Economic welfare and the allocations of resources for invention*, in Nelson ed. , *The rate and direction of inventive activity*, Princeton, Princeton University Press, 1962.
- Bach L. et Lhuillery S., *Recherche et externalités ,Tradition économique et renouveau*, dans Foray D. et Mairesse J. (sous la dir.), *Innovations et performances, approches interdisciplinaires*, Editions EHESS, Paris, 1999.
- Belgian Academy Council of Applied Sciences (BACAS), *L'énergie dans la Belgique de demain*, Bacas papers, rapport du groupe de travail XX, 1995.
- Bontems P. et Rotillon G., *Economie de l'environnement*, collection Repères, Editions La Découverte, Paris, 1998.
- Bruton T.M. en anderen, *Multi-Megawatt Upscaling of Silicon and Thin Film Solar Cell and module manufacturing (MUSIC FM)*, 1996.
- Bürgenmeier B., Harayama Y. et Wallart N., *Théorie et pratique des taxes environnementales*, Economica, Paris, 1997.
- Caracostas P. et Muldur U., *La science, ultime frontière. Une vision européenne des politiques de recherche et d'innovation pour le XXI^esiècle*, EUR 17655, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, 1997.
- Carraro C. et Siniscalco D., *Environmental Innovation policy and international competition*, in *Environmental and resource economics*, vol2, 1992.
- Chevé M. et Ragot L., *La croissance endogène durable : l'environnement, une nouvelle dimension de l'analyse économique*, Editions Vuibert, 1998.
- Coenen R., Klein-Vielhauer S., Meyer R., *Integrierte Umwelttechnik und wirtschaftliche entwicklung*, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht n°35, Nov. 1995.
- Coenen R., Klein-Vielhauer S., Meyer R., *Umwelt und wirtschaftliche Entwicklung*, TAB, Bundestag, Bonn, 1996.
- Cohendet P., Foray D., Guellec D., Mairesse J., *La gestion publique des externalités positives de recherche*, dans Foray D. et Mairesse J. (sous la dir.), *Innovations et performances, approches interdisciplinaires*, Ed. EHESS, Paris, 1999.
- Commissariat général du Plan, *L'économie face à l'écologie*, La Découverte, Paris, 1993.
- Commission européenne, *Bulletin du Tableau de bord de l'innovation*, n°1, mai 2000, p. 2
- Commission européenne, *Tableau de bord de l'innovation. Politique de l'innovation 2000*, Luxembourg, Office des publications officielles des communautés européennes, 2000.

- Dasgupta P. and Stiglitz J., *Industrial structure and the nature of innovation activity*, in *The Economic Journal*, 1980, nr 90
- Deléage J-P., *Une histoire de l'écologie*, Points/Sciences, Editions du Seuil, Paris, 1994 (chapitres 9 et 10).
- Drouet D., *L'industrie de l'environnement en France*, Armand Colin, Paris, 1997.
- Ecological Economics*, Tenth Anniversary Issues, vol. 28/1-28/2, Elsevier, 1999.
- European Commission- Thermie, *Energy technology, the next steps, summary findings from the Atlas project*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1997.
- European Commission, *European Union Energy outlook to 2020, the shared analysis project*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1999.
- Faucheux S. et Noël J. F., *Les menaces globales sur l'environnement*, Editions La découverte, Paris 1990.
- Faucheux S., Nicolai I., *Les firmes face au développement soutenable : changement technologique et gouvernance au sein de la dynamique industrielle*, dans la *Revue d'économie industrielle*, n°83, 1998.
- Foray D. et Mowery D., *L'intégration de la R&D industrielle : nouvelles perspectives d'analyse*, dans *Revue économique*, n°3, mai 1990, pp.501-530.
- Foray D., *L'économie de la connaissance*, Ed. La Découverte, Paris, 2000
- Giget M., *L'innovation dans l'entreprise*, dans *Techniques de l'ingénieur, traité Généralités*, A 4 010, vol. AG 2, 05/1994, 1994
- Guellec D., *Economie de l'innovation*, La Découverte, Repères, Paris, 1999.
- Hahn R. W. , *Economic Prescriptions for Environmental Problems : How the patient followed the doctor's Orders*, in *Journal of Economic Perspectives*, vol. 3 n°2, 1989.
- Heaton G., *Environmental policies and innovation : an initial scoping study*, Report prepared for the OECD Environment Directorate and Directorate for Science, Technology and Industry, 1997.
- Jaffe A. et Stavins R. N., *Dynamic incentives of environmental regulations : the effects of alternative policy instruments on technology diffusion*, in *Journal of environmental economics and management*, vol. 29, 1996.
- Janssen D., *Vers la société de la connaissance : résultats de l'enquête sur les nouvelles formes de management*, rapport FDE n°98/6, Bruxelles, octobre 1998.
- Jung C., Krutilla K. et Boyd R., *Incentives advanced pollution abatement technology at the industry level : an evaluation policy alternatives*, in *Journal of environmental economics and management*, vol. 29, 1996.
- Kemp R., *Environmental policy and technical change, A comparison of the technological impact of policy instruments*, Edward Elgar Publishing, 1997.
- Kemp R., *Technology and Environmental Policy – Innovation effects of past policies and suggestions for improvement*, OECD, June 2000.
- Kjærboe T., *Preventing prevention : (Why) are cleaner technologies difficult to diffuse ?*, ESST Master Thesis, Roskilde University and FUNDP Namur, 1997
- Kjærboe T., Valenduc G., *La diffusion des technologies environnementales*, dans *La Lettre EMERIT*, n 17, novembre 1997.
- KPMG, *Zonne-energie : van eeuwige belofte tot concurrerend alternatief*, Bureau voor Economische Argumentatie, Hoofddorp, juli 1999.
- Kyriakou D., *Sustainable development : towards a synthesis*, IPTS Technical Report Series, Joint Research Centre, European Commission, Sevilla, 1995.
- Low P. et Yeats A., *Do dirty industries migrate ?*, in *International trade and the environment*, The World Bank, Washington D.C., 1992.

- Malaman R., *Technological innovation for sustainable development : generation and diffusion of industrial cleaner technologies*, Fondazione Enrico Mattei, working paper EEE n°66, 1996.
- Masood E., *L'économie écologique, nouvelle discipline née d'un choc culturel*, dans *Le Monde – Economie*, 9/10/1998.
- Ministère des Affaires Economiques, *Rapport de la Commission pour l'Analyse des Modes de Production de l'Electricité et le Redéploiement des Energies au Secrétaire d'Etat à l'Energie et au Développement durable, Conclusions et recommandations – Résumé exécutif*, Bruxelles , octobre 2000.
- Nelson, *The economics of invention: a survey of literature*, 1959
- OCDE, *Ecotaxes et réforme fiscale verte*, Paris, 1997.
- OCDE, *Evaluer les instruments économiques des politiques de l'environnement*, Paris, 1997
- OCDE, *Instruments économiques pour la protection de l'environnement*, Paris, 1989.
- OCDE, *L'intégration de l'environnement et de l'économie, progrès dans les années 90*, Paris, 1996.
- OCDE, *La fiscalité et l'environnement, des politiques complémentaires*, Paris, 1993.
- OCDE, *Manuel d'Oslo, principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique*, OCDE / Eurostat, 1997.
- OCDE, *Politiques de l'environnement et emploi*, Paris, 1997.
- OCDE, *Stratégies de mise en oeuvre des écotaxes*, Paris, 1996.
- OCDE, *Subsidies and Environment : exploring the linkages*, 1996.
- OECD, *Technology and environment : towards policy integration*, DSTI/STP (99)19/final, Paris, June 1999
- Partidario P., *Le développement d'une technologie axée sur le respect de l'environnement et l'innovation au sein des PME*, in *The IPTS report*, n°19, Novembre 1997.
- Pearce D., Atkinson, G., *Capital theory and measurement of sustainable development, an indicator of weak sustainability*, in *Ecological Economics*, n°8, 1993.
- Poncet C. et Salles J-M., *Les normes constituent-elles des incitations à innover pour les éco-industries ? Une approche en termes de décisions*, dans *Revue d'économie industrielle* n°83, 1998.
- Renn O., Goble R., Kastenholz H., *How to apply the concept of sustainability to a region*, in *Technological forecasting and social change*, North Holland, n°58, 1998.
- Rip A., *Introduction of new technology : making use of recent insights from sociology and economics of technology*, in *Technology Analysis and Management*, vol. 7, n°4, 1995.
- Rogers E., *Diffusion of innovations*, (4th edition), Free Press, New York, 1995.
- Schmidt-Bleek F., *Work in a sustainable economy*, Proceedings of the Telework 94 conference, European Commission, Berlin, 1994.
- Schubert K. et Zagamé P., *L'environnement, une nouvelle dimension de l'analyse économique*, Editions Vuibert, 1998.
- Sibieude S., Sibieude T., *Les rouages économiques de l'environnement*, Editions de l'Atelier, Paris, 1993.
- Soete L. and Arundel A. (Eds.), *An integrated approach to European innovation and technology diffusion policy- A Maastricht Memorandum*, EUR 15090, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1993
- Sørup P., *The role of technology in sustainable development*, in the Proceedings of the conference of the Spanish presidency of the European Union on Research, Technology and Employment, El Escorial, 1995.
- Spannenberg J., Bonniot O., *Sustainability indicators, a compass on the road towards sustainability*, Wuppertal Paper n°81, February 1998.

- Tils C. et Sørup P., *Biotechnology as a cleaner production technology in pulp and paper*, in *The IPTS report*, n°16, July 1997.
- Valenduc G. Vendramin P., *Le travail au vert – innovation, environnement et emploi*, Editions EVO, Bruxelles, 1996.
- Valenduc G., Vendramin P., Marion J.-Y., Berloznik R., Vancolen D., Van Rensbergen J., *Développement durable et recherche scientifique*, SSTC et CNDD, Bruxelles, mars 1996.
- Valenduc G., Vendramin P., *Science, technological innovation and sustainable development*, in the Proceedings of the Conference "Science for a Sustainable Society", Roskilde (DK), Oct. 1997.
- Van Hauwermeiren S., *Manual de Economía Ecológica*, Instituto de Ecología Política, Santiago de Chile, 1998.
- Vivien F-D., *Economie et écologie*, Repères, Ed. La Découverte, Paris, 1994.
- Von Weizsäcker E.U., Lovins A.B., Lovins L.H., *Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources*, Rapport au Club de Rome, 1997.
- Von Weizsäcker E.U., *Sustainable growth with a new generation of technologies*, contribution à la conférence *Développement durable : les chaînons manquants entre la politique et la mise en œuvre économique*, Fondation Roi Baudouin, Bruxelles, octobre 1996.
- World Business Council for Sustainable Development, *Building a better future : innovation, technology and sustainable development*, Progress Report, Geneva, June 2000.

Table des matières

<u>I. PRÉSENTATION DE LA RECHERCHE</u>	3
<u>1. OBJECTIFS ET ENJEUX DE LA RECHERCHE</u>	3
<u>2. PLACE DE LA RECHERCHE DANS LE PROGRAMME “LEVIERS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE”</u>	5
<u>3. INSERTION INTERNATIONALE</u>	5
<u>II. ASPECTS CONCEPTUELS ET MÉTHODOLOGIQUES</u>	7
<u>1. LE CONCEPT D’INNOVATION TECHNOLOGIQUE FAVORABLE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE</u>	7
<u>1.1. Technologie et innovation</u>	7
<u>1.2. La nature de l’innovation technologique favorable au développement durable</u>	10
<u>1.2.1. Technologies additives ou technologies intégrées ?</u>	10
<u>1.2.2. Innovations incrémentales ou innovations radicales ?</u>	12
<u>1.3. Le statut de l’innovation technologique dans les théories du développement durable</u>	13
<u>1.3.1. Les théories économiques du développement durable</u>	13
<u>1.3.2. La notion de croissance qualitative</u>	15
<u>1.3.3. L’approche “écosystémique” du développement durable</u>	15
<u>1.4. Le rôle nécessaire, mais non suffisant, de l’innovation technologique</u>	17
<u>1.5. Technologie et développement durable : terminologie et définitions opérationnelles</u>	18
<u>2. MÉTHODE DE TRAVAIL</u>	20
<u>2.1. Tâches de recherche</u>	20
<u>2.2. Méthodologie</u>	21
<u>III. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS</u>	22
<u>1. LE CONTEXTE : POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES ET POLITIQUES D’INNOVATION</u>	22
<u>1.1. Les impacts sur l’innovation technologique des instruments des politiques environnementales</u>	22
<u>1.1.1. L’impact des instruments économiques</u>	22
<u>1.1.2. L’impact des instruments réglementaires</u>	23
<u>1.2. Les réponses technologiques aux politiques environnementales</u>	24
<u>1.3. Les relations entre politiques environnementales et innovation technologique : modularité et flexibilité</u>	26
<u>2. LES STRATÉGIES D’INNOVATION DES ENTREPRISES</u>	28
<u>2.1. Enquête sur la “vitrine” de l’innovation technologique soutenable</u>	28
<u>2.1.1. Méthodologie</u>	28
<u>2.1.2. Principaux résultats</u>	30

2.2.	<i>Etudes de cas dans des entreprises innovantes</i>	31
2.2.1.	<i>Méthodologie</i>	31
2.2.2.	<i>Brève présentation des onze entreprises étudiées</i>	33
2.2.3.	<i>Caractérisation des comportements innovateurs</i>	34
2.2.4.	<i>Analyse transversale des résultats des études de cas</i>	36
2.3.	<i>Analyse de résultats d'enquêtes existantes sur l'innovation</i>	39
2.3.1.	<i>Les résultats partiels de l'enquête CIS-2 en Belgique</i>	39
2.3.2.	<i>L'enquête de la Fondation de l'Entreprise sur les nouvelles formes de management</i>	43
2.3.3.	<i>L'enquête réalisée par le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)</i>	44
2.3.4.	<i>Les principaux enseignements à tirer de ces enquêtes</i>	46
3.	<u>LA STIMULATION DE L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE FAVORABLE AU DÉVELOPPEMENT DURABLE</u>	48
3.1.	<i>Les principaux instruments de stimulation de l'innovation technologique</i> ..	48
3.1.1.	<i>Les dimensions du changement technologique</i>	48
3.1.2.	<i>Les défis du développement durable pour les politiques d'innovation</i>	49
3.1.3.	<i>Les instruments de stimulation de l'innovation</i>	50
3.2.	<i>Un aperçu de vingt programmes de stimulation de l'innovation technologique contribuant au développement durable</i>	52
3.2.1.	<i>Méthodologie</i>	52
3.2.2.	<i>Présentation des résultats de l'inventaire</i>	53
3.2.3.	<i>Observations transversales</i>	56
3.3.	<i>L'expérience des centres de recherche industrielle à vocation collective en Belgique</i>	57
3.3.1.	<i>La place du développement durable dans les centres de recherche industrielle à vocation collective</i>	58
3.3.2.	<i>Le potentiel des centres de recherche industrielle et les obstacles rencontrés</i>	59
3.4.	<i>Un domaine technologique emblématique : l'électricité et les énergies renouvelables</i>	59
3.4.1.	<i>Les enseignements du programme ATLAS</i>	60
3.4.2.	<i>La promotion des sources d'énergie renouvelable dans la production d'électricité</i>	61
3.5.	<i>Une évaluation des dispositifs de stimulation de l'innovation</i>	63
3.5.1.	<i>Constat global</i>	63
3.5.2.	<i>Les chaînons manquants et les maillons faibles</i>	65
3.5.3.	<i>Les défis du développement durable sont-ils rencontrés ?</i>	65
IV.	<u>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</u>	67
1.	<u>PRINCIPALES CONCLUSIONS DE LA RECHERCHE</u>	67
1.1.	<i>De la "technologie soutenable" au processus d'innovation</i>	67
1.2.	<i>L'interaction entre les politiques environnementale et l'innovation technologique : une grande flexibilité</i>	67
1.3.	<i>Les stratégies des entreprises : une diversité qui cache la perplexité</i>	68
1.4.	<i>La stimulation de l'innovation technologique : tendances fortes, chaînons manquants et maillons faibles</i>	68

<u>2. RECOMMANDATIONS</u>	69
<u>2.1. Relever les défis du développement durable</u>	70
<u>2.1.1. Mesures pour combler l'écart entre rendement privé et rendement social des investissements en R&D</u>	70
<u>2.1.2. Mesures de soutien à la diffusion de technologies propres et sobres</u>	70
<u>2.1.3. Mesures de sauvegarde de la diversité technologique</u>	71
<u>2.1.4. Mesures visant le renforcement des compétences à long terme</u>	71
<u>2.1.5. Mesures pour encourager la participation citoyenne</u>	72
<u>2.1.6. Mesures de mise en cohérence des acteurs</u>	72
<u>2.2. Intervenir tout au long du processus d'innovation</u>	72
<u>V. BIBLIOGRAPHIE</u>	75
<u>TABLE DES MATIÈRES</u>	79

