

STI

REVUE
N° 25

SCIENCE TECHNOLOGIE INDUSTRIE

Numéro spécial : « Le développement durable »

Introduction

Technologie et développement durable

Technologie, prix et efficacité énergétique

Stimuler l'innovation environnementale

Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle

Vérification des nouvelles technologies environnementales

Classifier l'industrie des biens et services environnementaux

Les achats publics de technologies respectueuses du climat

La coopération technologique pour un développement durable

La responsabilité des entreprises et le développement durable

Notification par l'industrie des polluants de l'environnement

Politique à l'égard des consommateurs et consommation écologiquement viable

E

D

O

O

© OCDE, 2000

© Logiciel, 1987-1996, Acrobat, marque déposée d'ADOBE.

Tous droits du producteur et du propriétaire de ce produit sont réservés. L'OCDE autorise la reproduction d'un seul exemplaire de ce programme pour usage personnel et non commercial uniquement. Sauf autorisation, la duplication, la location, le prêt, l'utilisation de ce produit pour exécution publique sont interdits. Ce programme, les données y afférentes et d'autres éléments doivent donc être traités comme toute autre documentation sur laquelle s'exerce la protection par le droit d'auteur.

Les demandes sont à adresser au :

Chef du Service des Publications,
Service des Publications de l'OCDE,
2, rue André-Pascal,
75775 Paris Cedex 16, France.

N° 25

STI REVUE

Numéro spécial :
Le développement durable



ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996) et la Corée (12 décembre 1996). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

Also available in English under the title:

STI REVIEW
Special Issue on Sustainable Development
No. 25

© OCDE 2000

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France, Tél. (33-1) 44 07 47 70, Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation de reproduction ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

AVANT-PROPOS

Préparée par la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE, la *STI Revue* est publiée deux fois par an. Elle présente des études intéressantes pour les responsables politiques et les analystes concernés par les développements scientifiques, technologiques et industriels, en mettant l'accent sur les comparaisons entre pays, les analyses quantitatives des tendances nouvelles et les questions de politique récentes ou à venir. Suivant la nature des travaux de l'OCDE, la *STI Revue* examine les changements structurels et institutionnels qui se produisent tant au niveau global que régional, national et local. Certains numéros portent sur des thèmes spécifiques, comme les enquêtes sur le comportement innovateur des firmes ou les problèmes d'emploi liés à la technologie.

Ce numéro de *STI Revue* examine les aspects du développement durable qui touchent à l'industrie et à la technologie. Les articles témoignent du large éventail des travaux en cours dans les différents secteurs de l'OCDE en vue d'étudier et d'analyser les politiques et les programmes en faveur du développement durable. Ces recherches s'inscrivent également dans le cadre du projet triennal de l'OCDE sur le développement durable, une initiative concertée des différentes directions et composantes de l'Organisation qui aboutira en juin 2001 à la publication d'un rapport complet. Une attention particulière est accordée aux aspects économiques du développement durable, et notamment aux cadres économiques de la technologie et de l'innovation. Les pouvoirs publics doivent veiller à ce que les conditions soient réunies pour encourager l'investissement de l'industrie dans les technologies propres et les stratégies de management environnemental. Leur contribution passe aussi par le financement de la recherche fondamentale qui est à la base de l'innovation, par le développement et la diffusion de technologies et par les « marchés publics écologiques ».

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'Organisation ou de ses pays Membres. La *STI Revue* est publiée sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction <i>Candice Stevens</i>	7
Technologie et développement durable <i>Sous-groupe de l'OCDE sur la technologie et le développement durable</i>	13
Technologie, prix et efficacité énergétique <i>Faith Birol et Jan Horst Keppler</i>	31
Stimuler l'innovation environnementale <i>Yukiko Fukasaku</i>	51
Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle <i>Michael Griffiths et Salomon Wald</i>	73
Vérification des nouvelles technologies environnementales <i>George Heaton</i>	111
Classifier l'industrie des biens et services environnementaux <i>Graham Vickery et Maria Iarrera</i>	137
Les achats publics de technologies respectueuses du climat <i>Sara Eppel</i>	161
La coopération technologique pour un développement durable <i>Andrew Dearing</i>	183
La responsabilité des entreprises et le développement durable <i>Voula Mega</i>	201
Notification par l'industrie des polluants de l'environnement <i>Claudia Fenerol</i>	219
Politique à l'égard des consommateurs et consommation écologiquement viable <i>Ilkka Cantell et Mats Ericsson</i>	237

INTRODUCTION

La notion de développement durable trouve son origine dans les publications scientifiques, où elle signifie qu'une ressource naturelle doit être gérée de manière à préserver sa capacité de reproduction. Elle a aujourd'hui acquis un sens plus large, qui implique que les objectifs d'accroissement de l'efficacité économique et de la richesse matérielle doivent prendre en compte les préoccupations sociales et environnementales dans le cadre plus général de l'action gouvernementale. Le projet triennal de l'OCDE sur le développement durable vise à rendre cette notion utilisable dans l'action des pouvoirs publics. La démarche consiste à aborder le développement durable comme un grand dossier économique, qui exige que l'on modifie les incitations économiques pour y intégrer les préoccupations environnementales et sociales.

Un obstacle majeur à la réalisation d'un développement économique durable tient à l'existence de coûts externes d'environnement et à la tarification inadaptée de beaucoup de moyens de production et de biens et services. Les deux premiers articles de ce numéro démontrent que ces défaillances du marché entravent l'investissement dans les technologies propres. Le *Sous-groupe de l'OCDE sur la technologie et le développement durable* résume les résultats de plus d'un an d'études consacrées aux liens entre la technologie et le développement durable. La technologie sera primordiale pour répondre aux besoins des générations présentes et futures et pour dissocier la croissance économique de la dégradation de l'environnement. Cependant, l'évolution technologique requise n'est pas automatique. Les défaillances du marché, notamment en matière d'information et de signaux-prix, risquent de freiner le développement des technologies qui vont dans le sens du développement durable au lieu de le stimuler. Il appartient aux pouvoirs publics d'améliorer les conditions-cadre, de façon à donner aux entreprises les signaux-prix et les incitations appropriés et à influencer sur la sensibilisation et le comportement des consommateurs par rapport aux problèmes d'environnement.

Pour améliorer leur fonction indicatrice, il faut faire en sorte que les prix pratiqués traduisent mieux l'ensemble des coûts et des avantages marginaux de différentes solutions techniques pour la collectivité. Cette démarche passe en partie par la suppression des subventions, la modification des niveaux d'imposition relatifs et la réforme de diverses interventions inopportunes des pouvoirs

publics. Par exemple, les aides publiques (notamment au titre de l'énergie) peuvent non seulement exacerber l'emploi excessif d'intrants ou la surproduction, mais aussi verrouiller les technologies actuelles, qui manquent souvent d'efficacité. Les taxes et les redevances d'utilisation exigées pour certains biens collectifs (tels que l'eau et les transports) ne couvrent pas nécessairement les dépenses publiques d'infrastructure, ni les coûts liés à la santé et à l'environnement, et découragent les velléités d'investissement dans d'autres solutions. En plus d'assurer la «vérité des prix», il importe de veiller à une meilleure intégration des politiques de la technologie et de l'environnement pour stimuler le développement de technologies propres et de solutions plus intégrées de prévention de la pollution.

Cette double approche – correction des prix et mise en œuvre de programmes technologiques volontaristes – est examinée dans le contexte du secteur de l'énergie par *Birol et Keppeler*. L'amélioration de l'efficacité énergétique revêt une importance particulière, car la plupart des pays de l'OCDE se sont engagés dans le cadre du Protocole de Kyoto à diminuer d'ici 2012 de 6 % en moyenne leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de 1990. Des technologies plus efficaces sont indispensables pour réduire l'intensité énergétique sans affaiblir la croissance économique. Un recours averti aux instruments économiques – avec notamment la diminution des subventions et l'alourdissement de la fiscalité – pourrait aboutir à une tarification plus judicieuse de l'énergie et à une baisse de sa consommation. Toutefois, cela n'enlève rien à l'importance des investissements publics dans la recherche et dans le développement et la diffusion de technologies, qui sont tout aussi essentiels pour améliorer l'efficacité énergétique à long terme.

Pour *Fukasaku*, l'innovation est un aspect capital de la réponse de l'industrie aux réglementations environnementales et peut contribuer à la compétitivité au niveau de l'entreprise. On peut ici établir un parallèle avec la nouvelle théorie de la croissance, selon laquelle l'innovation et l'évolution technique induite sont parmi les principaux moteurs de la croissance économique. Le système de valeurs socio-économiques qui est à la base de la trajectoire technologique actuelle paraît évoluer vers une plus grande internalisation des coûts sociaux, et notamment des effets externes sur l'environnement. Les nouveaux profils de croissance reposant sur des facteurs structurels comme la technologie peuvent s'accroître si les innovations sous-jacentes sont elles aussi durables. Cependant, l'innovation au service de la durabilité écologique offre un parfait exemple des défaillances systémiques et des défaillances du marché qui pourraient justifier une intervention des pouvoirs publics.

Le recours accru à la biotechnologie en tant qu'instrument du développement durable est tributaire de nouvelles recherches et d'une meilleure acceptation de la part des consommateurs, constatent *Griffiths et Wald*. Les applications industrielles

de la biotechnologie ont suscité relativement peu de polémiques, même dans l'industrie alimentaire où des procédés de biocatalyse sont mis en place dans un souci de production plus propre. La biotechnologie industrielle remplace des catalyseurs et procédés de transformation traditionnels – dont beaucoup sont très polluants – par d'autres, modernes et respectueux de l'environnement, qui font appel à des organismes vivants. Elle a pour objectif de réduire la consommation intermédiaire, par exemple de matières premières et d'énergie, et d'éliminer ou du moins d'atténuer la production de déchets dans des secteurs aussi divers que l'industrie pharmaceutique ou la métallurgie. Comme la biotechnologie industrielle peut aussi accroître le rendement d'utilisation des ressources, abaisser les coûts de production et, partant, renforcer la compétitivité, un nombre croissant de secteurs y recourent pour améliorer leur durabilité.

Les articles suivants démontrent l'utilité de certains types de programmes publics dès lors qu'ils poursuivent un but en rapport avec l'environnement. *Heaton* analyse les programmes de vérification des technologies environnementales, un phénomène relativement récent et pour l'instant confiné essentiellement à l'Amérique du Nord. Ces programmes financés par les pouvoirs publics consistent à mettre à l'essai les nouvelles technologies environnementales, à démontrer leur apport dans le cadre de différents procédés et contextes industriels, et à les aider à franchir les premiers obstacles réglementaires. Ils ont été une aubaine pour les fournisseurs de technologies d'une industrie des biens et services environnementaux qui, comme l'expliquent *Vickery et Iarrera*, est en passe de faire l'objet d'une véritable classification. Grâce à un effort conjoint de l'OCDE et d'Eurostat dans le domaine des statistiques, on entrevoit en effet la fin des problèmes de mesure qui rendaient jusqu'ici difficile le calcul de la véritable contribution économique de ce nouveau secteur de croissance.

Le rôle des autorités ne se limite pas au développement et à la diffusion de technologies propres – les administrations publiques doivent aussi devenir des consommateurs avisés de biens et de services. *Eppel* plaide la cause des « marchés publics écologiques », grâce auxquels les pouvoirs publics donnent le bon exemple au secteur privé et à la collectivité. Dans son étude réalisée dans le cadre de l'Initiative Technologie et Climat (ITC), elle analyse comment les administrations publiques pourraient axer leur pouvoir d'achat considérable sur les technologies respectueuses du climat, montrant la voie à suivre et stimulant le développement des marchés. En privilégiant ces technologies qui s'appuient sur les énergies renouvelables et améliorent l'efficacité énergétique, on conférerait un caractère écologiquement correct aux achats publics de biens aussi variés que les chaudières, les fenêtres, les ordinateurs ou les véhicules. S'ils ne donnent pas l'exemple, les pouvoirs publics auront bien du mal à prôner à l'extérieur un comportement soucieux de l'environnement.

Le rôle de l'industrie et de la collectivité dans le processus de développement durable est examiné plus en détail dans les articles suivants. *Dearing* présente le point de vue du Conseil mondial des entreprises pour le développement durable sur la coopération technologique avec les pays en développement. Après avoir mis l'accent sur le transfert de technologie, on privilégie désormais le développement des capacités, qui doit permettre à ces pays d'identifier, d'adapter et d'appliquer eux-mêmes les technologies propres qui correspondent à leurs besoins. Au travers des investissements qu'il opère dans ces pays et des compétences qu'il aide à développer, le secteur privé peut grandement contribuer à la diffusion des technologies dans le monde.

Cette évolution est symptomatique d'un sentiment de responsabilité à l'égard de la société qui, explique *Mega*, est de plus en plus répandu parmi les entreprises. Celles-ci sont toujours plus nombreuses à se doter de stratégies de management environnemental et à effectuer des investissements écologiques, à la fois pour devancer la réglementation et pour améliorer leur efficacité et leur compétitivité. La multiplication des codes de conduite des entreprises – tels que les Principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales ou la Charte des entreprises pour le développement durable de la CCI – est également un phénomène significatif. Selon les cas, ces codes sont établis par les pouvoirs publics ou le secteur privé et ont une portée sectorielle, nationale ou internationale. Toutefois, on ne sait pas dans quelle mesure les principes sont traduits en actes et reflètent, au-delà d'une campagne de relations publiques, une véritable adhésion au développement durable.

En revanche, on a du mal à imaginer comment, pour les entreprises, la notification d'informations normalisées – et rendues publiques – sur les polluants qu'elles rejettent dans l'environnement pourrait avoir des retombées favorables en termes de relations publiques. Cela n'a pas empêché, explique *Fenerol*, les pouvoirs publics de plusieurs pays d'instaurer des systèmes de notification des polluants industriels tantôt facultatifs, tantôt obligatoires. En l'occurrence, les données sont communiquées par les sources de pollution. Elles permettent de constituer une base de données environnementales sur les rejets potentiellement nuisibles dans l'air, l'eau et les sols, ce qui est d'une grande utilité pour la planification industrielle et la surveillance de l'industrie par les pouvoirs publics. Apparus aux États-Unis, ces systèmes reposent sur la notion du « droit de savoir » de la collectivité.

Le rôle des consommateurs dans le développement durable est le sujet de l'article proposé par *Cantell et Ericsson*. La consommation durable est un aspect important mais trop souvent négligé du développement durable. Pourtant, la révolution du développement durable n'aura pas lieu sans une profonde transformation des comportements collectifs à l'égard des biens consommés, des déchets produits, des moyens de transport employés, etc. Si la plupart des consommateurs

se déclarent prêts à payer pour la protection de l'environnement, à trier leurs déchets en vue du recyclage et à acheter écologique, ils ne font en réalité que peu d'efforts pour modifier leurs modes de consommation. De leur côté, les pouvoirs publics tentent de sensibiliser les consommateurs par des campagnes d'éducation et des programmes d'éco-étiquetage, par exemple. Pour que l'effet soit plus tangible, il conviendrait de modifier les prix relatifs des biens et des services, de façon à ce qu'ils traduisent mieux leurs coûts et leurs avantages pour l'environnement et qu'ils contribuent à orienter les comportements de consommation vers plus de durabilité.

Candice Stevens

TECHNOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Table des matières

I. Introduction.....	14
II. Rôle de la technologie.....	15
III. Mise en place de conditions-cadre.....	16
IV. Formulation de politiques de l'environnement.....	20
V. Mise au point de technologies respectueuses de l'environnement.....	21
VI. Questions internationales.....	27
Bibliographie.....	29

Le présent article a été rédigé par le Sous-groupe de l'OCDE sur la technologie et le développement durable. Il est extrait du rapport d'étape 1999 du Projet triennal de l'OCDE sur le développement durable.

I. INTRODUCTION

La technologie est l'un des thèmes traités dans le Projet de l'OCDE sur le développement durable auquel participent la plupart des Directions de l'Organisation (à savoir : Affaires économiques, Environnement, Agriculture, Science et technologie), l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN). Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une activité triennale visant à formuler des recommandations pratiques destinées à permettre aux gouvernements des pays Membres d'atteindre des objectifs de développement durable. Cette activité horizontale a pour finalité implicite d'assurer la cohérence des politiques qui seront adoptées pour traiter les questions de développement durable. Elle donnera lieu à l'organisation d'une série d'ateliers et de conférences interdisciplinaires ainsi qu'à l'établissement de rapports analytiques. Un rapport d'orientation sera présenté à la réunion du Conseil de l'OCDE au niveau des ministres en 2001.

Le Projet de l'OCDE sur le développement durable étudiera, entre autres, les domaines technologiques suivants : *i)* les concepts d'éco-efficience et d'utilisation rationnelle des ressources, et leurs rapports avec la notion de développement durable, y compris la mise au point d'indicateurs à appliquer aux pays, aux secteurs et aux technologies; *ii)* la meilleure façon dont les systèmes d'innovation et la formulation des politiques et des réglementations en matière de protection de l'environnement peuvent offrir les conditions et les incitations nécessaires pour promouvoir l'innovation liée au domaine de l'environnement; *iii)* les technologies spécifiques et leur contribution au développement durable, y compris l'énergie nucléaire et la biotechnologie; *iv)* les études de cas sur la manière dont les entreprises intègrent des objectifs écologiques dans leur stratégie de gestion, notamment par l'investissement dans des technologies propres; et *v)* les moyens de faciliter la collaboration internationale dans les domaines de la recherche et du développement portant sur des problèmes et des technologies liés à l'environnement. La suite du présent document reflète le point de vue de l'OCDE sur le rôle que technologie et innovation sont susceptibles de jouer dans le développement durable, vision exposée dans le Rapport d'étape 1999 aux ministres de l'OCDE (OCDE, 1999a).

II. RÔLE DE LA TECHNOLOGIE

La technologie peut contribuer de façon déterminante à réaliser les objectifs du développement durable, et notamment à faire en sorte que la croissance économique, mesurée par le PIB, ne soit plus inévitablement synonyme de dégradation de l'environnement et d'utilisation non durable des ressources. Aucune réduction significative de l'intensité énergétique, de la consommation de matières et des émissions polluantes ne pourra être réalisée sans une amélioration technologique des produits et des procédés, ni sans une évolution des comportements et des modes d'organisation. Parallèlement, ces avancées peuvent concourir à une amélioration des performances et de la compétitivité de l'industrie. En outre, l'évaluation et la résolution des problèmes d'environnement d'ampleur planétaire (perte de diversité biologique, modification du climat, appauvrissement de la couche d'ozone et désertification) exigeront la plus grande maîtrise scientifique et technique.

Cependant, l'évolution technologique requise n'est pas automatique. Selon les théories classiques de la croissance, les nouvelles technologies sont une *variable exogène*, qui vient de l'extérieur au moment opportun et au coût approprié. Dans la réalité, les défaillances du marché (information insuffisante ou signaux-prix inadéquats) risquent de freiner le développement des technologies durables au lieu de le stimuler. Ainsi, les producteurs et les consommateurs ne sont pas nécessairement avertis des impacts sur l'environnement de certains produits et activités. Les prix de nombreux biens et services ne reflètent souvent pas le niveau d'utilisation des ressources ou les externalités environnementales et sociales. En conséquence, les solutions de remplacement nouvelles sont souvent plus chères que les technologies classiques. La mise au point de nouvelles technologies moins polluantes et de stratégies intégrées implique généralement des coûts élevés et de longs délais. Lorsque les avantages sont plutôt publics que privés, les investissements industriels sont insuffisants et l'innovation technologique inadaptée. Faire en sorte que les prix donnent des signaux appropriés permettrait d'accroître les investissements dans les technologies propres.

Les *théories de la croissance endogène* admettent que l'évolution technologique résulte de processus identifiables qui comprennent les investissements des entreprises et les politiques publiques (Aghion et Howitt, 1997). Dans ce contexte, les gouvernements ont un rôle important à jouer pour ce qui est d'assurer la vérité des prix et de créer un climat favorable à l'innovation dans le domaine de l'environnement. De fait, l'infrastructure économique, juridique et matérielle détermine largement le niveau et la structure de divers facteurs : recherche et développement, interactions institutionnelles, éducation et formation, investissements et financement, communications, etc. Deux autres éléments influencent fortement le climat de l'innovation : les paramètres liés au marché, comme les tendances de la

consommation, et les réglementations publiques. De manière générale, les conditions-cadre pour le développement durable doivent être élaborées dans le contexte d'un arbitrage entre l'accroissement du bien-être matériel, d'une part, et les défis écologiques et sociaux à long terme et les actions nécessaires pour y faire face, d'autre part.

Les pouvoirs publics ont aussi un rôle plus direct à jouer dans la conception et la diffusion de technologies pour le développement durable et dans le financement de la recherche fondamentale qui sous-tend l'innovation. Actuellement, un nombre croissant de projets de recherche menés en partenariat avec le secteur privé visent à développer des technologies. Dans le même temps, les pouvoirs publics peuvent agir de façon à favoriser une utilisation plus large des technologies de valeur existantes. Par exemple, les technologies permettant de répondre aux objectifs du Protocole de Kyoto en matière de réduction des gaz à effet de serre sont pour la plupart disponibles aujourd'hui, mais une action des gouvernements est nécessaire pour assurer leur utilisation à une plus grande échelle (encadré 1). Au niveau international, les gouvernements doivent collaborer pour promouvoir l'utilisation de technologies moins polluantes à l'échelle mondiale, mais également pour faire face aux problèmes écologiques d'ampleur planétaire.

III. MISE EN PLACE DE CONDITIONS-CADRE

Il est possible de promouvoir les avancées technologiques favorables au développement durable en incorporant des critères sociaux et écologiques dans les systèmes d'innovation. Les entreprises sont le moteur de l'innovation et leurs performances dépendent des incitations qu'elles reçoivent de l'environnement économique et réglementaire. Par exemple, il est peut-être utile de réformer certains éléments des *régimes de droits de propriété intellectuelle*, de façon qu'ils stimulent l'innovation tout en permettant la diffusion des technologies, des *politiques de la concurrence*, de façon qu'elles encouragent une saine émulation tout en ménageant la possibilité d'une recherche en collaboration, des *politiques de l'éducation et de la formation*, de façon à développer le capital humain en continu, des *politiques financières et fiscales*, de façon à accroître les capitaux disponibles pour les petites entreprises innovantes, ainsi que des *politiques de communication*, de façon à accroître la circulation de l'information.

En outre, une meilleure compréhension des processus d'innovation peut faciliter l'élaboration de technologies favorables au développement durable.

Aujourd'hui, grâce à une compréhension plus fine de la nature du processus d'innovation, on a une nouvelle vision de ce que doit être le rôle des pouvoirs publics (OCDE, 1997). Les instruments spécifiques de la politique scientifique et technique sont ainsi adaptés dans un cadre plus large qui met en avant

Encadré 1. Technologies énergétiques et changement climatique

En signant le Protocole de Kyoto, les gouvernements des pays Membres de l'OCDE qui figurent à l'annexe I se sont engagés à agir pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. La technologie jouera un rôle important dans la réalisation des objectifs de réduction des émissions, et peut contribuer à en réduire le coût. Parmi les principales technologies énergétiques, citons les grandes éoliennes, l'énergie photovoltaïque, l'électro-nucléaire, les turbines à cycle combiné alimentées au gaz naturel et les piles à combustibles pour les transports et la production d'électricité.

L'adoption de ces technologies se fait lentement. Le perfectionnement et la commercialisation des nouvelles technologies énergétiques imposent des délais très longs. Pour l'industrie, les investissements dans des équipements de remplacement, plus respectueux de l'environnement, sont lourds et ne sont réalisés que périodiquement. La plupart des technologies énergétiques offrant des performances environnementales élevées sont plus coûteuses que les techniques actuelles. Enfin, du fait que les prix des combustibles fossiles sont relativement bas, leur remplacement ne peut se justifier en termes de coûts que dans une optique collective. Assurer la vérité des prix des intrants énergétiques contribuera donc à l'adoption des technologies apprôpiées.

Pour la plupart, les technologies qu'il convient d'employer pour tenir les objectifs fixés à Kyoto sont déjà disponibles aujourd'hui, mais il faudra peut-être que les gouvernements prennent des initiatives pour assurer leur mise en œuvre à grande échelle. Des programmes de démonstration et de diffusion peuvent ainsi faire connaître et mettre à disposition plus largement les technologies énergétiques propres. De même, des programmes de vérification et de certification peuvent aider certaines technologies énergétiques plus expérimentales à franchir les derniers obstacles techniques et réglementaires. Des partenariats de R-D avec l'industrie peuvent accélérer l'émergence de nouvelles technologies énergétiques. Les programmes d'achats publics peuvent contribuer à engager le développement technologique dans une voie écologiquement viable. Enfin, des initiatives financières et fiscales peuvent hâter l'adoption de techniques énergétiques innovantes.

Au-delà du Protocole de Kyoto, des objectifs de réduction des émissions toujours plus ambitieux seront nécessaires. Or, les technologies actuelles, y compris les plus en pointe, ne permettront peut-être pas d'y répondre. A long terme, pour réduire les émissions, il faudra mener des travaux de recherche fondamentale sur des technologies énergétiques de substitution. L'évolution des pratiques de consommation énergétique contribuera aussi à mettre le monde sur la voie de la réduction des émissions. Il appartient aux gouvernements de promouvoir les technologies et les comportements de nature à modifier le lien fondamental entre l'offre de services énergétiques et la dégradation de l'environnement. Il leur faut donc œuvrer ensemble pour faire face aux coûts de R-D associés aux technologies indispensables pour répondre aux problèmes écologiques d'importance planétaire.

Source : OCDE, 1999a.

l'importance de la cohérence des politiques et des interrelations au sein des systèmes d'innovation. Les mesures qui ont pour objectif de promouvoir la recherche en collaboration, de faciliter la création de réseaux et de groupements d'entreprises, d'encourager les liens institutionnels, de diffuser les technologies et d'accroître la mobilité du personnel prennent ainsi une nouvelle importance. Toutefois, le succès de ces approches dépend du contexte global de l'action des pouvoirs publics, qui englobe les conditions à la fois macro-économiques et structurelles. Par ailleurs, le principe de la cohérence des politiques implique une meilleure intégration des politiques de la technologie et de l'environnement, ainsi qu'une meilleure coordination entre les différents organismes chargés de ces domaines. Par exemple, certaines stratégies récemment adoptées en matière d'innovation environnementale s'appuient sur le concept des « *grappes spécialisées dans l'environnement* » (encadré 2).

La demande de technologie de la part des consommateurs et des marchés est incontestablement l'une des conditions-cadre essentielles pour l'innovation en faveur du développement durable. Bien souvent, ce n'est pas un manque de recherche, mais une demande insuffisante, ainsi qu'une structure des prix incorrecte, qui limitent le progrès technologique. En l'absence de marché rémunérateur, l'industrie n'est aucunement incitée à produire des biens respectueux de l'environnement ou à investir dans des processus de production moins polluants. A long terme, le passage à des pratiques de consommation évitant le gaspillage imposera de modifier les modes de vie et de travail actuels, ainsi que les habitudes à forte intensité de ressources qui prédominent aujourd'hui. La recherche met en évidence une prise de conscience croissante des questions d'environnement chez les consommateurs, qui ne s'est toutefois pas encore traduite par une évolution profonde des modes de vie et de consommation. Si les investissements à caractère écologique commencent à se révéler payants sur le marché, il conviendrait néanmoins que les politiques publiques s'efforcent d'accélérer la tendance et de renforcer l'effet moteur du marché.

Les gouvernements prennent des initiatives pour orienter le comportement des consommateurs vers des modes plus favorables à l'environnement. Ils peuvent ainsi appliquer des normes de produits, volontaires ou obligatoires, qui visent à promouvoir les économies en eau et énergie. Par le biais de la fiscalité, ils peuvent réduire la consommation de certains produits nocifs (piles ou carburants, par exemple) et encourager la mise au point de substituts. Ils peuvent aussi apporter leur soutien aux programmes d'éco-étiquetage qui informent les consommateurs des caractéristiques écologiques des produits et procédés, et élargissent ainsi leurs choix. Ils peuvent encourager la notification par les entreprises de leurs niveaux d'émissions et des incidences sur l'environnement de leurs activités, et favoriser un plus large accès du public à ces informations. Toujours pour favoriser la durabilité, ils peuvent recourir à des procédures de marchés publics

Encadré 2. Encourager les grappes spécialisées dans l'environnement

Globalement, l'innovation est essentiellement produite au sein de grappes d'entreprises qui entretiennent des relations d'interdépendance. Il est rare que les entreprises innovent isolément. En fait, elles interagissent avec d'autres entreprises, des fournisseurs spécialisés, des prestataires de services, des sociétés dans des secteurs connexes, et des organismes associés tels que les universités et instituts de recherche. L'organisation de ces grappes s'articule autour de plusieurs éléments : diffusion du savoir, marchés de travail unifiés, et échanges de produits et de technologie. Comme le montre l'exemple de la Silicon Valley, ces grappes s'épanouissent généralement au point de rencontre de différents facteurs : climat propice à l'esprit d'entreprise, disponibilité de capital-risque, et infrastructure universitaire ouverte sur l'entreprise. Le cas échéant, ces grappes peuvent aussi naître de conditions naturelles favorables liées à la géographie ou aux ressources naturelles. Indiscutablement, les grappes innovantes s'imposent comme des moteurs de la croissance et de l'emploi, à telle enseigne qu'ils déterminent le rythme et l'orientation du développement de régions, d'industries, voire de pays entiers. Les gouvernements peuvent agir sur le développement de ces grappes : les politiques régionales et locales, ainsi que les programmes de développement, peuvent favoriser leur éclosion. Les gouvernements nationaux doivent donc créer un cadre approprié du point de vue de la concurrence, de l'éducation, des finances, etc. A cet égard, les gouvernements des pays de l'OCDE essayent diverses nouvelles approches : programmes de R-D ciblés et mise en concurrence pour l'obtention de financement, incitations par le biais des investissements et marchés publics, etc.

La Finlande a lancé un *Programme de recherche sur les grappes spécialisées dans l'environnement* en 1997, qui vise à promouvoir l'activité d'entreprise dans le domaine de l'environnement et le développement durable. Ce programme cible le secteur émergent des biens et services environnementaux, l'un des secteurs qui enregistrent la croissance la plus rapide. Le gouvernement apporte un financement de départ pour des activités de recherche sur de nouvelles technologies respectueuses de l'environnement, celles-ci devant être menées par des groupes de producteurs, fournisseurs, universités et instituts. Les projets menés en collaboration favorisent la création de réseaux entre chercheurs et utilisateurs, et donc l'innovation. Le premier thème retenu pour les travaux de recherche est l'amélioration de l'éco-efficience par l'application des techniques fondées sur le cycle de vie dans l'agriculture, la sylviculture, les métaux de base et la gestion de l'eau. Le ministère de l'Environnement coordonne le programme avec le ministère du Commerce et de l'Industrie, le Centre de développement des technologies (TEKES) et l'Académie de la Finlande.

Source : OCDE, 1999b.

respectueuses de l'environnement, et encourager les instruments financiers qui vont dans ce sens. Globalement, les gouvernements peuvent surmonter les déficits d'informations en avisant plus largement les consommateurs de l'impact écologique de leur choix, mais aussi des avantages potentiels des autres modes de consommation. Cela dit, les défis écologiques posés par les tendances actuelles du marché, telles que la demande croissante en déplacements et transports, nécessitent sans doute une évolution plus profonde des modes de consommation. En outre, la solution à ces problèmes passera également par une participation plus large de la société et une coopération plus étroite des pouvoirs publics avec l'industrie, les médias, les établissements d'enseignement et autres groupes et organismes influents.

La résistance opposée par le public à certaines technologies peut également constituer un obstacle à leur utilisation. Certaines technologies nouvelles peuvent exercer des pressions sur les ressources naturelles, entraîner des risques pour la santé et la sécurité et confronter la société à de délicats problèmes éthiques. La confiance joue un grand rôle dans l'acceptation des techniques et certaines solutions technologiques peuvent de ce fait être rejetées ou insuffisamment développées. L'énergie nucléaire et la biotechnologie pourraient par exemple toutes deux offrir des solutions techniques valables allant dans le sens du développement durable (OCDE, 1998a). Dans ce contexte, l'un des défis consiste à améliorer notre connaissance et la compréhension par le public des coûts et avantages des technologies de substitution, ce qui suppose de parvenir à un accord sur les méthodes de gestion des risques. Pour améliorer la perception et la compréhension qu'a le public des différentes technologies, la société pourrait participer plus largement à l'élaboration des programmes de recherche et des normes d'utilisation, et de surveillance. Cette évolution stimulerait par ailleurs l'élaboration de technologies qui répondent aux besoins et préférences plus larges de la société en général.

IV. FORMULATION DE POLITIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'ensemble, l'innovation environnementale est essentiellement produite dans l'industrie, où les politiques et réglementations en matière d'environnement exercent une influence majeure. Face à l'obligation de se conformer aux réglementations environnementales, l'industrie a développé et adopté divers équipements et techniques de lutte contre la pollution. Cela étant, les formes classiques de réglementations environnementales n'ont généralement pas entraîné de mutations technologiques radicales, même si elles ont contribué à une réduction sensible de la pollution au fil des ans. Les approches réglementaires ont souvent entraîné des améliorations progressives selon des trajectoires bien établies, généralement sous la forme de technologies en bout de chaîne. Il s'impose

toutefois d'adopter des politiques d'environnement plus dynamiques, qui privilégient la prévention plutôt que l'atténuation, et de mettre au point des technologies non polluantes et des stratégies intégrées, comportant des instruments économiques (OCDE, 1999c).

Les différents instruments des politiques de l'environnement n'ont pas tous le même effet sur l'innovation. Les *normes de produits* entraînent une innovation ou des modifications progressives à la marge. Les *interdictions de produits* peuvent stimuler une innovation radicale, par le remplacement des produits interdits, mais elles entraînent des perturbations et des coûts. Les *normes de résultats* sont techniquement souples, alors que les *spécifications techniques* tendent à étouffer l'innovation. Potentiellement, les *instruments économiques*, tels que les redevances de pollution et les permis négociables, sont plus à même de stimuler l'innovation, mais jusqu'à présent ils n'ont pas été fixés à des niveaux suffisamment élevés (pour les premières) ou utilisés à l'échelle voulue (pour les deuxièmes). De même, les *accords volontaires* n'ont pour l'heure pas véritablement entraîné d'évolution technologique.

D'une manière générale, les instruments économiques devraient plus souvent remplacer – ou compléter – les formes traditionnelles de réglementation. En outre, une refonte des procédures de mise en application et de nouvelles approches pourraient améliorer sensiblement le cadre réglementaire de l'innovation environnementale. En effet, la mise en œuvre et l'application des réglementations ont une grande influence sur les programmes industriels qui visent à mettre au point des technologies pour assurer la conformité à de nouvelles normes. Dans ce contexte, des systèmes d'alerte rapide et l'introduction en temps opportun de nouvelles mesures peuvent contribuer à réduire l'incertitude réglementaire pour l'industrie. La mise en place par les pouvoirs publics de procédures accélérées d'examen, de vérification et d'homologation est de nature à activer l'introduction de nouvelles technologies sur le marché. Par ailleurs, on peut assouplir les conditions de conformité pour l'industrie en imposant des résultats finaux plutôt que des spécifications techniques. Enfin, de nouvelles formes d'accords et de démarches volontaires telles que la responsabilité élargie des producteurs, les obligations d'information et les systèmes de gestion environnementale, qui sont propres à encourager une évolution dans la consommation de ressources et une refonte complète des produits et des procédés, peuvent également se révéler précieuses.

V. MISE AU POINT DE TECHNOLOGIES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

La contraction des budgets et le raccourcissement des calendriers des activités de recherche, dans l'industrie comme dans les organismes publics, suscitent des inquiétudes concernant l'innovation à long terme indispensable au développement

durable. Or, pour appuyer les objectifs de développement durable, les gouvernements doivent maintenir un effort continu de recherche-développement (R-D) fondamentale dans le domaine des grandes technologies habilitantes. Or, la R-D relative à l'environnement ne représente qu'une faible part des portefeuilles de recherche du secteur public dans les pays de l'OCDE : soit environ 2 % des budgets de R-D pour ce qui est la recherche sur l'environnement au sens strict, et de l'ordre de 5 % si on tient compte de la recherche à caractère environnemental portant sur d'autres objectifs, tels que l'énergie, l'agriculture et l'atmosphère. Certes, la recherche dans bon nombre de domaines technologiques – tels que la biotechnologie et les technologies de l'information – peut avoir des retombées favorables dans le domaine de l'environnement. Dans le cas des technologies de l'information, les nouveaux systèmes et procédés peuvent aider les entreprises à contrôler les différents aspects de leurs performances environnementales à moindre coût. Mais globalement, compte tenu du caractère aigu de bon nombre de problèmes écologiques, il apparaît que les dépenses publiques consacrées à des travaux de recherche pouvant avoir des effets positifs sur l'environnement sont faibles à bien des égards et pourraient justifier un réexamen de la situation.

Du point de vue de concepts tels que l'*éco-efficience* et le *rendement d'utilisation des ressources*, les technologies respectueuses de l'environnement sont celles qui réduisent au minimum tout à la fois l'intensité de ressources et d'énergie des biens et services et les émissions polluantes (OCDE, 1998*b*). Ce sont des technologies qui améliorent la gestion globale de ses ressources par la société. Entre autres, les exercices de prévision technologique ont été un moyen d'identifier les technologies utiles et les grands secteurs de recherche, y compris dans le domaine de l'environnement (OCDE, 1999*d*). La prévision technologique n'a pas pour objet de désigner les vainqueurs, mais elle aide les entreprises et les pays à identifier les domaines où la R-D doit être menée en priorité. En outre, le processus même permet de créer des liens entre la société et la recherche, mais également d'engendrer des mécanismes interactifs visant à mettre en phase le développement technique, les besoins de la société et l'action motrice du marché. Les dernières études de prévision ont souligné la gravité des défis écologiques et l'importance de la recherche liée à l'environnement. Elles ont identifié un certain nombre de technologies essentielles au développement durable (biotechnologie, technologies de l'information, piles à combustible, par exemple), ainsi que des applications spécifiques (voitures propres, par exemple) (encadré 3).

Si les nouvelles technologies sont avant tout élaborées et mises en application suite à une initiative prise par une entreprise privée, les pouvoirs publics ont également un rôle à jouer dans le développement technologique, et ils mènent d'ailleurs de plus en plus de travaux de recherche appliquée en partenariat avec l'industrie. Ces partenariats public-privé sont un moyen de faire plus avec moins de ressources, mais il peut exister un risque de mauvaise attribution des

Encadré 3. Technologies pour un développement durable

Voiture propre. La voiture de demain se caractérisera par de nouvelles batteries, des matériaux légers, un moteur à injection directe, des piles à combustible et/ou une plus grande aptitude au recyclage – autant de facteurs qui contribueront à une réduction de la consommation de carburant et des émissions.

Photopiles. Des bâtiments, des véhicules et des générateurs électriques décentralisés utilisant des photopiles ou d'autres formes d'énergie produites à partir de la lumière sont envisagés.

Biotechnologie. La biotechnologie offre de vastes possibilités de développement durable dans tous les secteurs. Les bioprocédés permettent de réduire la consommation de ressources, les produits polluants et les déchets issus de processus industriels. La biotechnologie agricole permettrait de réduire les effets des pesticides et des autres produits agrochimiques polluants, tout en augmentant la sécurité alimentaire.

Capteurs évolués. Des capteurs seront utilisés pour surveiller la qualité de l'air et de l'eau, ainsi que les changements climatiques planétaires, la couche d'ozone de la stratosphère, l'environnement marin et les divers écosystèmes. Les systèmes d'information à l'échelle mondiale peuvent accroître la précision de l'agriculture, avec à la clé des économies de ressources et une maximisation de la production.

Nouveaux matériaux. Les technologies des matériaux avancés simplifieront le recyclage des biens de consommation et des facteurs de production utilisés dans la fabrication, et élargiront l'application du concept de cycles de vie.

Traitement intelligent de l'eau. De nouvelles technologies faisant appel à des membranes et de nouveaux traitements biologiques permettront d'épurer les eaux usées par élimination des composés organiques, et pourraient déboucher sur la mise en place d'unités de traitement de l'eau collectives, voire domestiques.

Traitement avancé des déchets. Les méthodes de réduction des résidus urbains, de décontamination des déchets dangereux et de traitement des déchets nucléaires seront fondées sur de nouveaux enzymes, de nouveaux catalyseurs et d'autres techniques de pointe telles que la transmutation.

Énergies renouvelables. De meilleures techniques de stockage de l'énergie et des systèmes de conversion combinés augmenteront la consommation d'électricité produite à partir de sources renouvelables comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la biomasse.

Source : OCDE, 1999d.

ressources et de détournement par des intérêts privés. Ils permettent de mobiliser des investissements privés pour l'innovation et de les orienter vers les besoins de recherche les plus pressants. Ils peuvent renforcer les liens entre les entreprises, mais également entre les entreprises et les universités et instituts publics de

recherche, et favoriser des interactions essentielles pour le processus d'innovation. Dans le domaine de l'environnement, les partenariats ont une grande valeur car ils aident à vaincre les obstacles à l'élaboration et la diffusion de technologies propres. De nombreux gouvernements de pays de l'OCDE mettent en place des partenariats visant à développer des technologies susceptibles de contribuer à la fois au développement durable et à la compétitivité industrielle (encadré 4). Il

Encadré 4. Exemples de partenariats pour le développement de technologies respectueuses de l'environnement

Canada – Partenariat technologique Canada. Les technologies environnementales sont l'une des trois catégories de technologies ciblées par ce programme qui propose des aides à la recherche sur les technologies applicables à la lutte contre la pollution atmosphérique, au traitement de l'eau et à l'épuration des eaux usées, aux voitures et autres systèmes de transports propres, au changement climatique et au recyclage.

Allemagne – Recherche pour l'environnement. Il s'agit d'un programme de recherche qui appuie « les initiatives scientifiques visant à développer, en collaboration avec des partenaires de l'industrie, de nouvelles technologies environnementales ou de nouveaux concepts de génie écologique et d'utilisation écologique des ressources ».

Japon – Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE – Institut de recherche sur les technologies innovantes pour la Terre). Le RITE a mis sur pied un programme de partenariat afin de promouvoir les technologies visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à utiliser la biotechnologie dans les procédés de production, à mettre au point des produits de remplacement des substances appauvrissant la couche d'ozone et à surveiller la pollution de l'air, de l'eau et des sols.

Royaume-Uni – Foresight Vehicle Programme (Programme sur le véhicule de l'avenir). Ce programme, qui s'inscrit dans le programme LINK, vise à mettre au point un véhicule propre, efficient, léger, télématique, intelligent et à carburateur pauvre, qui pourra satisfaire à des exigences écologiques de plus en plus strictes, tout en répondant aux attentes du grand public en matière de sécurité, de performance, de coût et d'esthétique.

États-Unis – Industries of the Future Initiative (Initiative industries pour l'avenir). Il s'agit d'une initiative de collaboration entre le ministère de l'Énergie et sept secteurs à forte intensité énergétique (acier, aluminium, moulage des métaux, verre, produits chimiques, raffinage du pétrole et produits forestiers) visant à mettre au point des technologies compétitives tout en prenant pleinement en compte les aspects énergétiques et environnementaux.

Source : OCDE, 1999c.

conviendrait d'évaluer plus avant l'efficacité de ces partenariats par rapport au coût et leur influence à long terme sur le développement technologique et les liens dans le domaine de la recherche.

Comme nous l'avons déjà indiqué, des technologies moins polluantes existent mais ne sont pas encore largement utilisées en raison de leur prix, par manque d'informations au niveau des entreprises ou parce qu'il faut les adapter aux différents utilisateurs. Or, la diffusion de la technologie et du savoir-faire est une condition impérative pour accroître la participation au processus de développement durable. A cette fin, les gouvernements des pays de l'OCDE mettent en œuvre des programmes visant à diffuser l'information sur les technologies propres et à promouvoir un plus large usage de ces techniques (encadré 5). Il convient cependant de concevoir et d'évaluer avec soin ces programmes pour assurer leur efficacité par rapport au coût et éviter un subventionnement déloyal. Le renforcement des flux d'informations, qui est au cœur de tous les programmes de diffusion, se fait de manière croissante par le biais des réseaux électroniques du type Internet. On recourt aussi largement aux programmes de démonstration, qui mettent en évidence la faisabilité et les avantages techniques des nouvelles technologies environnementales, ainsi qu'à des programmes d'essai qui permettent aux entreprises de comparer leurs performances environnementales à celles d'autres entreprises du même type. Les programmes d'assistance technique proposent des conseils plus pratiques : diagnostic des problèmes d'environnement et proposition de solutions. Par ailleurs, les gouvernements organisent des activités de diffusion « douces » axées sur la formation de la main-d'œuvre et l'évolution des pratiques de direction et d'organisation au sein des entreprises, de façon à améliorer leur capacité à évaluer et adapter les technologies propres.

On peut aussi recourir à des incitations fiscales pour favoriser l'adoption de technologies respectueuses de l'environnement. Les possibilités de diffusion des techniques sont souvent limitées par le faible taux de renouvellement des biens d'équipement, en moyenne de 10 à 15 ans pour de nombreux procédés de fabrication. De manière générale, les entreprises adoptent de nouvelles technologies uniquement lorsqu'elles remplacent les biens d'équipement existants. Pour activer ce cycle, certains pays accordent des amortissements accélérés ou des crédits d'impôt à l'investissement spécifiquement ciblés sur les investissements environnementaux. Par exemple, la Finlande autorise l'amortissement accéléré des investissements réalisés dans les domaines de la lutte contre la pollution de l'air et de l'eau. De même, le Canada accepte un taux d'amortissement de 30 % pour certains équipements permettant des économies d'énergie ou utilisant des énergies renouvelables. Pour leur part, les Pays-Bas autorisent l'amortissement accéléré des dépenses améliorant le rendement énergétique et des équipements de prévention de la pollution. Les autorités régionales expérimentent diverses formes de crédit d'impôt à vocation écologique : le Québec offre par exemple un

Encadré 5. Exemples de programmes de diffusion de technologies respectueuses de l'environnement

Australie – Cleaner Production Demonstration Project (Projet de démonstration d'une production moins polluante). Ce projet avait pour but de promouvoir la mise en œuvre de technologies et procédés de production moins polluants par le biais de démonstrations en situation de techniques innovantes.

France – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Il s'agit d'un organisme spécialisé qui aide les entreprises à réduire leur consommation d'énergie et de matières premières, à limiter la production de déchets et à maximiser leur récupération et leur recyclage, à lutter contre les nuisances sonores et à prévenir ou à traiter la pollution des sols.

Irlande – Clean Technology Centre (Centre des technologies propres). Il s'agit d'un organisme indépendant à but non lucratif, aidé par un ensemble d'organismes publics et privés, dont l'objectif est de conseiller et d'aider l'industrie et les collectivités locales pour l'adoption de techniques de réduction au minimum des volumes de déchets, de technologies propres et de méthodes de production moins polluantes.

Pays-Bas – Cleaner Production Programme (Programme pour une production moins polluante). Ce programme se propose de diffuser l'information sur les technologies propres et de promouvoir leur utilisation par les petites entreprises, en s'intéressant en priorité aux secteurs suivants : denrées alimentaires, bois et meubles, imprimerie, produits chimiques, caoutchouc et plastiques, matériaux de construction, produits métalliques et véhicules à moteur.

Norvège – GRIP Centre for Sustainable Production and Consumption (Centre GRIP pour la production et la consommation durables). Il s'agit d'un centre GRIP (Green Management in Practice : gestion écologique dans la pratique) qui vise à encourager l'adoption de pratiques de gestion respectueuses de l'environnement dans les secteurs public et privé, en particulier les petites entreprises, par la diffusion d'informations et des activités de démonstration.

Royaume-Uni – Environmental Technology Best Practice Programme (Programme relatif aux pratiques exemplaires en matière de technologies environnementales). Ce programme a pour objectif principal la réduction au minimum du volume de déchets et l'adoption de technologies moins polluantes grâce à la diffusion de guides sur les « bonnes pratiques » dans plusieurs secteurs comme la fonderie, les textiles, les papiers et cartons, les composés organiques volatils, le verre, les produits alimentaires et boissons, les produits chimiques, l'imprimerie, la finition des métaux, la céramique et les plastiques et emballages.

Source : OCDE, 1999c.

crédit d'impôt de 20 % sur les investissements dans des technologies propres et, aux États-Unis, les technologies antipollution bénéficient d'un allègement fiscal dans l'Illinois, les investissements dans des équipements de recyclage donnent

droit à des déductions d'impôts en Virginie et l'Oregon prévoit des crédits d'impôt pour certaines technologies de prévention de la pollution. Toutefois, ces programmes sont encore trop limités et trop récents pour que l'on puisse évaluer dans quelle mesure ils apportent vraiment une valeur ajoutée.

VI. QUESTIONS INTERNATIONALES

Le développement durable dépend de l'application à grande échelle des technologies non polluantes, par les pays Membres comme par les pays non membres de l'OCDE. Dans ce contexte, l'un des défis majeurs consiste à permettre aux pays en développement de tirer pleinement parti des méthodes de production moins polluantes et économes en énergie, et de les adapter à leurs besoins. Dans ces pays, les principaux obstacles concernent le manque de capacités humaines, institutionnelles, techniques, de direction et financières pour gérer le changement technologique. Par conséquent, les aides à la diffusion du savoir-faire technologique doivent se concentrer en premier lieu sur le développement des capacités de façon à étayer l'application à long terme des nouvelles technologies. Par ailleurs, sachant que le secteur privé constitue la principale source de financement de la production moins polluante, mais aussi un acteur majeur de l'innovation et de la diffusion et l'application des technologies, les pouvoirs publics doivent aussi s'efforcer d'offrir au secteur privé un cadre ouvert, concurrentiel et sain.

Dans ce contexte, la coopération en faveur du développement peut jouer un rôle de catalyseur stimulant les actions du public et du privé à plusieurs niveaux : action publique, secteurs d'activité et entreprises. Il appartient aux pays en développement de prendre l'initiative, mais les donateurs peuvent apporter une aide précieuse dans les domaines tels que la création de capacités et l'élaboration de cadres d'action réglementaire qui contribuent à accroître la demande en technologies moins polluantes. En l'occurrence, il peut s'agir d'élaborer des incitations commerciales (suppression des aides inappropriées et mise en place de redevances d'utilisation et d'incitations fiscales) et de garantir l'existence de mécanismes institutionnels voulus pour leur application. L'aide publique au développement (APD) dans ces domaines a pour objectif de susciter et de compléter les investissements dans les technologies propres qui dépendent en premier lieu de la mobilisation des ressources intérieures et de l'accès aux investissements directs étrangers. En outre, des programmes spéciaux ont été mis sur pied pour aider les pays en développement à faire face à certains problèmes d'environnement spécifiques : le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), le Fonds multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal, le Mécanisme pour un développement propre mis en place par le Protocole de Kyoto et le Programme des Centres de production non polluante de l'ONUDI et du PNUE.

Par nature, certains problèmes ont une dimension planétaire, et seule une action internationale concertée peut permettre de les résoudre. Face à la modification du climat, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la désertification et la perte de biodiversité, il faudra une action conjointe et cohérente de tous les pays pour développer et diffuser les technologies innovantes. La résolution de ces questions, à long terme et à grande échelle, implique la maîtrise de nombreuses disciplines et les efforts conjoints de nombreux pays. Individuellement, aucun chercheur ni aucun pays ne peut trouver de solution. Aujourd'hui, les ressources scientifiques et techniques les plus avancées sont concentrées dans les pays de l'OCDE, et une coopération beaucoup plus importante pourrait être mise en œuvre dans de nombreux domaines. La coopération dans la recherche et la collaboration technique sont des facteurs essentiels pour la concrétisation des principaux objectifs du développement durable, tels que la maîtrise de la modification du climat (encadré 6).

Encadré 6. Initiative Technologie et Climat

Dans le cadre de l'Initiative Technologie et Climat (ITC), de nombreux pays coopèrent à la réalisation des objectifs de la Convention-cadre sur les changements climatiques, par le biais de programmes scientifiques et techniques conjoints. L'ITC propose un cadre dans lequel les pays peuvent collaborer pour accélérer la contribution de la technologie à la prise en charge du problème de la modification du climat sur l'ensemble de la planète. La généralisation des technologies respectueuses du climat et le développement et la diffusion de nouvelles technologies innovantes sont des éléments essentiels de l'action en faveur du climat. La Commission européenne et 23 pays de l'OCDE/AIE ont lancé l'ITC lors de la première Conférence des Parties (CdP1), tenue à Berlin (Allemagne) en 1995. L'ITC a évolué et comprend à présent des ateliers régionaux ainsi que des consultations spécifiques d'un pays sur les meilleures solutions techniques respectueuses du climat.

Outre le partage de l'expérience et des avantages des programmes et travaux de recherche nationaux sur la technologie et le climat, l'Initiative Technologie et Climat promeut et parraine des activités de R&D conjointes sur les technologies respectueuses du climat. Quatre projets de recherche multilatéraux ont été lancés à la troisième Conférence des Parties (CdP3) pour étudier le piégeage du dioxyde de carbone par les océans, le piégeage géologique du dioxyde de carbone provenant des combustibles fossiles, la combustion dans des mélanges CO₂ recyclé/O₂ et les systèmes photovoltaïques de production électrique à très grande échelle installés dans des zones désertiques. Par ailleurs, des propositions de recherche en collaboration sont en cours de développement dans les domaines suivants : production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles, production biologique d'hydrogène, fixation et utilisation chimiques du CO₂, différentes méthodes de production de méthanol, production de carburants à partir de la biomasse, utilisation du CO₂ comme produit d'alimentation de l'industrie chimique et fourniture intégrée de chaleur et de CO₂ à l'horticulture.

Source : OCDE, 1999a.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (AIE) (1998),
Electric Technologies: Bridge to the 21st Century and a Sustainable Future, Paris.
- AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE (AEN) (1998),
L'énergie nucléaire et le changement climatique, Paris.
- AGHION, P. et P. HOWITT, (1997),
Endogenous Growth Theory, MIT Press, Cambridge, Massachussets.
- OCDE (1994),
IEA/OECD Scoping Study on Energy and Environmental Technologies to Respond to Global Climate Change Concerns, Paris.
- OCDE (1997),
Systèmes nationaux d'innovation, brochure gratuite, Paris.
- OCDE (1998a),
La biotechnologie au service des produits et des procédés industriels propres – Vers un développement industriel durable, Paris.
- OCDE (1998b),
Éco-efficience, Paris.
- OCDE (1999a),
Le projet triennal de l'OCDE sur le développement durable : Rapport d'étape, Paris.
- OCDE (1999b),
Boosting Innovation: The Cluster Approach, Paris.
- OCDE (1999c),
«Technology and Environment: Towards Policy Integration», Paris <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/prod/e_99-19.htm>.
- OCDE (1999d),
«Technology Foresight and Sustainable Development: Proceedings of the Budapest Workshop» (11 décembre 1998), Paris, http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/prod/e_99-8.htm.

TECHNOLOGIE, PRIX ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Table des matières

I. Introduction.....	32
II. Rendement technique et intensité énergétique	33
III. Déterminants de l'efficacité énergétique	35
IV. Intensité énergétique et croissance du PIB	38
V. Efficacité énergétique et substitution de facteurs.....	41
VI. Rôle de la technologie par opposition aux prix	43
VII. Conclusions	46
Notes	48
Bibliographie.....	50

Cet article a été rédigé par Faith Birol et Jan Horst Keppler de la Division de l'analyse économique de l'énergie de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

I. INTRODUCTION

L'efficacité énergétique mesure la quantité d'énergie nécessaire pour produire des biens et services utiles. Dans les économies de marché, l'efficacité énergétique dépend de l'état de la technologie, des préférences des consommateurs, de paramètres structurels tels que le climat, la géographie et la culture et du prix de l'énergie par rapport à d'autres inputs pertinents. Souvent l'accélération des progrès de l'efficacité énergétique répond à un besoin spécifique. Et, dans la mesure où le rendement technique permet d'utiliser moins d'énergie par unité produite, améliorer l'efficacité énergétique revient à moins importer, moins prélever sur les ressources, moins dégrader l'environnement et moins dépenser par unité produite.

Pour la plupart des pays Membres de l'AIE qui se sont engagés, en signant le Protocole de Kyoto, à abaisser d'ici 2012 leurs émissions annuelles de gaz à effet de serre en moyenne et *en termes absolus* de 6 % par rapport aux niveaux de 1990 l'efficacité énergétique revêt une importance considérable. Près de 70 % de ces émissions sont imputables à l'énergie. Comme les pays qui ont souscrit ces engagements sont également décidés à préserver la vigueur de leur croissance économique, la réussite suppose d'importantes baisses de l'intensité énergétique, qui est le rapport entre la consommation d'énergie et la production nationale. Il s'agit donc de savoir si ces diminutions de l'intensité énergétique peuvent s'obtenir par une amélioration du rendement technique d'utilisation de cette énergie¹.

Nous analyserons ici les différentes réponses possibles à cette question en nous fondant sur la théorie économique fondamentale et sur des données empiriques. Nous exposerons les hypothèses implicites et explicites adoptées par les différentes équipes de recherche qui ont abouti dans le passé à un éventail de réponses très contrastées. Nous proposerons un cadre conceptuel pour analyser dans quelle mesure la politique technologique peut accélérer les progrès de l'efficacité énergétique destinés à réduire l'intensité énergétique et déterminer si d'autres instruments doivent être utilisés simultanément, notamment des instruments économiques ayant une influence sur le prix relatif de l'énergie.

32

II. RENDEMENT TECHNIQUE ET INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE

On assimile souvent à tort une augmentation de l'efficacité énergétique à une baisse de l'intensité énergétique de la production. Améliorer l'efficacité énergétique, en général par l'introduction d'une nouvelle technologie, *peut* assurément entraîner une baisse de l'intensité énergétique. Cette dernière, néanmoins, dépend aussi d'autres facteurs tels que les prix relatifs, les facteurs culturels, la géographie, le climat et le stade de développement du pays. Le lien entre le rendement technique et l'intensité énergétique devient bien sûr plus ténu à mesure que le niveau d'agrégation augmente, et que l'on passe de l'intensité énergétique d'une installation, à celle d'un secteur ou de l'économie toute entière.

Pendant, même si l'on se situe au niveau d'une entreprise, il n'y a pas de correspondance biunivoque entre l'efficacité énergétique et l'intensité énergétique. En fait, les améliorations du rendement énergétique technique peuvent déclencher des processus faisant intervenir de nouvelles combinaisons de facteurs, relativisant ainsi le lien entre efficacité et intensité énergétique. C'est un phénomène que nous examinerons de plus près sous le nom d'effet rebond. Toute amélioration de l'efficacité énergétique sera ici comprise comme un progrès de la productivité du facteur énergie. Elle désigne, à proprement parler, une améliorations de la productivité du capital, dans le cas présent, une machine, ayant pour fonction spécifique de transformer de l'énergie².

L'intensité énergétique nationale, à savoir le rapport entre la quantité totale d'énergie consommée en un an et le produit intérieur brut (PIB) est une notion couramment employée dans le domaine des politiques énergétiques. On aura normalement une relation entre la croissance économique, la consommation d'énergie et l'intensité énergétique du type 3:2:1, ce qui signifie une croissance économique de 3 % par an, avec une progression de la consommation d'énergie de 2 % et simultanément une baisse de l'intensité énergétique de 1 %. Comme nous l'avons vu plus haut, l'intensité énergétique est une mesure imparfaite de l'efficacité énergétique en raison des différences structurelles entre les pays. Et ne serait-ce que comme élément d'appréciation de l'évolution dans le temps d'un même pays, l'intérêt d'utiliser ce rapport consommation d'énergie sur PIB pour l'élaboration des politiques est contesté (AIE, 1997).

En fait, les valeurs annuelles de l'intensité énergétique d'un pays recouvrent une multitude de relations diverses entre la consommation d'énergie et la création de valeur et ont tendance à masquer les réussites comme les échecs. Dans une même économie, on trouvera normalement des secteurs dont la consommation d'énergie par unité produite est tombée rapidement et d'autres caractérisés par de lents ou rares progrès. Par ailleurs, la croissance du PIB varie avec le cycle, faisant baisser ou croître l'intensité énergétique, puisque la consommation d'énergie évolue moins que la production globale. Enfin, suivant les secteurs, il sera plus ou

moins judicieux de changer de combustible. Le chauffage des habitations par le lignite ou l'utilisation de son automobile personnelle ne posent pas les mêmes problèmes d'environnement que la production d'électricité à grande échelle, même si ces utilisations de l'énergie produisent des gaz à effet de serre dangereux pour le climat.

Par conséquent, que peut-on réellement déduire des valeurs nationales de la consommation d'énergie ? La réponse dépend largement de l'idée que l'on se fait du niveau d'interaction entre les différents secteurs. Il nous paraît utile à ce stade d'introduire une distinction dont nous aurons également besoin ultérieurement – la distinction entre les ingénieurs et les économistes³. Parce qu'ils appartiennent à différentes disciplines, ils n'adoptent pas les mêmes démarches. Les ingénieurs insistent sur les caractéristiques structurelles spécifiques d'un problème tandis que les économistes s'attacheront aux généralités et interdépendances. Bien entendu, nul n'a tout à fait tort ou raison ; chaque cas est à la fois unique en son genre et comparable à un autre.

Dans une économie de marché, les individus chercheront à maximiser leur bien-être sans se soucier vraiment des autres, et pourtant il existe une interaction entre leurs actes qui concourent à des résultats communs, les prix du marché, par exemple. Les ingénieurs mettent l'accent sur la première partie de cette proposition, les économistes sur la deuxième⁴. Les deux citations que l'on trouvera ci-dessous illustrent ces démarches. Nous examinerons les interactions entre ces deux démarches et leur réussite dans la recherche de l'efficacité énergétique.

- *Citation 1.* Les ménages et les conducteurs se comptent par centaines de millions; les camionneurs par millions, les gestionnaires de bâtiments, agriculteurs et industriels par centaines de milliers. Ce sont eux, des légions d'individus, qui prennent les décisions dont dépendent la quantité d'énergie consommée et les émissions de CO₂... Leurs intérêts : produire des biens, assurer des services, chauffer les habitations, se rendre en voiture sur leur lieu de travail, et transporter du fret, pour n'en citer que quelques-uns. ... L'énergie est un moyen de parvenir à leurs fins. *Ces fins ont même une influence sur la façon d'aborder la question de savoir* de quelle manière et pourquoi les individus brûlent des hydrocarbures et, au bout du compte, rejettent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère [les italiques sont de nous] (AIE, 1997, p. 11).
- *Citation 2.* Fondamentalement, dans un système où la connaissance des faits pertinents est disséminée entre de multiples intervenants, les prix peuvent avoir une fonction de coordination des actions individuelles... Supposons qu'apparaisse, quelque part dans le monde, une nouvelle utilisation d'une matière première, par exemple l'étain, et que l'une des sources d'étain ait disparu. *Pour notre analyse peu importe laquelle* des deux causes est à l'origine de la pénurie d'étain – *il est significatif d'ailleurs qu'elle n'ait pas d'importance.* Les

utilisateurs doivent savoir seulement que l'étain qu'ils avaient l'habitude de consommer peut servir à d'autres usages plus profitables et qu'il leur faut désormais l'économiser... Il suffit que quelques-uns d'entre eux seulement prennent connaissance de la nouvelle demande et y consacrent des ressources et que ceux qui perçoivent le manque ainsi créé recourent à d'autres sources afin de le combler, pour que l'effet se propage rapidement dans tout le système économique et touche non seulement les usages de l'étain mais ses substituts et les substituts de ces substituts, la fabrication de tous les objets réalisés en étain et à partir de ses substituts, etc., tout cela sans que la grande majorité des responsables de ses substitutions ait connaissance de l'origine de ces changements. L'ensemble se comporte comme *un seul* marché [les italiques sont des auteurs]. (Hayek, 1945.)

III. DÉTERMINANTS DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Les préférences des consommateurs, la structure de l'économie, l'état de la technologie et, enfin, le prix de l'énergie par rapport à d'autres facteurs de production, sont autant d'éléments qui déterminent le rendement et l'intensité énergétiques. Dans l'analyse de l'influence de la technologie sur l'intensité énergétique, il faut distinguer entre les différentes technologies *existantes* qui peuvent être employées pour une production donnée, sachant qu'elles ne seront pas toutes exploitées à un moment donné, des technologies véritablement *nouvelles*, ayant *a priori* un meilleur rendement énergétique, utilisables pour aboutir à la même production.

Sur les marchés concurrentiels, les prix relatifs de l'énergie, du capital et du travail détermineront la technologie choisie. Un prix élevé de l'énergie suppose des technologies d'économie d'énergie ayant une forte composante capital et travail et, inversement, des prix faibles impliquent une plus forte proportion d'énergie et moins de travail et de capital. Les changements qui interviendront dépendront aussi de la possibilité de substituer l'énergie par d'autres facteurs de production mais aussi de son pourcentage absolu dans la production.

A son tour, le choix des technologies déterminera l'intensité énergétique globale de la production d'une installation, d'un secteur ou d'une économie. Le choix d'une technologie de production d'électricité avec du charbon constitue un bon exemple du fonctionnement de ce mécanisme de formation des prix dans le cas des technologies existantes. Construire une centrale critique ayant un rendement de 38 % plutôt qu'une centrale supercritique avec un rendement de 45 % dépendra essentiellement du prix du charbon. En l'absence de contraintes réglementaires, la centrale supercritique ne sera choisie que si le prix du charbon est élevé. Pour un décideur privé, peu importe que le prix du charbon soit élevé en raison d'une

pénurie ou de l'application de mesures environnementale d'incitation telles qu'une taxe sur le CO₂.

De ce fait, les prix constituent l'une des variables essentielles de l'efficacité énergétique. Pour modifier le prix relatif de l'énergie, les hommes politiques disposent de divers instruments, essentiellement les taxes sur la consommation d'énergie et de produits à fort contenu énergétique, les subventions accordées aux procédés et produits de remplacement moins énergivores et les programmes permettant aux gros consommateurs d'échanger un volume limité de permis d'émissions de polluants associés à la production d'énergie. En l'absence d'effet dynamiques bénéfiques (voir ci-dessous), les modifications des prix relatifs opérées par les taxes et subventions se traduisent par une détérioration de l'efficacité économique en termes de biens privés (c'est-à-dire les biens considérés dans le calcul du PIB) et par un ralentissement de la croissance, même si elles procurent des avantages en termes de biens collectifs (sécurité énergétique, moindre impact sur l'environnement).

Il est clair qu'avec un jeu donné de technologies, un changement unique des prix relatifs ne produira qu'une augmentation ponctuelle de l'efficacité énergétique. Le mécanisme décrit concerne donc un cadre statique, ou « durable » pour ce qui est des principales composantes structurelles et de l'infrastructure. Nous verrons ci-dessous comment les chocs subis par l'économie et le secteur énergétique peuvent redéfinir les relations entre énergie et production.

Bien qu'imparfaite, cette approche fondée sur l'idée d'un cadre « durable » peut néanmoins fournir quelques indications, notamment si l'on compare les relations entre les prix et l'intensité énergétique dans différents pays à un moment donné. Bien entendu, on ne peut attendre de telles comparaisons une représentation intégrale de la réalité, car les différences climatiques, les distances moyennes parcourues (fonction de la taille du pays) et d'autres paramètres structurels ont également une influence sur l'intensité énergétique. Cependant, les comparaisons internationales de l'intensité énergétique et des prix de détail de l'essence révèlent une corrélation fortement négative entre les prix et l'intensité énergétique, que l'on peut difficilement expliquer par les seuls facteurs structurels (AIE, 1998).

Un autre moyen d'inciter à choisir les technologies existantes affichant les meilleurs rendements énergétiques consiste à les imposer par des textes de loi ou à appliquer des contraintes réglementaires aux technologies moins efficaces. Cela aurait pour effet de maintenir les prix apparents, tout en améliorant l'efficacité énergétique. Bien sûr, cette solution entraînerait aussi une perte d'efficacité économique étant donné qu'au véritable prix de la fourniture de services énergétiques s'ajoute alors le coût fictif correspondant à l'intensité de la contrainte réglementaire. La théorie économique veut que ses pertes soient encore plus élevées que si l'on applique des mécanismes jouant sur les prix (voir par exemple Barde, 1995).

Ces instruments réglementaires ne peuvent d'ailleurs générer qu'une dynamique « maîtrisée » vers l'évolution technologique (voir ci-dessous) puisque les changements technologiques imposés sans donner de signal de prix explicite sont entièrement dépendants de la prévoyance et des connaissances du législateur.

L'autre moteur essentiel de l'efficacité énergétique est l'*innovation* technologique, soit des améliorations des procédés existants, des inventions ou des modes de satisfaction entièrement originaux des besoins et désirs en matière d'énergie. Le succès de ces innovations dépend d'une multiplicité de facteurs, comme l'infrastructure en place, le niveau de connaissances et d'éducation de la main d'œuvre et son expérience de technologies similaires ou annexes. Le nombre d'inventions est aussi fonction des ressources que les secteurs public et privé consacrent explicitement à ce type d'activités, soutien dont l'efficacité repose elle-même sur la création des structures nationales et internationales adaptées.

Les économistes admettent aisément qu'il faut affecter des fonds publics à ces travaux de recherche et développement, surtout s'il s'agit de démontrer ou de mettre en place une innovation, tant que les objectifs correspondants sont fortement axés sur la recherche du bien public. Ils n'ont pas pour autant élaboré de techniques très fines d'analyse de ces technologies nouvelles. Les innovations technologiques sont souvent considérées comme des améliorations des capacités de production de l'économie sans véritable relation avec les autres activités. Témoignent de cette négligence des expressions telles que le « progrès technique autonome » ou « l'augmentation autonome de l'efficacité énergétique »⁵.

La troisième façon d'analyser les progrès de l'efficacité énergétique allie les deux démarches décrites ci-dessus. Elle part du principe que les modifications des prix relatifs non seulement influent sur la combinaison statique de facteurs, mais provoquent aussi une réorientation des travaux de recherche sur les nouvelles technologies. Dans ce contexte, une hausse du prix de l'énergie incite à se tourner vers les technologies disponibles qui présentent les meilleurs rendements, mais aussi à intensifier les efforts de recherche pour mettre au point de *nouvelles* technologies efficaces. Le changement des prix relatifs crée donc à une dynamique de « changement technologique induit ». Ces efforts de recherche seront naturellement axés sur les facteurs de production qui coûtent le plus cher. En d'autres termes, si l'énergie devient moins chère que le capital ou le travail, il s'agira d'économiser ces derniers, avec les conséquences évidentes que cela peut avoir sur l'intensité énergétique.

La logique sous-jacente est la suivante : si le progrès technologique est lié d'une manière stochastique quelconque au montant des ressources consacrées à la recherche, il sera intéressant d'affecter ces ressources au domaine où les progrès devraient apporter les plus grands avantages. Le concept du changement technologique induit est une variante moderne de l'hypothèse de « l'innovation induite »

de John R. Hicks. A ce propos, il a écrit : un changement des prix relatifs des facteurs de production constitue en soi un aiguillon pour l'invention et pour une invention particulière, celle qui est orientée vers l'économie d'un facteur devenu relativement [plus]cher (Hicks, 1932).

En principe, la question de savoir s'il faut modifier les prix relatifs, investir des fonds publics dans la recherche et le développement ou associer les deux solutions pour améliorer l'efficacité énergétique, devrait trouver une réponse empirique. Il existe bien des techniques permettant de déterminer si les progrès de l'efficacité énergétique dans le temps sont davantage fonction des prix relatifs ou du financement de la recherche. En fait, il est quasiment impossible de répondre à la question étant donné que les dépenses publiques consacrées à la recherche sur l'énergie ont elles-mêmes un lien avec le prix de l'énergie. En fait, certains gouvernements réagissent conformément à la dynamique du changement technologique induit décrite ci-dessus.

IV. INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE ET CROISSANCE DU PIB

Pour comprendre dans quelle circonstance l'intensité énergétique peut diminuer plus vite que le PIB n'augmente, il faut d'abord savoir dans quelles conditions des améliorations du rendement énergétique technique provoqueront une baisse de l'intensité énergétique. Un meilleur rendement énergétique signifie que l'on utilise plus efficacement une unité donnée d'énergie. Avant d'analyser les interconnexions entre l'efficacité énergétique, la productivité des autres facteurs de production et la croissance économique, nous aurons besoin de clarifier les trois points suivants, car ils déterminent les relations entre les différents facteurs :

- Si l'on ajoute à une quantité fixe d'un facteur de production, le travail par exemple, une quantité additionnelle d'un autre facteur, la productivité marginale de l'énergie diminuera avec chaque unité supplémentaire tandis que la productivité marginale du travail augmentera tant que ces deux facteurs soient substituables. Par conséquent il existe une corrélation négative entre la part des facteurs et leur productivité marginale. Cette relation est également appelée « loi des rendements décroissants ».
- Tant que les prix relatifs restent identiques, les productivités relatives des facteurs obéiront toujours à la même relation dans un marché concurrentiel. Si l'un des facteurs devient plus productif sans que son prix augmente, il est intéressant d'en acheter. D'après la loi des rendements décroissants, sa productivité baissera pour finalement s'aligner sur son prix. Par conséquent, le ratio des productivités marginales correspondra toujours au ratio des prix relatifs. Autrement dit, à l'optimum économique (statique ou dynamique) les facteurs économiques seront utilisés de telle manière que la valeur

marginale du produit que l'on peut se procurer avec une quantité donnée d'argent, un dollar par exemple, sera identique pour tous les facteurs⁶.

- Qu'est ce exactement qu'une augmentation de la productivité marginale de l'énergie? Lorsqu'il s'agit d'une augmentation de l'efficacité énergétique due au progrès technologique, on parle généralement d'un nouvel équipement possédant un meilleur rendement énergétique, soit du capital, ou une gestion plus efficace par une main d'œuvre mieux formée ; à savoir du travail. C'est pourquoi, le progrès technologique dans le domaine de l'énergie devrait viser exclusivement l'énergie. Sinon il sera impossible de distinguer les améliorations de l'efficacité énergétique de celles du capital et du travail et du taux de croissance global de l'économie. L'exemple dont on se servira dans le reste de cette analyse est le suivant : un nouveau procédé de raffinage permet de multiplier par deux le pouvoir calorifique d'une tonne de combustible.

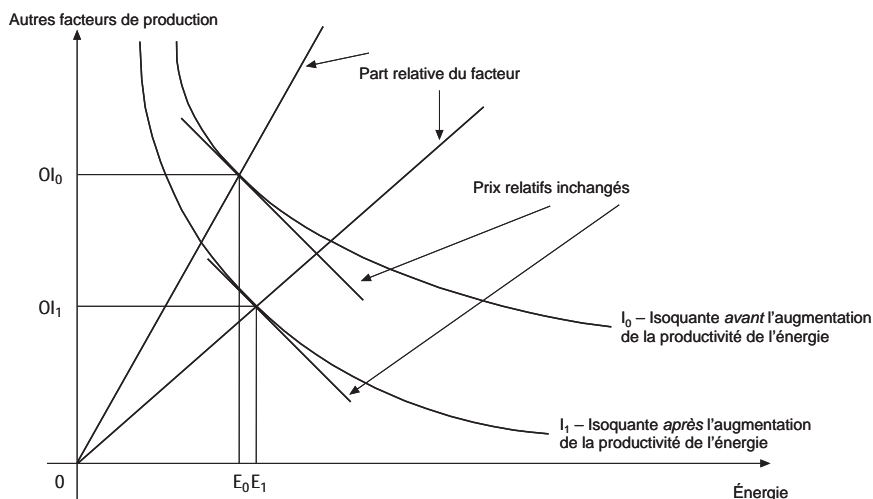
Cela étant, on peut se demander ce que devient la part de l'énergie dans la production, soit l'intensité énergétique, lorsque la productivité marginale de l'énergie augmente. Puisque le prix d'une tonne de combustible est par hypothèse constant, le prix par *unité d'efficacité* diminuera proportionnellement à l'amélioration de l'efficacité⁷. Par conséquent, il est intéressant d'acheter plus d'unités d'efficacité jusqu'à ce que la productivité marginale par unité d'efficacité corresponde au nouveau prix inférieur. En dehors du degré d'amélioration de l'efficacité, ce processus est déterminé par la facilité avec laquelle on peut intégrer au procédé de production des unités d'efficacité supplémentaires, autrement dit par l'*élasticité de substitution*.

Lorsqu'on ajoute des unités d'efficacité, la productivité marginale des autres facteurs, capital et travail, augmente puisque chaque unité de capital et de travail fonctionne désormais avec davantage d'unités d'efficacité énergétique qu'auparavant. Par conséquent, on utilise désormais *davantage* d'unités d'efficacité, mais pas nécessairement de tonnes de combustible, par unité de produit qu'auparavant.

Le processus se poursuit jusqu'à ce que les productivités marginales correspondent une fois de plus au prix des facteurs. En effet, le prix relatif de l'énergie en termes d'unités d'efficacité a considérablement diminué même si le prix par unité de volume reste inchangé. Cela suppose que les autres facteurs de production sont réduits. Dans l'ensemble, on a besoin d'une moindre quantité de chaque facteur pour obtenir une unité de produit, ce qui équivaut à une hausse de la croissance du PIB. La figure 1 illustre cette relation. On notera que E_1 , la nouvelle quantité d'énergie en volume, peut être inférieur, supérieur ou égal à E_0 .

Nous avons ainsi démontré «l'effet rebond cumulé» total. L'effet rebond dépend de l'élasticité de substitution entre facteurs mais aussi de l'élasticité de la demande du bien final (désormais moins cher). Plus l'élasticité de substitution et l'élasticité de la demande sont fortes, et plus la part de l'énergie grandira après

Figure 1. Part relative de chaque facteur après une augmentation de la productivité de l'énergie, les prix restant inchangés



l'amélioration du rendement énergétique. Cette part augmentera dans la production d'un bien spécifique et dans l'économie totale dans la mesure où les biens dont la production exige de grandes quantités d'énergie sont désormais comparativement moins chers. Qu'une amélioration technologique entraîne en fin de compte une diminution ou une augmentation de la consommation d'énergie en volume dépend de l'élasticité de substitution. Normalement, comme la substituabilité des facteurs, et des biens finals, n'est pas totale on devrait s'attendre à une diminution de l'intensité énergétique globale, de sorte que l'effet rebond se situe entre zéro et un.

On ne peut donc pas dire *a priori* quel impact une nouvelle technologie énergétique aura sur l'intensité énergétique finale en l'absence d'élément de nature à endiguer la chute des prix relatifs en termes d'unités d'efficacité. C'est là qu'intervient l'effet rebond : une nouvelle technologie qui permet de doubler l'efficacité d'utilisation d'un input d'énergie divise automatiquement par deux son prix relatif en termes d'unités d'efficacité⁸. Cela aura un impact sur la part respective des facteurs utilisés (effet de substitution) et sur la demande totale du produit final (effet sur la production). S'il y a substituabilité, la seule chose que l'on puisse dire est que l'augmentation de l'efficacité énergétique globale sera inférieure à celle du rendement technique. *Abaisser* la consommation absolue d'énergie si les prix restent inchangés alors que l'économie se trouve en phase de croissance est donc extrêmement difficile⁹.

En résumé, dans le cas où les prix par unité de volume d'énergie ne varient pas, une amélioration de l'efficacité énergétique due au progrès technologique entraîne en général une *moindre* baisse de l'intensité énergétique que ne le laisserait penser l'amélioration du rendement technique. A cela, trois raisons distinctes :

- La diminution du prix réel des services énergétiques que provoque l'augmentation de la productivité incitera à consommer davantage d'énergie pour la production (en termes d'unités d'efficacité, mais pas normalement en unités physiques) si le prix de l'énergie reste identique.
- Grâce à la chute du prix réel des services énergétiques (ou des unités d'efficacité énergétique), les produits consommant de l'énergie deviendront meilleur marché. Plus un produit sera énergivore et plus son prix relatif diminuera. Cela entraînera des réajustements entre secteurs économiques, les secteurs les plus gourmands en énergie se développant au détriment des secteurs plus sobres.
- L'augmentation de l'efficacité énergétique contribue également à la croissance économique. La hausse de la production entraînera à son tour une consommation supplémentaire d'énergie.

Il convient de distinguer clairement le fait que les améliorations de l'efficacité énergétique favorisent la croissance économique par l'effet rebond (fait important) de l'augmentation de la consommation d'énergie imputable à cette croissance incrémentale (composante mineure de l'effet rebond global). En fait, la croissance économique équivaut à l'introduction de nouvelles combinaisons de facteurs de production encore plus efficaces et l'effet rebond *est* un gain d'efficacité stimulateur de croissance. Le progrès technologique a donc un effet double : baisse de l'intensité énergétique et contribution à la croissance économique. Plus l'élasticité de substitution entre l'énergie et d'autres facteurs est importante, moins l'impact sur l'intensité énergétique sera prononcé et plus la contribution à la croissance sera forte. L'inverse est vrai.

V. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET SUBSTITUTION DE FACTEURS

Il s'agit maintenant d'explicitier les résultats en posant les deux questions suivantes. Premièrement, que se passe-t-il s'il n'y a pas de possibilité de substitution de facteurs ? Deuxièmement, que se passe-t-il si des chocs empêchent le bon fonctionnement des mécanismes économiques ? Lorsqu'il n'existe aucune possibilité de substitution entre l'énergie et les autres facteurs de production, le rapport entre la production et la consommation d'énergie diminue en fait proportionnellement à l'amélioration du rendement technique.

En cas de substituabilité nulle, un progrès technologique correspondant à un doublement du rendement par tonne d'un combustible réduirait en fait de moitié le rapport entre la consommation d'énergie et la production. Cependant, dans ce cas rare, ce progrès technologique n'aura *aucun* effet positif sur la croissance de la production. Si le rendement des autres facteurs augmente également, la hausse de la production sera proportionnelle au facteur qui croît le moins. Augmenter l'efficacité énergétique au delà des capacités du système économique d'absorber pleinement cette hausse permettra d'abaisser l'intensité énergétique sans contribuer cependant à la croissance économique.

Il faut se demander aussi ce qui se passera si les prix par volume *changent*. Une amélioration technologique du rendement énergétique analogue à celle que nous avons décrite peut être assimilée à une augmentation de l'offre de combustible, en termes d'unités d'efficacité. Or cette progression de l'offre entraînerait une baisse du prix des unités d'efficacité du combustible. La variation exacte du prix par tonne dépendra alors de l'élasticité de la demande d'unités d'efficacité énergétique.

Dans le cas extrême où les facteurs ne sont pas substituables, la demande d'énergie (par tonne) doit décliner si la baisse du prix des unités d'efficacité dépasse l'augmentation proportionnelle de l'efficacité. A l'opposé, les prix recommenceront à grimper si, par un effet rebond de très grande ampleur, la demande d'énergie (par tonne) venait à croître. Entre ces deux extrêmes, on ignore tout des variations de prix par tonne si ce n'est qu'elles seront nécessairement inférieures d'un ordre de grandeur aux augmentations de l'efficacité tant que ces deux forces contraires agiront.

Cependant, avant d'aborder l'analyse des différentes hypothèses relatives au concept essentiel de substituabilité, il nous faut évoquer en quelques mots les limites de ce raisonnement. Nous avons décrit des relations dans un contexte économique considéré comme stable. En fait, il n'est pas impossible qu'un choc majeur ébranle ces relations de manière discontinue. On peut envisager trois sortes de chocs :

1. Des chocs externes comme un conflit armé ou des bouleversements politiques majeurs.
2. Des percées technologiques majeures (comme l'invention de l'électricité) par opposition à des progrès graduels¹⁰.
3. Des réorientations fondamentales des politiques publiques et de la constitution d'infrastructures (par exemple, adoption d'un programme nucléaire ambitieux).

Des chocs de ce type bouleverseront le mécanisme décrit ci-dessus : un progrès technologique provoquant une réelle baisse des prix relatifs conduisant à son tour à une nouvelle combinaison de facteurs et finalement à une croissance économique plus forte.

Ces chocs empêchent l'ajustement structurel normal de l'économie aux nouvelles possibilités techniques et économiques. Cela pour deux raisons. Tout d'abord, le progrès en question intervient trop vite ou est trop important (dans le cas des percées technologiques majeures mentionnées au point 2 ci-dessus) pour pouvoir se convertir pleinement en croissance économique. Ensuite, des facteurs externes, comme un conflit armé ou des bouleversement politiques internes, supplantent les mécanismes du marché et gênent l'ajustement normal. C'est ainsi que les chocs externes interdisent, à court terme, aux mécanismes du marché de traduire le progrès de l'efficacité en croissance économique. Autrement dit, un choc externe peut en fait, provoquer une baisse de l'efficacité énergétique par l'intermédiaire de progrès technologiques tant que l'économie se développe plus lentement que la technologie. Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue que ces améliorations de l'efficacité ont un prix puisqu'elles supposent le renoncement à d'éventuelles hausses de la production. Dans les périodes consécutives à ces chocs, l'économie a besoin de récupérer, le temps de rétablir le lien, évoqué ci-dessus, entre les améliorations de l'efficacité et la croissance de la production. Au cours de ces périodes de rattrapage, les améliorations de l'intensité énergétique de l'économie sont nécessairement inférieures à la tendance normale¹¹.

VI. RÔLE DE LA TECHNOLOGIE PAR OPPOSITION AUX PRIX

En dehors de ces bouleversements, la relation fondamentale qui veut que des progrès des technologies énergétiques équivalent à des diminutions du prix relatif de l'énergie (en termes d'unités d'efficacité) vaut toujours. L'élasticité de substitution entre facteurs déterminera dans quelle mesure un rendement énergétique supérieur se traduira par une augmentation de la production ou une réelle baisse de l'efficacité énergétique¹². En cas de forte substituabilité entre facteurs et produits finals, l'effet rebond du progrès technologique peut être important. Dans le cas contraire, le progrès technologique abaisse beaucoup plus facilement le rapport de l'énergie à la production. Le reste de cette section sera consacré à l'analyse des hypothèses dans lesquelles les élasticités de substitution entre facteurs et produits sont fortes ou faibles.

Nous nous intéresserons à plusieurs faits déterminant l'élasticité de substitution et à la façon dont les économistes et les ingénieurs (ou leurs caricatures respectives) les perçoivent. Les hypothèses adoptées concernant l'élasticité de substitution sont souvent fonction des contraintes pratiques et méthodologiques de chaque discipline. La première différence de perception que l'on constate tient aux *échéances* considérées. La majorité des analystes convient que l'élasticité de substitution est très faible à court terme, au moment où passer d'une technologie à une autre ou d'un jeu de biens de consommations à un autre revient très cher.

Pourtant, les deux disciplines se différencient essentiellement par l'importance qu'elles accordent au *long terme*. A long terme, les possibilités techniques de substitutions sont bien supérieures. Les générations successives de capital et main d'œuvre ont des durées de vie variées, et leur substitution s'effectue progressivement. Au cours de ce processus, on adopte de nouvelles combinaisons de facteurs en fonction des nouvelles productivités marginales et des nouveaux prix. S'agissant des possibilités de substitution, les ingénieurs et les économistes se démarquent surtout par leur approche des substitutions *ex ante* et *ex post*. Pour l'économiste, le monde est un domaine ouvert où il s'agit de combiner différents facteurs de production et biens de consommations de la façon la plus avantageuse compte tenu de leurs prix et de leurs productivités marginales. Il a une perception *ex ante* de l'éventail des choix possibles de structure technologique et de la structure de la demande.

L'ingénieur, en revanche, conçoit le monde comme un ensemble de technologies et d'activités déterminant une demande caractérisée par des parts relatives fixes. Une hausse de la productivité d'un facteur ne touche que ce facteur. Les prix ne peuvent pas modifier les relations déterminées par la technique (ou la psychologie) et, s'ils le font, c'est seulement par un processus discontinu de passage d'une technologie existante à l'autre, sur lequel l'ingénieur pose un regard *ex post*. Cette différence d'approche avec, d'un côté, des arbitrages permanents entre facteurs et, de l'autre, des jeux de technologies isolées définit également sur les outils analytiques adoptés dans chaque discipline : calcul différentiel en économie, programmation linéaire en sciences et recherche opérationnelle¹³.

Cependant, la distinction entre le point de vue des ingénieurs et celui des économistes ne se limite pas à la dimension temps et englobe, comme nous l'avons vu dans l'analyse des points de vue micro-économique et macro-économique ci-dessus, la dimension de l'espace ou de la structure économique. Pour l'ingénieur, toute technologie a ses propres objectifs, ce que dénote la citation 1. L'économiste, en revanche, considère que toutes les technologies et tous les produits possibles peuvent se substituer les uns aux autres pour satisfaire les besoins et désirs de l'homme, en fonction seulement des prix relatifs. En d'autres termes tous les marchés sont interconnectés, comme le montre la citation 2.

Ces démarches différentes s'appuient sur les principes propres aux ingénieurs et aux économistes, à savoir la faisabilité technique de chaque solution ou l'optimisation d'un comportement en présence d'une série continue de solutions. Les méthodes de modélisation que privilégient les deux disciplines le font bien ressortir. En général, les ingénieurs préfèrent les modèles ascendants permettant d'estimer les coûts et les possibilités de pénétration de chaque technologie sans considérer les substitutions entre facteurs et produits et, par conséquent, les effets rebonds éventuels. On établit donc des courbes de l'offre en escalier depuis la technologie la moins chère, compte tenu de contraintes externes, jusqu'aux technologies les plus

chères. Les économistes, en revanche, construisent des modèles descendants pour évaluer l'offre et la demande avec les mêmes dotations et paramètres structurels et dans lesquels les prix génèrent la combinaison optimale de facteurs.

Bien sûr, chacun d'entre eux a beau jeu de relever les points faibles de la démarche de l'autre (« manque d'interactions », « manque de réalisme technologique »). Il demeure une différence fondamentale indépendante de la question du réalisme (également fonction des ressources disponibles) : les modèles technologiques traditionnels font abstraction de l'effet en retour de la demande, ou des comportements en général, dans les inputs économiques et les différents paramètres. Lorsque la demande est prise en compte, il s'agit d'une contrainte formulée de manière exogène et non d'une variable endogène. En d'autres termes, le modèle économique ne remplit pas sa fonction essentielle, liquider le marché aux prix d'équilibre.

Des études ascendantes négligeant ainsi la demande (avec ses possibilités de substitution entre facteurs, biens, voire pays fournisseurs suivant les prix) risquent de surestimer grossièrement les débouchés de différentes technologies. Cependant, avec les nouvelles générations de modèles et la coopération renforcée entre concepteurs de modèles appartenant aux deux écoles, on peut espérer combiner les atouts des deux démarches et lever quelques obstacles conceptuels inhérents.

Pour ce qui est des résultats empiriques, nous nous contenterons de présenter deux exemples historiques qui attestent de l'importance des prix. Alors que les prix finals sont globalement restés stables, en termes réels, depuis 1982, la relation entre le taux de croissance de la demande d'énergie et le PIB n'a en gros pas bougé. En revanche, le prix relatif du pétrole, qui a quasiment doublé au cours de deux chocs pétroliers, a eu un impact considérable sur la consommation. L'intensité pétrolière des pays de l'AIE suivait une croissance régulière au cours des années 60. En 1973, la tendance s'est inversée et, 20 ans après le deuxième choc pétrolier l'intensité a diminué de près de la moitié. Si la première hausse de prix a provoqué des bouleversements économiques considérables, ces trente dernières années, la croissance économique globale s'est maintenue quand bien même l'intensité pétrolière diminuait dans de fortes proportions¹⁴.

L'évolution de la consommation d'énergie en fonction du PIB est d'autant plus stable que la forme d'énergie considérée est plus proche du service ultime qu'on en attend, c'est-à-dire que les possibilités de substitution augmentent. De ce fait, le prix de l'électricité s'est moins senti des deux chocs pétroliers que le prix du pétrole ou de ses substituts pour la production d'électricité, à savoir le charbon et le gaz¹⁵. C'est pourquoi la tendance dominante pour l'électricité dans les années 60 s'est maintenue jusqu'à ce jour. De même, la relation entre la mobilité (mesurée par la durée des déplacements) et la production économique est plus stable que la relation entre la production et la consommation de combustible, en partie en raison des plus grandes possibilités de substitution entre ces derniers et de l'effet

amortisseur des fortes taxes. Cet exemple comporte un enseignement importante pour l'élaboration des politiques : il est plus efficace de modifier les prix relatifs lorsque les possibilités de substitution sont les meilleurs.

VII. CONCLUSIONS

La discussion qui précède montre que, dans une économie stable de marché en phase de croissance, il est pratiquement impossible d'abaisser la consommation absolue d'énergie uniquement par des améliorations technologiques, à moins de modifier les prix en conséquence pour préserver le coût de l'unité marginale d'efficacité. Bien entendu, on peut toujours envisager que le progrès technologique donne naissance à des formes d'énergie qui n'auraient aucun effet secondaire externe, sur l'environnement entre autres, et qu'ainsi la recherche de l'efficacité énergétique ne soit plus un objectif de politique publique. A l'heure actuelle, il ne s'agit là pourtant que de pures spéculations et non d'options¹⁶.

Abaisser la consommation absolue d'énergie dans une économie en développement passe par la prise en compte des variations des prix relatifs¹⁷. Si les sociétés acceptent de recourir aux prix relatifs pour réduire le rapport de l'énergie à la production, il faut que les marchés soient en mesure de remplir leur fonction d'équilibrage des coûts marginaux et des bénéfices. Les obstacles au fonctionnement efficace des marchés sont nombreux, notamment dans le secteur énergétique : subventions qui n'ont plus aucune relation avec l'existence de biens publics vérifiables, forts coûts de transaction et échecs des mesures incitatives, ce sont-là autant de facteurs empêchant les décideurs de faire apparaître les coûts et bienfaits réels de l'énergie dans leurs actions. Les marchés sont des institutions complexes dont le développement exige des soins et du temps. Dans ce domaine, le rôle des pouvoirs publics consiste à éliminer les obstacles, comme des subventions n'ayant plus lieu d'être, à s'assurer que les prix reflètent le coûts réels de la production et à abaisser les coûts de transaction en diffusant l'information, précisant les responsabilités et faisant respecter les contrats.

Même sur des marchés fonctionnant bien, cependant, les seules variations des prix relatifs provoqueront des pertes d'efficacité économique et ralentiront la croissance. C'est pourquoi, les technologies énergétiques doivent en permanence s'améliorer pour soutenir la croissance économique à mesure que le prix réel de l'énergie augmente. Deux conditions doivent par conséquent être remplies :

- Par des politiques-cadre appropriées, faciliter la création de marchés concurrentiels de façon à encourager la transparence des prix, une bonne réactivité aux changements de conditions structurelles et la diffusion rapide des nouvelles technologies.

- Renforcer les politiques publiques destinées à stimuler les progrès des technologies énergétiques. Les efforts seront centrés sur les domaines risquant le moins de refouler l'initiative privée et maximisant les retombées positives. A première vue, il s'agirait donc de la recherche fondamentale, de la coordination et de la diffusion technologique.

Si les progrès technologiques ont peu de chance, isolément, de faire baisser la consommation absolue d'énergie dans une économie en développement, ils restent néanmoins une source d'améliorations globales de la productivité et de croissance économique. Que l'on soit ingénieur, économiste, responsable de politique ou simple citoyen, nous savons tous que l'efficacité énergétique est un objectif valable. En tant que consommateurs d'énergie, nous continuons aussi d'exiger à des prix effectivement plus bas des quantités croissantes de services liés à l'énergie ou des biens énergivores. Les réalisations remarquables des ingénieurs et techniciens ne sont pas pour rien dans cette affaire.

Une amélioration du rendement énergétique contribue à la productivité totale des facteurs et à la croissance économique et, de ce fait, est susceptible d'entraîner de forts effets rebonds. Ni les ingénieurs ni les économistes ne suffiront à remplir le double objectif de réduire la consommation d'énergie et d'assurer la croissance économique. A objectifs multiples, il faut des instruments multiples. Seule l'expertise commune de tous les intervenants pourra résoudre le difficile problème de l'efficacité énergétique.

Affronter l'augmentation de la consommation d'énergie dans une économie en phase de croissance passe par une prise de conscience des réalités de la relation entre productivité des facteurs, croissance de la production et substitution de facteurs. Comme il est pratiquement impossible d'abaisser la consommation d'énergie sans modifier les prix, si la croissance de l'économie est supérieure au taux de croissance autonome, on ne peut qu'introduire dans la panoplie de mesures publiques des instruments jouant sur les prix qui permettent à la fois d'orienter les choix sur les technologies existantes présentant les meilleures efficacités énergétiques et de provoquer des innovations technologiques.

Comme le progrès technologique, une variation du prix a peu de chance d'influer sur la consommation d'énergie dans une phase de croissance économique. Le progrès technologique et économique induit par les prix repose sur les épaules de ingénieurs, des techniciens et des gestionnaires. Le fonctionnement du système de formation des prix dépend essentiellement de la souplesse et de l'inventivité des différents intervenants qui, ensemble, détermineront le niveau de la production et la consommation d'énergie. Si l'on veut obtenir des résultats significatifs, il faut associer de manière complémentaire les signaux de prix et les efforts pour améliorer les possibilités de progrès technologique.

NOTES

1. En fait, pour pouvoir respecter les engagements du Protocole de Kyoto il faudrait que la diminution de l'intensité énergétique aille *plus vite* que la croissance économique. Par conséquent, la question se formule également en ces termes : peut-on remplir les engagements pris dans le Protocole de Kyoto sans modifier explicitement les prix relatifs de l'énergie (au moyen de taxes ou de systèmes d'échanges de permis) ou en augmentant par une réglementation massive la part des énergies renouvelables ou du nucléaire dans la production d'électricité?
2. Techniquement, on appelle *intensité énergétique* la proportion d'énergie dans la production totale, Q/E . Il s'agit d'une valeur moyenne. L'*efficacité énergétique* désigne la productivité marginale d'utilisation de l'énergie, $*Q/*E$. La relation qui existe entre ces deux valeurs n'est pas simple puisqu'elle dépend des conditions dans lesquelles l'énergie est utilisée.
3. Nous mettrons en garde le lecteur qui estime appartenir à l'un de ces groupes. Les descriptions qu'il trouvera ici correspondent bien entendu à des caricatures établies pour les besoins de la démonstration.
4. L'expression la plus connue de la conviction des économistes qu'une multiplicité d'actions sans finalité commune puissent aboutir à un résultat commun à l'équilibre est la métaphore de la « main invisible ».
5. Ces deux expressions ont été à l'origine de multiples confusions. En fait, il ne s'agit que d'expressions imagées recouvrant les résidus ce que l'on ne parvient pas à expliquer lorsque l'on tente de répertorier les différents facteurs dont dépend le rapport de l'énergie à la production dans le temps. En fait, elles n'ont aucune valeur explicative.
6. Si l'on a deux facteurs, l'énergie (E) et le capital (K) et sachant que MP est la productivité marginale, on a la formule $MPE/MPK = PE/PK$, de sorte que $MPE/PE = MPK/PK = \text{constante}$.
7. La distinction entre unité d'énergie (grandeur physique constante) et unité d'efficacité (unités variables pour produire une quantité donnée de produit, *ceteris paribus*) peut être aussi formulée en termes d'énergie et de services énergétiques. Il est essentiel de comprendre, cependant, qu'une amélioration de l'efficacité énergétique *modifie* le lien qui existe entre la grandeur physique et la valeur finale.
8. Cela ne signifie pas pour autant que le prix final à l'équilibre sera de moitié du prix d'origine étant donné que la demande croissante ne pourra peut-être être satisfaite qu'à des prix supérieurs. La logique de l'argumentation reste cependant la même.
9. Cela supposerait une progression annuelle du rendement technique de l'ordre de $g/(1 - rb)$, où g est la croissance annuelle du PIB et rb l'ampleur de l'effet rebond. En l'absence de changement des prix relatifs, qui atténuerait l'effet rebond, la stratégie

la plus intéressante pour abaisser l'intensité énergétique consisterait à augmenter la productivité des autres facteurs que l'énergie, soit le capital et le travail. Cet effet explique, en fait, la corrélation négative entre l'intensité énergétique et le revenu par habitant.

10. Il est bien évident dans ce contexte que les politiques technologiques jouent un rôle important. Cependant, il convient d'ajouter que l'on peut rarement prévoir des percées technologiques de cette importance, sur lesquelles pèsent de grandes incertitudes et qui sont longues à mettre en œuvre.
11. Voir aussi Starr et Searl (1985). Les auteurs distinguent trois grandes évolutions de la relation entre la production américaine et la demande d'électricité au cours des cent dernières années.
12. Comme nous l'avons vu ci-dessus, l'effet sur la production et l'ampleur de l'effet rebond total dépendent également de l'élasticité de la demande du produit final, dont le prix diminuera même en l'absence de substitution entre facteurs. Dans un souci de simplicité, nous ne reviendrons pas sur cet effet.
13. Ces deux approches de la fongibilité des facteurs sont souvent jugées faire pendant aux facteurs de production, «putty» (économistes) ou «clay» (ingénieurs). Lire aussi Richard *et al.* (1978).
14. Le lecteur en trouvera une analyse plus détaillée dans «Oil Price Changes and the Macroeconomy», EAD Working Paper, n° 2, janvier 1999, p. 11.
15. L'AIE en a fait une analyse approfondie avant de remanier son modèle *World Energy Model* (WEM). Se fondant sur plusieurs tests économétriques dont l'analyse de régression standard et les tests de causalité de Granger, elle a décidé de modéliser séparément la demande d'électricité. Dans l'ancien WEM, en revanche, les demandes de combustibles fossiles et d'électricité étaient modélisées conjointement, ce qui supposait des possibilités de substitution entre combustibles gouvernées par les prix. On trouvera la discussion technique approfondie correspondante dans «New Modelling Framework of EAD: Review and Suggestions», EAD Working Paper n° 1, avril 1997, pp. 3-5.
16. Dans ce contexte, l'énergie nucléaire était et reste une option à condition qu'elle soit jugée acceptable par le public, que la sûreté soit garantie à un coût raisonnable pour l'industrie et que l'on trouve des solutions pour le stockage à long terme.
17. De toute évidence, certains instruments sont mieux adaptés à certains secteurs que d'autres. Les consommateurs privés, pour qui l'énergie ne représente qu'une faible part de leur budget, ne réagissent pas de la même manière que les entreprises qui surveillent de très près leur consommation d'énergie.

BIBLIOGRAPHIE

- BARDE, J.-P. (1995),
«Environmental Policy and Policy Instruments», dans H. Folmer *et al.* (eds.), *Principles of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Aldershot, pp. 201-227.
- HAYEK, F. (1945),
«The Use of Knowledge in Society», *American Economic Review*, 35:4, pp. 519-530.
- HICKS, J. R. (1932),
The Theory of Wages, Macmillan, London.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (1997),
The Link between Energy and Human Activity, AIE, Paris, pp. 12-13.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (1998),
World Energy Outlook, AIE, Paris, pp. 203-204.
- RICHARD, P., G. LAYARD et A. A. WALTERS (1978),
Microeconomics Theory, McGraw-Hill, New York, pp. 286-289.
- STARR, C. et M. F. SEARL (1985),
«US Electricity Needs vs. Planned Capacity Additions», *La revue de l'énergie* 374, pp. 8-15.

STIMULER L'INNOVATION ENVIRONNEMENTALE

Table des matières

I. Introduction.....	52
II. Réglementation environnementale et compétitivité.....	53
III. Innovation et compétitivité.....	56
IV. Le rôle de l'entreprise.....	57
V. Innovation et instruments économiques.....	60
VI. L'innovation au service de problèmes spécifiques d'environnement.....	62
VII. Conclusions.....	67
Bibliographie.....	69

Cet article a été écrit par Mme Yukiko Fukasaku de la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE.

I. INTRODUCTION

L'objectif du développement durable implique que l'on modifie les systèmes de production de telle façon que les perspectives des générations futures ne soient pas sacrifiées et que notre qualité de vie continue de s'améliorer. A l'évidence, la croissance économique est un préalable incontournable à toute modification des systèmes de production. Auparavant, il paraissait acquis que la croissance économique allait de paire avec une croissance parallèle de la consommation des ressources et, dans une certaine mesure, une dégradation de l'environnement. Toutefois, à la lumière de l'expérience de ces 30 dernières années, il apparaît qu'il est largement possible de découpler croissance économique, consommation des ressources et dégradation de l'environnement. Pour parvenir au développement durable, il convient d'accélérer ce processus de découplage, ce que l'on peut faire en modifiant la nature de la croissance économique, c'est-à-dire en transformant ce que nous produisons et la manière dont nous le produisons.

Lorsque la mise sur la voie du développement durable de notre système socio-économique impose une transformation radicale des produits et systèmes de production, l'innovation a un rôle crucial à jouer. En pratique, ce n'est que récemment que l'on a reconnu ce rôle fondamental de l'innovation technologique. Auparavant, la technologie était diabolisée : elle ne pouvait que détruire l'environnement et en aucun cas l'améliorer. Or, avec l'adoption des normes environnementales au cours des années 70, il est apparu que l'on pouvait diminuer la pollution de l'environnement (la pollution atmosphérique, par exemple) par l'utilisation d'innovations technologiques telles que les équipements de désulfuration. Aujourd'hui, on considère que la technologie joue un rôle positif dans la durabilité de l'environnement.

Cela dit, on peut objecter que les technologies antipollution entraînent des coûts de développement et d'exploitation élevés pour l'industrie et tendent à étouffer la croissance économique et la compétitivité. On estimait auparavant que les considérations d'environnement et les investissements des entreprises industrielles allaient à l'encontre de l'objectif de maximisation du profit (et donc de l'optimisation de l'efficacité de l'économie dans son ensemble) et qu'elles étaient préjudiciables à la compétitivité industrielle. Du point de vue économique, cette vision des choses tendait à conférer aux réglementations et innovations en matière d'environnement un rôle exclusif de « mal nécessaire » et donnait à penser que la

réglementation environnementale pouvait à elle seule stopper la dégradation de l'environnement. Par ricochet, l'environnement apparaissait alors comme un domaine de peu d'intérêt au regard de la politique pour l'innovation et la technologie.

Aujourd'hui, cette position est de plus en plus remise en question. La réglementation environnementale peut accroître la compétitivité industrielle et contribuer de manière positive à la croissance économique en favorisant les innovations qui permettent non seulement d'observer les obligations réglementaires, mais également d'améliorer l'efficacité dans la production et les performances des produits. Cette analyse met en évidence le rôle double de l'innovation et de la technologie qui peuvent contribuer à réaliser l'objectif de la durabilité de l'environnement et à améliorer la compétitivité industrielle. Certaines tendances récemment observées au niveau de l'interface entre environnement et soutien à l'innovation confirment l'importance du rôle de l'innovation et de la technologie dans la concrétisation de l'objectif de la durabilité de l'environnement. La première porte sur l'évolution des régimes réglementaires qui s'écartent de la voie contraignante, des spécifications technologiques et des normes de performances pour recourir plus largement aux instruments économiques, qui sont des moyens d'action et d'incitation bien plus efficaces en faveur de l'innovation environnementale. En parallèle, l'industrie tend désormais à intégrer les améliorations en matière de performances environnementales dans ses stratégies d'entreprises. Concrètement, les entreprises abandonnent les solutions en bout de chaîne et adoptent des produits et procédés moins polluants et moins gourmands en ressources.

II. RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE ET COMPÉTITIVITÉ

L'incidence des réglementations environnementales sur la compétitivité est une question largement débattue. Selon la pensée économique classique, l'observation de réglementations environnementales impose des coûts, ce qui nuit à la compétitivité et bride la croissance économique. Une amélioration de la situation de l'environnement a certes été réalisée, mais elle a coûté aux pays Membres de l'OCDE de 1 à 2 % de leur PIB (OCDE, 1997a). Dans le débat actuel, les définitions que l'on donne des coûts et de la compétitivité ne sont pas toujours dénuées d'ambiguïté et elles recouvrent généralement plusieurs dimensions. Après examen de diverses études empiriques portant sur les effets des réglementations environnementales sur la compétitivité internationale mesurés selon différents critères : variation des exportations nettes des industries des États-Unis (Kalt, 1988 ; Grossman et Krueger, 1993 ; Tobey, 1990) ; courants généraux d'échanges (Low et Yeats, 1992) ; et décisions concernant la localisation des sites de production (Bartick, 1988 ; Levinson, 1992), Jaffe *et al.* (1995) sont parvenus à la conclusion

que les effets négatifs de la réglementation étaient faibles ou statistiquement négligeables.

Cette étude a également passé en revue différentes études empiriques sur les effets des réglementations environnementales sur la productivité du secteur industriel des États-Unis (Barbera et McConnel, 1990 ; Denison, 1979 ; Gallop et Roberts, 1983 ; Gray, 1987) et conclu que « l'incidence négative de la réglementation environnementale était limitée ». Cette conclusion va dans le sens d'une autre étude qui conclue que « les études déjà menées n'ont identifié que peu d'incidences négatives des mesures de protection de l'environnement sur la compétitivité et l'investissement international au niveau macro-économique » (OCDE, 1993).

Comme l'ont souligné Jaffe *et al.* (1995), ces analyses partent du principe que les réglementations augmentent les coûts de production et, partant, réduisent la productivité et l'investissement, avec des effets négatifs sur la croissance économique. Cependant, certains avancent maintenant que les réglementations réduisent en fait les coûts de production et peuvent stimuler la croissance et la compétitivité. Cette position, qui est notamment celle de Porter et van der Linde (Porter, 1991 ; Porter et van der Linde, 1995), est appelée « l'hypothèse de Porter ». A l'origine, le concept portait essentiellement sur le lien entre des réglementations environnementales nationales strictes et la compétitivité internationale des secteurs réglementés par rapport à ceux des pays soumis à des réglementations moins strictes (Porter, 1990, 1991), mais sa formulation s'est par la suite élargie et englobe désormais la compétitivité au niveau de l'entreprise.

Porter et van der Linde estiment que le débat sur l'environnement et la compétitivité, selon lequel il y aurait nécessairement un compromis entre les avantages pour la collectivité et les coûts privés (pour l'industrie), est « mal cadré ». Selon eux, la relation négative entre réglementation et compétitivité provient d'une vision statique de la réglementation et la technologie. En réalité, la réglementation et la technologie évoluent en permanence et la compétitivité industrielle dépend de « l'aptitude à l'innovation et l'amélioration ». Ils ajoutent que « des normes environnementales bien conçues peuvent susciter l'éclosion d'innovations qui compensent, partiellement ou même plus que largement, les coûts liés à leur observation ». Le cas échéant, ces « compensations par l'innovation » peuvent même conférer un avantage absolu sur les entreprises d'autres pays qui ne sont pas soumises aux mêmes réglementations.

Selon Porter et van der Linde, le mécanisme qui fait le lien entre réglementation environnementale et compétitivité industrielle est *grosso modo* le suivant : les réglementations environnementales signalent aux entreprises les cas de consommation excessive de ressources dans les procédés qu'elles emploient ou les produits qu'elles fabriquent et, parallèlement, elles indiquent les améliorations technologiques qui pourraient permettre de résoudre ces problèmes. Ensuite, ce

signal déclenche un processus d'apprentissage au sein des entreprises, qui débouche sur des améliorations technologiques répondant aux réglementations. Ces « compensations par l'innovation » ont d'autres effets positifs du point de vue du rendement d'utilisation des ressources (amélioration de la qualité des produits, amélioration du rendement énergétique, réduction des déchets, etc.), et contribuent de ce fait à une meilleure compétitivité. Par ailleurs, les auteurs soulignent que cette amélioration de la compétitivité induite par les réglementations environnementales constitue un processus dynamique : dans un premier temps, les entreprises font des choix sous-optimaux puis, dans un second, celles qui réussissent modifient dynamiquement leur stratégie d'innovation et renforcent leur position concurrentielle. De nombreux exemples de telles « compensations par l'innovation » sont cités.

Jaffe *et al.* ont critiqué cette approche de la relation entre réglementation et compétitivité, ainsi que d'autres du même type (par exemple, Barbera et McConnel, 1990 ; Meyer, 1992) en estimant qu'elle « étaye sa démonstration en recourant surabondamment à des éléments spéculatifs et anecdotiques ». Pour leur part, Porter et van der Linde soulignent qu'aucune approche économique n'a jamais démontré de manière convaincante que les réglementations environnementales produisaient des effets négatifs sur la compétitivité et la croissance économique. En tout état de cause, comme le soulignent Jaffe *et al.*, il semble que « l'analyse empirique systématique de l'hypothèse de Porter ne fait que commencer » et qu'il appartiendra à d'autres travaux de recherche d'apporter des données plus systématiques.

La représentation positive de la relation réglementation-compétitivité ne dit pas que les réglementations environnementales ne génèrent pas des coûts. Elles entraînent bel et bien, mais dans le long terme, la réponse dynamique et innovante suscitée par les réglementations accroît l'efficacité de la production des entreprises, de sorte que le gain de compétitivité compense les surcoûts. Cette conception est étroitement liée à celle de l'économie de l'innovation qui confère une importance au rôle de l'innovation dans la croissance économique. Certaines études recensent des éléments selon lesquels les réglementations environnementales stimulent effectivement les activités innovantes. Ainsi, selon une étude qui examine la corrélation entre, d'une part, les dépenses d'environnement et, d'autre part, les demandes de brevets concernant des technologies antipollution, les dépenses de protection de l'environnement aux États-Unis, en Allemagne et au Japon (liées à des réglementations environnementales ou des coûts de mise en conformité) ont entraîné une augmentation du nombre des demandes de brevets (Lanjouw et Mody, 1996). Une autre étude établit qu'un accroissement des dépenses de mise en conformité au sein d'une industrie aux États-Unis est suivi d'une hausse concomitante de la R-D (Jaffe et Palmer, 1996). Cela étant, la question de savoir si la R-D induite par la réglementation peut déboucher sur une baisse des coûts de production ou la création de nouveaux produits ou l'amélioration de ceux

existants reste sans réponse. Par ailleurs, l'étude souligne également la difficulté qu'il y a à établir un lien causal faute de données détaillées, et indique que des études ciblées par secteur pourraient résoudre cette difficulté et contribuer à une meilleure compréhension de l'interface réglementation-innovation.

III. INNOVATION ET COMPÉTITIVITÉ

L'association positive entre les pressions réglementaires, d'une part, et l'investissement dans la R-D industrielle et les demandes de brevets, d'autre part, suppose que l'innovation représente une part importante de la réponse de l'industrie aux réglementations. Si l'on tient compte de cette observation, la question de la réglementation environnementale et de la compétitivité ne constitue qu'un aspect du problème plus général de l'innovation et de la compétitivité. Dans ce contexte, l'économie de l'innovation, telle qu'elle a été observée au cours de ces dernières décennies, tend à confirmer le rôle positif de l'innovation au regard de l'amélioration de la compétitivité.

Un élément, établi sans ambiguïtés par les études sur l'innovation, mérite d'être souligné : l'innovation a un coût et celui-ci peut parfois se révéler élevé. Principal argument que l'on peut opposer à l'hypothèse de Porter, celui-ci est avancé non seulement par les économistes, mais aussi par les chercheurs en techniques de gestion. Walley et Whitehead (1994) critiquent la rhétorique sommaire du double cercle vertueux mis en avant dans l'hypothèse de Porter en faisant valoir que la mise en conformité est extrêmement coûteuse, en particulier dans les industries traditionnellement polluantes telles que le pétrole, les produits chimiques et les pâtes et papiers. Ce faisant, ils ne prennent pas fait et cause pour la position des entreprises opposées aux réglementations environnementales. Plus exactement, ils indiquent que, pour l'entreprise, le véritable objectif en termes de gestion est d'accroître l'efficacité et l'efficacité de ses dépenses d'environnement et non pas de rechercher des solutions doublement fructueuses qui, selon eux, sont rares. L'entreprise doit choisir entre les avantages pour l'environnement et la *valeur pour l'actionnaire*, et non pas faire des choix par rapport aux coûts de mise en conformité. Pour élaborer une stratégie environnementale saine, une entreprise doit savoir précisément quelles sont ses dépenses d'environnement et les avantages qu'elles produisent (c'est-à-dire qu'elle doit tenir une comptabilité environnementale), de façon à pouvoir adopter une approche qui produise un avantage maximum pour l'environnement pour un coût minimum, ce qui nécessite une approche systématique, intégrée et flexible.

Au bout du compte, ces deux visions, l'une optimiste et l'autre pessimiste quant aux avantages qu'il y a à promouvoir le souci écologique dans l'industrie, attribuent toutes deux à l'innovation un rôle central dans l'amélioration des perfor-

mances environnementales des entreprises. C'est par l'innovation – que celle-ci représente ou non un coût net – qu'une entreprise peut améliorer ses performances environnementales et, si elle utilise les stratégies voulues, elle peut même préserver, voire accroître, sa valeur et parfois renforcer sa compétitivité. Il convient de noter que certains spécialistes affirment, dans leurs études sur l'innovation, que la recherche de la durabilité environnementale pourrait devenir une tendance générale impliquant une déviation de la trajectoire technologique existante. Ainsi, à long terme, les innovations en matière de protection de l'environnement pourraient bien être au cœur d'une nouvelle et longue période de croissance économique, de la même manière que les technologies de l'information et la biotechnologie sont aujourd'hui les moteurs de la reprise actuelle (Freeman et Soete, 1997).

IV. LE RÔLE DE L'ENTREPRISE

Que le souci écologique dans l'industrie soit synonyme de gain de compétitivité ou de compromis subtil entre les performances environnementales et la valeur de l'entreprise, les spécialistes notent (Howes *et al.*, 1997 ; Fischer et Schot, 1993) que la stratégie environnementale de l'entreprise a radicalement changé au cours de ces 30 dernières années, passant d'une approche défensive et correctrice à une nouvelle approche positive et anticipative. Cette évolution s'est véritablement concrétisée au milieu des années 80. En revanche, la phase immédiatement précédente a été celle de « l'adaptation récalcitrante » (Fischer et Schot, 1993) de la part des entreprises industrielles qui, en majorité, étaient peu disposées à tenir compte des questions de protection de l'environnement.

A ce stade, les entreprises se contentaient de se conformer au plus juste aux réglementations environnementales et s'opposaient bien souvent à tout durcissement des dispositions en vigueur. Au cours des années 80, cette approche correctrice de l'amélioration des performances environnementales a cédé le pas à une attitude plus positive et anticipative. Avec une réglementation de moins en moins fondée sur l'adoption de technologies spécifiques et de plus en plus sur des objectifs de performances, les entreprises ont pu élaborer leurs propres stratégies pour se conformer aux normes fixées. Les questions d'environnement font aujourd'hui partie de la stratégie des entreprises qui peuvent gérer ces aspects de manière plus anticipative. Les grandes entreprises publient des déclarations d'engagement formelles de protection de l'environnement et adoptent des stratégies d'entreprises et des systèmes de gestion de l'environnement. De plus en plus, le souci de l'environnement fait partie de la culture d'entreprise.

Cette mutation de l'attitude des entreprises à l'égard des questions d'environnement apparaît clairement dans la « Declaration of the Business Council for

Sustainable Development » (déclaration du Conseil mondial des entreprises pour un développement durable), contenue dans l'ouvrage intitulé fort à propos *Changer de cap* (Schmidheiny, 1992), préparée pour exprimer la position du Conseil mondial des entreprises pour un développement durable au Sommet « Planète Terre ». Cette déclaration formule un engagement clair du secteur des entreprises en faveur du développement durable, fondé sur la conviction que la croissance économique en est une condition *sine qua non* et que les nouvelles technologies sont les clés de la croissance et d'une utilisation plus efficiente des ressources. Le texte précise que « la marche vers le développement durable est cohérente pour l'entreprise puisqu'elle peut conférer un avantage concurrentiel et créer des débouchés », mais dans le même temps elle nécessite « une modification en profondeur de l'attitude des entreprises et des pratiques commerciales ». Enfin, la Déclaration appelle l'éclosion de « nouvelles formes de coopération entre les pouvoirs publics, les entreprises et la société civile » pour réformer les marchés, et souhaite que l'on promeuve le principe d'efficacité pour l'environnement par la prévention de la pollution, le recours aux technologies moins polluantes et des partenariats avec l'industrie pour diffuser les technologies appropriées.

Ce changement d'attitude coïncide dans le temps avec une réorientation des stratégies d'innovation de l'industrie, des technologies en bout de chaîne vers les produits et procédés moins polluants. Concrètement, cette évolution se fait au profit de la prévention de la pollution, de la réduction des sources de pollution ou de changements dans les procédés de fabrication. Les technologies moins polluantes peuvent produire des avantages pour l'environnement et générer des économies pour l'entreprise. C'est probablement ce type d'évolution que l'on trouve en filigrane derrière l'argument du double cercle vertueux qui s'appuie sur la corrélation positive entre les avantages pour l'environnement et l'amélioration de la compétitivité. Certaines études donnent des éléments statistiques sur l'adoption de technologies moins polluantes. Lanjouw et Mody (1996) montrent ainsi la ventilation des dépenses de lutte antipollution des les domaines de l'air et de l'eau au sein du secteur manufacturier aux États-Unis, et il en ressort que la part des « changements de procédés de fabrication » a progressé au cours des années 80 et que celle des procédés « en bout de chaîne » a reculé.

Si les technologies moins polluantes semblent intéressantes en tant que concept, Howes *et al.* (1997) font prudemment observer que, dans les faits, peu d'entreprises y recourent sciemment en tant que principe ou outil pratique pour la prise de décisions. Les technologies moins polluantes sont un concept abstrait dont la signification varie selon les contextes. Il recouvre toute une gamme d'innovations, des simples investissements de mise en conformité et autres investissements spécifiques pour réduire les coûts aux procédés plus fondamentaux et autres innovations en matière de produits. Peu d'entreprises élaborent leurs stratégies et décisions en matière d'investissement en s'appuyant sciemment sur le

concept de technologie moins polluante ; en fait, elles souhaitent obtenir des technologies de fabrication plus efficaces qui, une fois adoptées, procurent un gain général en matière d'environnement. A long terme, cette tendance peut entraîner une réduction des investissements de mise en conformité et conférer aux entreprises une plus grande maîtrise de leur calendrier d'action dans le domaine de l'environnement. Pour l'entreprise, les technologies moins polluantes ne constituent pas un critère pour le choix de telle ou telle option technique, mais plutôt un élément qui peut orienter la stratégie d'ensemble à un niveau supérieur « de telle façon que les critères d'environnement soient intégrés dans les processus de prise de décisions et de développement technologique ».

Selon toute vraisemblance, ce n'est pas le souci de l'environnement qui motive l'adoption de technologies moins polluantes, mais plutôt la perspective des économies associées à une utilisation efficiente des ressources. La réponse de l'industrie japonaise aux chocs pétroliers des années 70 en donne un exemple : dans cette économie massivement dépendante du pétrole, la hausse des cours a constitué une puissante incitation en faveur des économies d'énergie dans les secteurs polluants parvenus à maturité. Cette riposte a permis non seulement d'améliorer le rendement énergétique, mais également de hausser considérablement les performances environnementales et, sans doute, d'accroître la compétitivité internationale de bon nombre de ces secteurs aux cours des années 80 (Fukasaku, 1995).

L'évolution de la réponse donnée par les entreprises aux questions d'environnement au cours des 30 dernières années, et l'abandon concomitant des solutions en bout de chaîne au profit d'options moins polluantes, illustre bien la diversité croissante des choix auxquels sont confrontés les responsables dans toute décision visant à accroître l'efficacité des activités de l'entreprise. Grâce à la plus grande latitude qu'elles laissent désormais, les réglementations environnementales offrent des *perspectives* d'innovation et d'augmentation de la compétitivité, bien plus que des contraintes. Cela dit, cette plus grande diversité des choix implique qu'il est de plus en plus difficile et complexe de prendre la décision appropriée pour optimiser l'efficacité des activités de l'entreprise. On avance parfois que l'étendue et la complexité de l'éventail des possibilités « créent une structure d'incitation de la direction qui se diffuse dans toutes les dimensions ».

Galarotti (1995) recense les nombreuses dimensions de cette structure d'incitation : gestion du côté de l'offre, considérations du côté de la demande, interdépendances dans la production et la distribution, et incitations financières. La gestion du côté de l'offre se rapporte à la nécessité d'adopter une approche intégrée pour améliorer l'éco-efficience par la mise en œuvre d'innovations technologiques et structurelles, telles que la coopération et la création de réseaux inter-entreprises. Les considérations du côté de la demande ont trait à l'exploitation des opportunités de marché offertes par la demande croissante de produits

écologiques différenciés, ainsi qu'à la nécessité de répondre aux exigences de la chaîne d'approvisionnement « verte » par le biais d'un système d'achat « vert ». De plus en plus, les investisseurs « verts » obligent les entreprises à améliorer leurs performances environnementales pour valoriser leurs participations et améliorer leur accès au crédit. Par conséquent, cet environnement « vert » au sein duquel sont menées les activités des entreprises crée délibérément des opportunités complexes, mais rémunératrices, ainsi qu'une structure d'incitations pour changer la stratégie des entreprises

V. INNOVATION ET INSTRUMENTS ÉCONOMIQUES

Parallèlement à l'évolution de l'attitude des entreprises face aux questions d'environnement au cours des 30 dernières années, l'action des pouvoirs publics en matière de réglementations environnementales s'est elle aussi transformée. En l'occurrence, cela s'est généralement traduit par un abandon des régimes fondés sur des réglementations contraignantes simples ou des spécifications techniques au profit d'autres régimes faisant plus largement appel aux instruments fondés sur le jeu du marché. Cette évolution a suivi deux grands axes : l'émergence d'une meilleure structure d'incitation à l'amélioration des performances environnementales dans l'industrie et l'introduction d'une plus grande flexibilité dans l'observation des réglementations.

Il est intéressant de noter que tant l'approche fondée sur l'économie de l'environnement que celle fondée sur la gestion des entreprises soulignent que les effets produits par les réglementations ne sont pas comparables entre eux. Jaffe *et al.* (1995) relèvent ainsi que les réglementations environnementales ne sont pas identiques du point de vue des coûts ou des avantages. Ainsi les réglementations fondées sur le jeu du marché ou l'incitation économique, telles que celles mettant en jeu des permis négociables ou des redevances de pollution, sont généralement plus efficaces par rapport à leur coût que les réglementations contraignantes. Hahn et Stavins (1992) soutiennent que les instruments économiques sont moins onéreux que la mise en place de normes technologiques ou de performances. En effet, dans un régime réglementaire fondé sur le jeu du marché, les entreprises tendent à réduire la pollution dans toute la mesure où cela est rentable, celles qui dépolluent le plus étant celles pour qui cette opération la moins onéreuse. Dans ce contexte, les instruments économiques incitent en continu les entreprises à adopter des procédés et technologies plus performants, parce qu'il est toujours rentable d'élargir l'action antipollution s'il existe une méthode suffisamment bon marché pour ce faire.

Porter et van der Linde (1995) précisent que les réglementations doivent être « soigneusement élaborées » pour susciter des réponses innovantes et améliorer

la compétitivité. Ces réglementations « soigneusement élaborées » doivent viser à créer un cadre aussi favorable que possible pour l'innovation, dans lequel c'est l'industrie et non pas l'autorité chargée de la réglementation qui choisit l'approche. En outre, les réglementations doivent être conçues de façon à favoriser en permanence le perfectionnement du système et non pas imposer l'emploi d'une technologie donnée. Concrètement, ces réglementations appellent l'utilisation d'instruments économiques tels que les redevances de pollution, les systèmes de consigne et les permis négociables. Une étude qui a examiné les effets sur l'innovation de différents instruments d'action dans le domaine de l'environnement conclut que certains peuvent brider l'innovation et que, de manière générale, les innovations qu'ils suscitent sont de nature variable (OCDE, 1999a).

Howes *et al.* (1997) résumant de la manière suivante les avantages des instruments économiques sur les normes. Tout d'abord, à court terme, ils peuvent permettre d'atteindre un niveau donné d'amélioration de l'environnement, à un coût moindre pour la collectivité que par la mise en place de normes, en laissant à l'industrie le choix de la technologie la mieux adaptée et la plus efficace. Ensuite, à long terme, ils peuvent inciter l'industrie à chercher en permanence des améliorations, au-delà des normes fixées. Ce ressort peut favoriser l'innovation en incitant les pollueurs à opter pour des technologies moins polluantes et à développer de nouvelles technologies.

L'introduction d'instruments fondés sur le jeu du marché découle d'une prise de conscience du caractère inadapté des approches réglementaires traditionnelles, notamment l'approche contraignante fondée sur des spécifications techniques. Les instruments économiques offrent plusieurs avantages : incitation en faveur de l'adoption d'approches plus *économiques*, grâce à une plus grande *flexibilité* dans le choix de la réponse, et création d'*incitations* en faveur d'une action innovante continue pour une plus grande efficacité environnementale. Par ailleurs, certains instruments, tels que les droits et redevances, génèrent des recettes qui peuvent être affectées à d'autres types d'action. Cette approche confère assurément un rôle central à la dynamique de l'innovation industrielle dans la promotion de la durabilité environnementale.

Au cours des dernières décennies, des instruments économiques ont été appliqués dans un certain nombre de contextes dans les pays Membres de l'OCDE : tarification des effluents aqueux aux Pays-Bas, en Allemagne et en France ; redevance sur le NO_x en Suède ; et permis négociables sur les effluents aqueux et les émissions de soufre aux États-Unis. Cependant, malgré les avantages évidents qu'ils offrent théoriquement, on ne dispose que de peu d'éléments sur leurs performances et leurs incidences, notamment concernant leurs effets sur l'évolution technologique. De toute évidence, le manque de données pose un problème. Cela dit, le fait que les instruments économiques ne sont pas appliqués de manière indépendante, mais souvent en compléments d'autres actions réglementaires plus

traditionnelles, complique encore leur évaluation. Par conséquent, il est difficile d'isoler précisément les effets qu'ils produisent (OCDE, 1997b).

Par ailleurs, dans les faits, il semble que leur impact sur l'innovation soit resté modeste du fait qu'ils n'ont pas été fixés à des niveaux élevés ou utilisés à grande échelle (OCDE, 1999a). Howes *et al.* (1997) relèvent qu'en Europe seuls les pays nordiques ont appliqué avec succès des instruments fondés sur le jeu du marché. Dans les autres pays, l'adoption de mécanismes réglementaires fondés sur le jeu du marché a été entravée par l'opposition de l'industrie ou des désaccords sur le niveau approprié des droits ou redevances, comme cela a été le cas pour la taxe mixte énergie-CO₂ à l'échelle de l'UE et un système de contingents d'émissions de soufre négociables.

Les obstacles à la mise en place d'un régime réglementaire utilisant des instruments fondés sur le jeu du marché sont l'illustration des blocages rencontrés sur la voie vers le développement durable. De fait, ces instruments théoriquement efficaces rencontrent à l'évidence des difficultés pour parvenir à un niveau acceptable de mise en œuvre pratique. Howes *et al.* (1997) observent que le processus de négociation d'un instrument fondé sur le jeu du marché peut se révéler aussi complexe que pour un instrument réglementaire traditionnel ; en effet, un plus grand nombre d'acteurs sont impliqués et l'industrie est inquiète à l'idée de concéder aux autorités une capacité étendue de prélèvement fiscal. Les permis négociables peuvent avoir pour conséquence de dresser les entreprises les unes contre les autres alors qu'avec une réglementation classique elles font cause commune contre le gouvernement. Bien que l'on s'accorde à reconnaître que les instruments fondés sur le jeu du marché offrent, en principe, une perspective constructive, ils soulèvent néanmoins des problèmes d'équité et posent des difficultés de procédure concernant leur négociation.

VI. L'INNOVATION AU SERVICE DE PROBLÈMES SPÉCIFIQUES D'ENVIRONNEMENT

La discussion précédente a porté sur l'évolution au cours des 30 dernières années de la politique et de la réponse des entreprises aux problèmes d'environnement. Au cours de cette période, la nature des problèmes d'environnement inscrits à l'ordre du jour des pouvoirs publics a elle aussi changé, reflétant en cela l'évolution de notre perception des problèmes d'environnement. Cette transformation met en jeu plusieurs dimensions. Premièrement, l'attention est passée des problèmes de pollution à l'échelle locale aux problèmes écologiques régionaux et mondiaux, c'est-à-dire de problèmes dont les solutions sont relativement directes, par exemple réduire les émissions atmosphériques pour améliorer la qualité de

l'air au plan local, à des questions plus complexes et plus diffuses, telles que la modification du climat.

Aujourd'hui, les questions d'environnement qui retiennent l'attention des pouvoirs publics sont relativement moins liées aux procédés de production et plus à la consommation et à la phase post-consommation (Howes *et al.*, 1997). La modification du climat est un problème qui concerne tout autant les consommateurs que les producteurs, tout comme la réduction des déchets ou les systèmes et technologies de transports plus durables. Cette évolution s'est faite progressivement, à mesure que l'on s'apercevait que la gestion du flux des matières sur l'ensemble du système économique était la clé d'une société plus durable (boucler la boucle des matériaux). La diffusion de notions telles que le rendement d'utilisation des ressources, l'éco-efficience et l'objectif « zéro émission », illustre bien cette tendance. Pour leur part, ces notions reflètent la tendance consistant à identifier des questions technologiques communes derrière les problèmes d'environnement, qu'ils soient mondiaux, régionaux ou locaux, et à concentrer l'attention sur des solutions technologiques réalisables.

Cette modification de la perception des grands problèmes d'environnement oriente très clairement la politique et la réponse des entreprises sur l'innovation et la technologie. Les questions telles que la réduction des déchets appellent des solutions *structurelles* innovantes. Par exemple, l'innovation *systémique* est indispensable pour l'élaboration de systèmes de transports durables. De même, la recherche d'approches nouvelles et créatives de la gestion des flux de matériaux dans la production nécessitera une approche *interdisciplinaire*. Même si les problèmes sous-jacents sont semblables et techniques par nature, la prise en compte des problèmes d'environnement à l'échelle mondiale, tels que la modification du climat, nécessitera une *coopération internationale*.

La réponse des entreprises aux questions d'environnement a considérablement évolué au cours de ces trente dernières années. L'attitude systématiquement opposée aux réglementations environnementales et leur observation réticente via des solutions en bout de chaîne a aujourd'hui cédé le pas à une internalisation anticipative des questions d'environnement dans les activités des entreprises par l'adoption de stratégies fondées sur des approches moins polluantes de la production industrielle. Dans de nombreuses entreprises, des unités chargées des questions d'environnement ont ainsi été créées, des déclarations d'engagement en faveur de l'environnement ont été rédigées, et des systèmes internes de gestion de l'environnement ont été mis sur pied. Certaines grandes entreprises avancent résolument dans cette voie et sont même suffisamment ambitieuses pour aspirer au titre « d'entreprise durable ».

Toutefois, cette évolution vers une réponse anticipative des entreprises n'a pas été simple, ni directe. L'introduction de nouvelles réglementations ou le

renforcement de celles existantes donnent en général toujours lieu à une certaine résistance. La notion d'une corrélation positive entre l'observation de réglementations strictes et l'amélioration de la compétitivité industrielle – l'argument du double cercle vertueux ou du double dividende – a certes gagné du terrain, mais pas tant que ça. De manière générale, les grandes entreprises ont fait preuve de coopération dans l'élaboration de stratégies environnementales positives, mais de nombreuses petites et moyennes entreprises (PME) ne sont pas volontiers allées au-delà de la simple mise en conformité. D'ailleurs, bon nombre de grandes entreprises ont fait preuve d'une certaine lenteur dans l'élaboration d'une stratégie positive pour lutter contre le réchauffement planétaire par une réduction radicale des émissions de gaz à effet de serre. Dans de nombreux cas, la résistance des entreprises reste manifeste.

En réalité, il semble que la situation ne débouche sur un double dividende que dans certains cas. C'est seulement pour certains problèmes d'environnement et dans la phase de développement industriel dans laquelle ces possibilités n'ont pas été exploitées que le fait de recourir à l'innovation pour atténuer l'impact sur l'environnement permet de réduire les coûts de production et d'améliorer l'efficacité opérationnelle d'une entreprise. Selon Howes *et al.* (1997), le fait qu'une entreprise élabore ou non une stratégie d'environnement positive en réponse à une initiative réglementaire dépend largement du problème d'environnement considéré. Parmi les problèmes d'environnement pour lesquels ils ont examiné les réponses données par des entreprises du Royaume-Uni, l'abandon progressif des CFC et la dépollution des sols pollués ont donné lieu à une réponse positive. En revanche, cela n'a pas été le cas pour la réduction des gaz à effet de serre afin de lutter contre le réchauffement planétaire. Dans certains cas, le problème d'environnement considéré implique un arbitrage (par exemple, entre qualité de l'air et transport). Bien que les innovations techniques aient permis de réduire les émissions de gaz d'échappement au cours de ces dernières décennies, l'augmentation de la circulation réduit à néant l'amélioration de la qualité de l'air qui aurait dû en résulter. De surcroît, toute nouvelle stratégie pour l'avenir doit en plus considérer le problème du système de transports dans son ensemble.

Les problèmes d'environnement qui peuvent être résolus par une réduction des déchets ou une meilleure efficacité de la production, grâce à une économie de ressources, constituent de véritables situations à double dividende. La réduction des déchets en général, la réduction de certaines substances toxiques et les économies d'énergie entrent dans cette catégorie. En fait, les réponses positives des entreprises correspondent à ce type de problèmes (par exemple, le Programme de gestion responsable, dans l'industrie chimique) ; dans un avenir proche, ce devrait être le type de stratégie le plus couramment employé par les entreprises. La popularité dont l'argument du double dividende a joui au cours de cette décennie met en évidence le fait que de nombreuses entreprises n'ont pas encore identifié ni

exploité les possibilités d'amélioration de l'efficacité et de réduction des déchets dans leurs activités. Cela dit, il convient de souligner que les situations à double dividende sont rares et que leur nombre ira en s'amenuisant. Même les défenseurs de cet argument notent que nous sommes dans la phase de développement industriel dans laquelle ces opportunités sont encore nombreuses (Porter et van der Linde, 1995). Pour exploiter au maximum ces situations, les entreprises doivent connaître le coût exact de leurs dépenses d'environnement et les avantages qu'elles en retirent. Cette condition appelle la mise au point et la diffusion de nouvelles méthodes de comptabilité environnementale.

En l'état actuel, comme le soulignent Howes *et al.*, il serait insensé d'ignorer la possibilité de situations à double dividende, mais il serait tout aussi insensé de compter sur elles pour donner naissance à un secteur industriel plus durable. La perspective d'une raréfaction de ces opportunités entraînera certainement une réorientation à long terme de la stratégie des entreprises, comme de celle des pouvoirs publics, au regard de l'innovation et de la durabilité environnementale. Il est difficile de prévoir ce que sera cette évolution, mais avec l'émergence de nouvelles technologies – technologies de l'information et des communications, biotechnologies, matériaux avancés et micro-technologies –, il fait peu de doute que l'innovation continuera de jouer un rôle important.

Du point de vue de l'action, l'évolution des réglementations environnementales se caractérise par une diversité croissante. Les réglementations contraignantes fondées sur des spécifications techniques cèdent le pas à une approche plus intégrée qui fait plus largement appel aux instruments économiques. Cette fois encore, comme pour la réponse des entreprises, la réponse optimale de la part des pouvoirs publics dépend du problème d'environnement et du secteur industriel considérés. Pour les responsables de l'action publique, le problème fondamental consiste, selon les termes de Schmidheiny (1992), « à définir les bons prix », autrement dit à établir une tarification appropriée des ressources, qui reflète le coût pour l'environnement de leur consommation. C'est là la seule manière d'internaliser les coûts pour l'environnement. Ce type de structure de tarification doit être capable d'induire une modification du comportement des consommateurs. En grande partie, la réalisation de cet objectif passe par l'élaboration de réglementations adéquates qui permettent de définir une tarification appropriée des ressources par l'utilisation d'instruments économiques.

Comme nous l'avons vu plus haut, les entreprises prennent rarement leurs décisions en fonction de critères exclusivement liés à l'environnement, et elles ne choisissent pas des technologies moins polluantes pour leur seule valeur intrinsèque. Au contraire, elles prennent en compte des considérations d'efficacité plus générales. Dans ce contexte, pour atteindre un objectif en matière d'environnement, il faut traduire les besoins définis dans les stratégies publiques en une structure d'incitation en faveur des innovations environnementales au niveau de

l'entreprise. Les incitations sont un élément clé de l'action publique, et créer des incitations est l'une des solutions pour encourager l'industrie à intégrer les questions d'environnement. Même face à une situation de double dividende, de nombreux exemples démontrent que les entreprises n'agissent que sous la pression d'une disposition réglementaire. A long terme, l'élaboration d'approches participatives innovantes aura un rôle à jouer, notamment avec la multiplication des problèmes d'environnement créés au stade de la consommation.

Dans l'immédiat, le défi du point de vue de l'action consiste à mettre en œuvre des mesures susceptibles de corriger les défaillances systémiques et celles du marché. Pour ce qui est des défaillances du marché, il s'agit d'élaborer un régime réglementaire approprié. Contrairement aux autres innovations technologiques, les innovations dans le domaine de l'environnement sont généralement induites par la réglementation. Les réglementations servent à « cadrer » ces innovations (Rosenberg, 1976). Dans un avenir proche, les réglementations environnementales auront pour rôle essentiel de corriger les indications données par les prix, qui actuellement brident les innovations dans le domaine de l'environnement. Ces réglementations doivent inciter les entreprises à exploiter pleinement les situations de double dividende. Lorsqu'un gain pour l'environnement a un coût net, il faut que les réglementations aboutissent à mettre en place une structure appropriée incitant les entreprises à suivre une stratégie efficace pour l'environnement.

Aujourd'hui, les moyens d'action sont la certification écologique, l'étiquetage et les marchés publics « verts ». Plus récemment, on assiste aussi à une « écologisation » du comportement des investisseurs. Les instruments réglementaires traditionnels ainsi que les instruments fondés sur le jeu du marché font aussi partie de l'arsenal des moyens d'action. Dans tous les cas, ils doivent être souples pour permettre des réponses en souplesse. Par ailleurs, à court terme, il faudra recourir à des régimes réglementaires favorisant une approche participative (aussi bien entre entreprises qu'entre secteur public et secteur privé) pour l'élaboration et la mise en œuvre des politiques, en réponse aux problèmes d'environnement liés à la consommation. Une meilleure coordination et une plus grande cohérence réglementaires entre les différents secteurs de l'action publique est un point important à prendre en compte, tout comme la coordination internationale des régimes réglementaires.

S'agissant des défaillances systémiques, l'élaboration des politiques doit prendre en compte la nature de plus en plus complexe, interdisciplinaire et mondiale du défi écologique. Pour ce faire, il faut élaborer des approches qui encouragent la coopération entre les secteurs et associent les pouvoirs publics, les universités et l'industrie aux activités de R-D et à la diffusion des technologies. En général, les innovations dans le domaine de l'environnement sont souvent les victimes de défaillances systémiques, du fait de la complexité et de la nature interdisciplinaire des problèmes. Les nouvelles approches actuellement soumises aux responsables politiques chargés des technologies, la mise en réseau et la constitu-

tion de pôles, se révèlent efficaces pour surmonter les défaillances systémiques. Face aux problèmes qui posent des défis structurels complexes, les accords volontaires s'imposent comme une véritable stratégie de remplacement dans la mesure où ils laissent l'industrie libre de structurer les solutions à sa convenance (Howes *et al.*, 1997). Par ailleurs, les approches fondées sur les partenariats favorisent efficacement la mise en œuvre d'efforts de R-D plus appropriés pour la mise au point et la diffusion de technologies environnementales (OCDE, 1999a).

VII. CONCLUSIONS

A l'origine, les problèmes posés par les solutions en bout de chaîne ont favorisé l'émergence et la croissance de l'industrie des biens et services d'environnement. L'un des défis majeurs consiste à réorienter ce secteur tel qu'il existe aujourd'hui. Ainsi, les industries polluantes n'ont plus besoin d'équipements de désulfuration à grande échelle, mais de technologies de production de nouvelle génération, avec des capteurs et dispositifs de commande sophistiqués pilotés par informatique, ou encore de procédés avancés utilisant les biotechnologies, les matériaux avancés ou les micro-technologies. Or, cette évolution implique une restructuration du secteur des biens et services d'environnement. On peut penser qu'outre les grandes entreprises d'ingénierie, ce nouveau secteur intégrerait des fournisseurs spécialisés, notamment des PME opérant sur des créneaux spécifiques, dans les domaines des technologies de l'information, des biotechnologies et autres techniques avancées adaptées aux problèmes d'environnement. Dans ce contexte industriel, il est vital de resserrer les liens entre fournisseurs et clients pour élaborer les technologies voulues, et il est probable que des groupements industriels innovants voient ainsi le jour. A l'évidence, le secteur des biens et services d'environnement de demain sera davantage fondé sur la recherche.

Comment aller de l'avant alors que les perspectives de doubles dividendes décroissent à long terme ? Que faire, face à des défis écologiques de moins en moins connus tels que la modification du climat ou la sécurité des produits alimentaires ? Comment entretenir le dynamisme technologique ? Face à ces interrogations, la prospective technologique est un moyen d'action très utile. Il ressort de récents exercices de prospective menés dans les pays de l'OCDE qu'à moyen et long termes les problèmes d'environnement peuvent être résolus grâce à des applications écologiques de technologies émergentes (technologies de l'information, biotechnologies, matériaux avancés, micro et nano-technologies). Les domaines d'application de ces technologies couvrent notamment l'agriculture, le traitement des eaux, la gestion et le traitement des déchets et des substances dangereuses, la technologie automobile, la construction, les procédés industriels moins polluants, l'énergie et la surveillance de la modification du climat mondial.

Toutefois, les experts sont très dubitatifs quant aux chances de concrétiser ces technologies via la demande du marché (OCDE, 1999b). La prospective technologique peut néanmoins être pensée de telle sorte que l'offre et la demande de technologies environnementales concordent de manière réaliste.

Enfin, abordons rapidement l'opinion selon laquelle les innovations environnementales pourraient constituer une réorientation selon une nouvelle trajectoire technologique dans le contexte des cycles longs mentionnés précédemment (Kemp, 1994 ; Freeman et Soete, 1997). La prise en compte croissante des considérations environnementales dans les stratégies des entreprises et les comportements des investisseurs, ainsi que l'internalisation des coûts environnementaux dans le système économique, avec les effets que cela induit sur les habitudes de consommation, impliquent que le système de valeurs économiques et sociales qui sous-tend la trajectoire actuelle est en train d'évoluer. L'impératif du développement durable pèse en faveur d'une modification du paradigme technologique dominant et d'une réorientation des trajectoires technologiques existantes. Serait-on au début d'un nouveau cycle long ? L'intégration de la durabilité environnementale dans le système économique n'entraînera sans doute pas de nouvelle reprise distincte de celle déjà en cours, fondée sur les nouvelles technologies, mais elle pourrait la renforcer. Dans une très large mesure, la concrétisation d'une telle évolution dépend de la mise en œuvre de politiques d'innovation et d'environnement efficaces et appropriées de la part des gouvernements.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBERA, A.J. et V.D. McCONNEL (1990),
«The Impact of Environmental Regulations on Industry Productivity: Direct and Indirect Effects», *Journal of Environmental and Economic Management*, 18(1), pp. 50-65.
- BARTICK, T.J. (1988),
«The Effects of Environmental Regulation on Business Location in the United States», *Growth and Change*, 19(3), pp. 22-44.
- DENISON, E.F. (1979),
Accounting for Slower Economic Growth: The US in the 1970s, Brookings Institution, Washington, DC.
- FISCHER, K. et J. SCHOT (eds.) (1993),
Environmental Strategies for Industry – International Perspectives on Research Needs and Policy Implications, Island Press, Washington, DC.
- FREEMAN, C. et L. SOETE (1997),
Economics of Industrial Innovation, Third Edition, Pinter, Londres.
- FUKASAKU, Y. (1995),
«Energy and Environment Policy Integration: The Case of Energy Conservation Policies and Technologies in Japan», *Energy Policy*, vol. 23, n° 12, pp. 1063-1076.
- GALAROTTI, G.M. (1995),
«The Managerial Incentive Structure and Environmentally Sound Strategies», *The Columbia Journal of World Business*, hiver.
- GALLOP, F.M. et M.J. ROBERTS (1983),
«Environmental Regulations and Productivity Growth: The Case of Fossil-Fueled Electric Power Generation», *Journal of Political Economy*, 91, pp. 654-74.
- GRAY, W.B. (1987),
«The Cost of Regulation: OSHA, EPA, and the Productivity Slowdown», *American Economic Review*, 77(5), décembre, pp. 998-1006.
- GROSSMAN, G.M. et A.B. KRUEGER (1993),
«Environmental Impacts of North American Free Trade Agreement», in P. Garber (dir. publ.), *The US – Mexico Free Trade Agreement*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- HAHN, R.W. et R.N. STAVINS (1992),
«Economic Incentives for Environmental Protection: Integrating Theory and Practice», *American Economic Review*, 82(2), pp. 464-468.
- HOWES, R., J. SKEA et B. WHELAN (1997),
Clean & Competitive? Motivating Environmental Performance in Industry, Earthcan, London.

- JAFFE, A.B., S.R. PETERSON, P.R. PORTNEY et R.N. STAVINS (1995),
«Environmental Regulation and the Competitiveness of US Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us?», *Journal of Economic Literature*, vol. XXXIII, mars, pp. 132-163.
- JAFFE, A.B. et K. PALMER (1996),
«Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study», Working Paper 5545, National Bureau of Economic Research, avril.
- KALT, J.P. (1988),
«The Impact of Domestic Environmental Regulatory Policies on US International Competitiveness», in A.M. Spence et H.A. Hazard (dir. publ.), *International Competitiveness*, Harper and Row, Cambridge, Massachusetts.
- KEMP, R. (1994),
«Technology and the Transition to Environmental Sustainability», *Futures* 26(10), pp. 1023-46.
- LANJOUW, J.O. et A. MODY (1996),
«Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology», *Research Policy*, 25, pp. 549-571.
- LEVINSON, A. (1992),
«Environmental Regulations and Manufacturers' Location Choices: Evidence from the Census of Manufactures», Columbia University, New York.
- LOW, P. et A. YEATS (1992),
«Do "Dirty" Industries Migrate?», in P. Low (dir. publ.), *International Trade and the Environment*, World Bank Discussion Papers n° 159, Banque mondiale, Washington.
- MEYER, S.M. (1992),
«Environmentalism and Economic Prosperity: Testing the Environmental Impact Hypothesis», mimeo, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, mise à jour 1993.
- OCDE (1993),
Politiques de l'environnement et compétitivité de l'industrie, OCDE, Paris.
- OCDE (1997a),
Données OCDE sur l'environnement. Compendium 1997, OCDE, Paris.
- OCDE (1997b),
Évaluer les instruments économiques des politiques de l'environnement, OCDE, Paris.
- OCDE (1999a),
«Technology and Environment: Towards Policy Integration», DSTI/STP(99)19/FINAL, OCDE, Paris <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/prod/e_99-19.htm>.
- OCDE (1999b),
«Technology Foresight and Sustainable Development: Proceedings of the Budapest Workshop, 11 December 1998», DSTI/STP/TIP(99)8/FINAL, OCDE, Paris <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/prod/e_99-8.htm>.
- PORTER, M.E. (1993),
L'avantage concurrentiel des nations, Inter Éditions.
- PORTER, M.E. (1991),
«America's Green Strategy», *Scientific American*, avril, p. 96.

- PORTER, M.E. et C. VAN DER LINDE (1995),
«Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship,» *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), automne.
- ROSENBERG, N. (1976),
Perspectives on Technology, Cambridge University Press, Cambridge.
- SCHMIDHEINY, S. (1992),
Changer de cap – Réconcilier le développement de l'entreprise et la protection de l'environnement, Dunod, Paris.
- TOBEY, J.A. (1990),
«The Effects of Domestic Environmental Policies on Patterns of World Trade: An Empirical Test», *Kyklos*, 43(2), pp. 191-209.
- WALLEY, N. et B. WHITEHEAD (1994),
«It's Not Easy Being Green», *Harvard Business Review*, mai-juin 1994, pp. 46-52.

LES BIOTECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA DURABILITÉ INDUSTRIELLE

Table des matières

I. Introduction.....	74
II. Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle.....	75
III. Les biotechnologies dans l'industrie aujourd'hui.....	83
IV. Mesure de la durabilité industrielle : que signifie « non polluant » ?	93
V. Axes de la recherche en biotechnologie	96
VI. La voie du succès	105
Bibliographie	110

Cet article a été rédigé par Michael Griffiths, consultant, et Salomon Wald, Unité biotechnologies, Direction de la science, de la technologie et de l'industrie, OCDE.

I. INTRODUCTION

Dans le monde entier, depuis le début 1999, les biotechnologies et notamment les techniques de modification génétique suscitent interrogations et débats. Dans de nombreux pays Membres de l'OCDE, le gouvernement lui-même s'est saisi de ces questions. La presse se fait l'écho des désaccords nationaux et internationaux, des guerres commerciales qui menacent, de la crainte qu'inspirent de plus en plus aux consommateurs les aliments et les cultures génétiquement modifiés, de l'hostilité de certaines organisations non gouvernementales. C'est dans ce contexte que les chefs d'État et de gouvernement du G8, réunis en juin 1999 à Cologne, ont demandé à l'OCDE d'«entreprendre une étude traitant des incidences des biotechnologies et d'autres aspects de la sécurité de l'alimentation», et de leur soumettre ses résultats à leur prochain sommet, en 2000.

C'est avant tout sur la sûreté des aliments et les modifications génétiques que s'interroge le public. On oublie souvent, dans le débat qui a lieu actuellement, que les applications des biotechnologies ne sont pas circonscrites à l'alimentation, loin de là, et concernent aussi de façon non négligeable la santé humaine, l'environnement ou le développement.

Les biotechnologies sont susceptibles de contribuer au développement durable à de nombreux égards et dans une large mesure. Elles permettent de remédier à la pollution de l'air, de l'eau et des sols, de diversifier les techniques de sélection animale et végétale et la production alimentaire, ou encore de diversifier les sources d'énergie. D'ores et déjà, elles s'immiscent dans les techniques de fabrication industrielles.

La perspective de changements radicaux dans les technologies agro-alimentaires est l'aspect le plus controversé de la question. Cet article n'a pas vocation à s'attarder sur les raisons de cette polémique, mais il convient de préciser qu'elle a pour origine, entre autres, des conceptions antagoniques de la «durabilité».

Du point de vue de nombreux scientifiques et entreprises agro-alimentaires, les biotechnologies, notamment le génie génétique, améliorent la viabilité écologique de la production agro-alimentaire. Elles accroissent la productivité et les quantités obtenues tout en réduisant les apports de produits agrochimiques, par exemple, lesquels nuisent gravement à l'environnement. Pour leur part, les détracteurs des biotechnologies agro-alimentaires modernes redoutent les effets secondaires négatifs que l'utilisation des organismes génétiquement modifiés pourrait avoir sur la santé, l'environnement, les structures sociales traditionnelles,

les échanges et l'emploi. A leurs yeux, ces nouvelles technologies ne revêtent pas, au stade actuel, un caractère « durable ».

Le principal avantage des biotechnologies industrielles, par rapport aux biotechnologies agricoles, réside dans le fait que leur définition est plus claire et qu'une fois intégrées aux processus de fabrication, leur contribution au développement durable est plus facile à mesurer et à quantifier. De nombreux obstacles scientifiques, technologiques, économiques et réglementaires demeurent, mais leurs atouts, incontestés, ne soulèvent pas la polémique.

Les biotechnologies industrielles substituent aux catalyseurs et aux procédés de transformation classiques, souvent très polluants, des biocatalyseurs et des enzymes, c'est-à-dire des organismes vivants ou certains de leurs constituants, qui ne causent pas de dommages à l'environnement. Elles visent à réduire la consommation de facteurs de production tels que les matières premières et l'énergie, et à supprimer la génération de déchets ou du moins à la limiter.

Cet article montre que la modification génétique est un instrument essentiel et extrêmement puissant qui, grâce aux techniques de recombinaison de l'ADN, permet de mettre au point de nouveaux biocatalyseurs plus performants. Dans le secteur agro-alimentaire, le recours à la biocatalyse a notamment vocation à réduire les pollutions (et parfois à abaisser les coûts de production). Cette mutation n'a pas déclenché de protestations, en partie parce que le grand public sait peu de choses au sujet des procédés de fabrication employés dans l'industrie, mais aussi parce que la lutte contre la pollution industrielle recueille l'adhésion de la quasi-totalité des parties intéressées, y compris des consommateurs. Abstraction faite de ses avantages environnementaux, la diffusion des biotechnologies dans les procédés de fabrication renforcera la compétitivité économique des entreprises et des activités industrielles. C'est pourquoi de plus en plus de secteurs s'y intéressent.

L'aventure des biotechnologies industrielles pourrait se solder par des progrès considérables du point de vue économique et technologique, mais aussi faire évoluer radicalement l'attitude du public vis-à-vis des nouvelles technologies. Cela influencera-t-il le débat sur les autres applications des biotechnologies ? Cela permettra-t-il d'atténuer les appréhensions du public quant à leurs retombées ? Seul le temps nous le dira.

II. LES BIOTECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA DURABILITÉ INDUSTRIELLE

Le dilemme de la durabilité

Les activités humaines (industrie, urbanisation, agriculture, pêche, foresterie et extraction minière) exercent une influence considérable sur l'environnement et

sur sa viabilité. Il apparaît de plus en plus clairement qu'il faut améliorer la gestion des ressources, à l'échelon national, régional ou mondial, et réduire la production de déchets et la pollution. Tous les pays signataires de la Déclaration de Rio sur le développement durable sont convenus de lutter contre les modes de production et de consommation non viables et, si possible, de les éliminer.

Les notions de durabilité et de développement durable sont relativement difficiles à cerner. Selon la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, le développement durable «répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs». Cette définition large a pour inconvénient qu'elle n'énonce aucune recommandation concrète quant aux moyens à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif fixé. En conséquence, plusieurs questions se posent. Entre autres :

- Parmi les activités pratiquées aujourd'hui, quelles sont celles qui sont compatibles avec le développement durable
- Quelles politiques faut-il adopter pour assurer un développement durable ?
- Quel peut être l'apport de la science et, en particulier, celui de la biotechnologie ?

Dans le domaine industriel, le développement durable passe par l'innovation et le perfectionnement permanents, et par l'emploi de technologies non polluantes, dans le but d'infléchir radicalement les niveaux de pollution et la consommation de ressources. Dans la mesure où tous les stades du cycle de vie d'un produit ou d'un procédé sont susceptibles d'avoir des répercussions sur l'environnement, il convient de recourir, pour réduire ces dernières, à des modes de conception qui prennent en considération toutes les étapes qui jalonnent l'existence d'un produit, de la sélection des matières premières à la valorisation des déchets. Par définition, un procédé respectueux de l'environnement consomme peu d'énergie et de matières premières non renouvelables (notamment de combustibles fossiles) et limite la quantité de déchets produits ou les supprime (recyclage des matériaux et de l'énergie et valorisation énergétique, en particulier).

Dans les années 60 et 70, l'attention s'est essentiellement focalisée sur les sources de pollution ponctuelles, la dissémination des pesticides, la pollution atmosphérique dans certaines grandes villes et la pollution des mers par les hydrocarbures, notamment. Le recours aux procédés biotechnologiques n'était envisagé que pour le traitement des déchets, et les applications commerciales se limitaient à la lutte contre la pollution en aval et à la biodépollution. Depuis la fin des années 80, l'approche a radicalement changé : l'accent n'est plus mis sur l'élimination *a posteriori* des polluants contaminant un milieu, mais sur la nécessité de repenser les procédés mis en œuvre dans l'industrie pour prévenir les pollutions à la source. Des techniques permettant de réduire au minimum la production de déchets, voire de la supprimer, font progressivement leur apparition, et les

biotechnologies sont mises à contribution pour fournir des outils capables d'assurer la viabilité écologique des activités industrielles. Le recyclage des matériaux, l'optimisation du rendement énergétique, la modernisation des procédés industriels existants pour lutter contre la pollution et les applications scientifiques innovantes débouchent sur des technologies propres ou moins polluantes.

Les biotechnologies industrielles, qui exploitent les systèmes biologiques, entre autres des organismes vivants entiers et des catalyseurs biologiques (enzymes), pour produire des biens et des services, n'en sont plus à leurs balbutiements. Les micro-organismes servent à «fabriquer» des produits alimentaires depuis les temps préhistoriques, les techniques de fermentation industrielles datent du siècle dernier et la production d'antibiotiques par voie biologique, par exemple, a démarré au milieu du xx^e. Les biotechnologies modernes étendent ces possibilités grâce aux progrès accomplis récemment dans la compréhension de la génétique et des relations entre structures et fonctions biologiques. A la différence des biotechnologies classiques, elles font appel aux techniques de recombinaison de l'ADN, également appelées génie génétique. Toutefois, elles ne s'y limitent pas et se fondent largement sur les technologies des procédés, la chimie et l'ingénierie classique.

Les biotechnologies jouent déjà un rôle important dans un nombre croissant de secteurs industriels en raison de leurs avantages écologiques évidents et de leur compétitivité au plan économique. Pour un niveau donné de production industrielle, elles permettent de réduire la consommation de matières et d'énergie, mais aussi la pollution engendrée et la quantité de déchets produits. Dans ces conditions, pourquoi ne sont-elles pas plus répandues ? De nombreuses explications ont été avancées : la lutte contre la pollution en aval demeure meilleur marché ; les autorités réglementaires restent focalisées sur les symptômes de la pollution davantage que sur ses causes ; le temps de retour des investissements dans les technologies non polluantes semble trop long ; les installations industrielles existantes doivent être amorties ; il y a un déficit d'information ; la rentabilité des nouvelles technologies n'est pas garantie ; et, dans certains cas, il n'existe tout simplement pas de technologie appropriée.

Nous commençons tout juste à mieux appréhender les modalités suivant lesquelles les biotechnologies modernes s'insinuent dans les activités industrielles. Elles peuvent, semble-t-il, être représentées par la courbe en S classique qui décrit le processus d'adoption des nouvelles technologies : à une première phase de démarrage d'une dizaine d'années succède une période de développement rapide d'environ 20 ans, puis une phase de maturité caractérisée par une croissance lente. De nombreuses applications des biotechnologies se répandent dans une multitude de secteurs industriels différents. Certaines sont connues depuis une dizaine d'années, d'autres ont à peine plus de cinq ans. Il existe indiscutablement des créneaux dans lesquels elles offrent des avantages évidents, à la fois

économiques et écologiques, par rapport à d'autres technologies, et où aucun obstacle à leur diffusion ne s'est pour l'instant fait jour. Parallèlement, comme la puissance de l'outil qu'elles constituent ne cesse de croître, c'est en fin de compte leur capacité à poursuivre leur développement de manière autonome qui donne à penser que les biotechnologies auront un impact significatif sur la durabilité industrielle.

Problèmes rencontrés par l'industrie

De nombreux produits et procédés industriels actuels nuisent à l'environnement, et certains d'entre eux constituent d'importantes sources de pollution. Toutes les étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un procédé sont susceptibles de porter atteinte au milieu du fait qu'elles supposent d'utiliser des matières premières et de l'énergie ou de produire des déchets. Ainsi, toute amélioration se traduisant par une réduction de la consommation de matières premières ou de la production de déchets par la voie du recyclage est profitable à l'environnement. Les technologies propres ont pour principale caractéristique d'inverser les priorités : l'accent est mis non plus sur la dépollution, mais sur la prévention des atteintes à l'environnement, idée maîtresse de la durabilité industrielle.

Les biotechnologies recouvrent un large éventail de techniques dont aucune ne peut s'appliquer à l'ensemble des activités industrielles. Compte tenu de la multiplicité des applications envisageables, de nombreux secteurs où elles sont encore absentes étudient la possibilité d'y recourir. Certaines utilisations attestent qu'elles peuvent avoir un impact économique important. Néanmoins, les applications industrielles posent parfois des problèmes qui, jusque récemment, n'étaient pas compensés par leurs avantages. L'infrastructure dont se sont dotés certains secteurs fondés sur des procédés physiques et chimiques, par exemple, constitue un obstacle majeur à la généralisation des nouvelles biotechnologies.

L'influence de l'opinion publique est un puissant facteur de progrès dans le domaine de la protection de l'environnement, et les entreprises industrielles considèrent parfois qu'elles ont un intérêt stratégique à faire la démonstration qu'elles luttent contre la pollution. Le public a souvent une image négative de l'industrie, perpétuée par l'inquiétude que suscite son bilan défavorable sur le front de l'environnement et les risques que comportent certaines activités de fabrication, les transports ou la production de déchets. On reproche au secteur de la chimie, par exemple, de consommer beaucoup d'énergie et de ressources non renouvelables et de produire une grande quantité de déchets solides et d'effluents liquides ou gazeux. Du point de vue de l'impact sur l'environnement, recourir à des produits de départ d'origine biologique et à des procédés biologiques constituerait un progrès dans les secteurs industriels traitant des volumes importants. L'industrie chimique a d'ailleurs pris des initiatives destinées à donner une plus large place aux produits et aux procédés non polluants.

Une autre raison, à caractère plus sociologique, explique la lenteur avec laquelle les procédés biologiques sont adoptés. En effet, dans le domaine de la chimie, la formation traditionnelle des ingénieurs et des concepteurs d'usines ne fait pas de place à l'étude de ces procédés. La nature des matières, des conteneurs et des conditions d'exploitation est si différente que les ingénieurs et les exploitants doivent passer par une reconversion pour les maîtriser aussi bien que les techniques courantes.

On peut supposer que la réduction de la consommation de matières premières et d'énergie et de la production de déchets se traduit nécessairement par une diminution des coûts. Toutefois, la mise en œuvre de procédés nouveaux entraîne bien souvent des dépenses d'équipement importantes qui peuvent compenser la baisse des coûts d'exploitation. Une installation industrielle étant construite pour fonctionner plusieurs dizaines d'années, tout procédé nouveau doit faire la preuve qu'il aura une rentabilité élevée au regard des faibles coûts induits par des équipements entièrement amortis (encadré 1). La lenteur de la diffusion des biotechnologies dans le secteur de la chimie industrielle semble indiquer que les avantages économiques globaux des procédés biologiques, à l'heure actuelle ne sont pas énormes, et que leurs atouts du point de vue environnemental ne suffisent pas à accélérer leur adoption en remplacement des procédés chimiques

Encadré 1. **Adopter les biotechnologies : un vrai dilemme**

Du point de vue technique, l'exploitant d'une installation industrielle peut notamment se poser les questions suivantes :

- Les biotechnologies permettent-elles d'améliorer notre procédé ou celui de nos concurrents ?
- Pouvons-nous adapter telle technique biologique à notre procédé ou devons-nous nous y adapter ?
- Les systèmes biologiques sont-ils disponibles dès maintenant ou doivent-ils faire l'objet de travaux de R-D supplémentaires ?
- Devons-nous revoir le procédé que nous utilisons en totalité ou en partie seulement ?
- Pouvons-nous remplacer un catalyseur classique par un biocatalyseur et, dans l'affirmative, le procédé biologique imposera-t-il une reconfiguration radicale ?
- Pouvons-nous utiliser des organismes ou des biocatalyseurs naturels ou doivent-ils être modifiés génétiquement ?
- Dans ce deuxième cas, peuvent-ils être maîtrisés et le public acceptera-t-il notre procédé et le produit final ?

existants. Quoi qu'il en soit, ils gagnent du terrain et la tendance est clairement de combiner outils biotechnologiques et techniques chimiques classiques, dans le but de développer de nouveaux procédés économiquement compétitifs

Compte tenu de leurs multiples potentialités, il peut se révéler difficile d'évaluer l'importance que revêtent les biotechnologies dans tel secteur par rapport à tel autre. Dans le cas de l'industrie papetière, par exemple, elles permettent d'obtenir des arbres à teneur en lignine plus faible ou à lignine modifiée, dont les fibres ont une structure différente et dont le rendement en pâte est plus élevé, d'où une amélioration de la qualité du papier et de la production. Le biopulpage facilite la séparation des fibres de bois, et les enzymes favorisent l'élimination de l'eau au cours du séchage. La qualité du papier s'en trouve améliorée (tenue des couleurs, résistance mécanique) et la consommation d'énergie, pour un niveau de production donné, diminuée. Le désencrage biologique va remplacer les procédés mécaniques et s'accompagner d'économies d'énergie qui restent à quantifier, et le blanchiment biologique éviter l'emploi de produits chimiques nocifs pour l'environnement. L'élimination des biofilms par voie enzymatique réduit les temps d'arrêt et les coûts. Grâce à ces biotechnologies et au traitement biologique, certaines papeteries recyclent désormais la totalité de l'eau qu'elles utilisent.

A l'évidence, les innovations biotechnologiques sont influencées par des facteurs énergétiques, environnementaux et réglementaires, aussi bien que par des considérations de coût, de qualité et de productivité. Ceux-ci peuvent jouer un rôle plus ou moins important suivant les secteurs : dans le cas du papier, il s'agit avant tout d'accroître la productivité et de respecter des réglementations de plus en plus contraignantes.

Les biotechnologies facteurs de progrès

Sur le front de la réduction de la consommation d'énergie et de matières, de la production de déchets et des émissions, les biotechnologies sont en concurrence avec les procédés chimiques et physiques. Loin d'être la seule voie qui mène à des produits industriels et à des processus de fabrication non polluants, elles sont aujourd'hui si variées qu'il est logique d'essayer d'exploiter leur potentiel. Elles présentent l'avantage de s'appuyer sur des systèmes biologiques dont l'évolution se poursuit depuis plusieurs millions d'années. En outre, du point de vue chimique, le fonctionnement d'un organisme vivant est plus performant que celui d'une usine, de conception humaine, et les déchets produits sont recyclables ou biodégradables. Les procédés enzymatiques agissent à basse température et engendrent moins de résidus et d'émissions, au demeurant moins toxiques, que les procédés chimiques classiques. Cependant, il convient de garder à l'esprit que les biotechnologies ne sont pas nécessairement non polluantes par définition, de même que les procédés chimiques ne sont pas systématiquement polluants. Pour

être valable, toute comparaison entre technologies ou procédés concurrents doit se fonder sur des évaluations rigoureuses portant sur l'ensemble du cycle de vie, ou sur des critères objectifs du même ordre.

Les biotechnologies offrent un large éventail d'outils. Leurs multiples applications vont de l'amélioration des processus de fermentation à grande échelle destinés à produire des substances chimiques telles que l'éthanol, à l'utilisation de fragments microscopiques de molécules biologiques comme capteurs dans des appareils d'analyse. Parce que leurs capacités à modifier les caractéristiques du vivant sont immenses, les recherches se poursuivent dans de nombreux secteurs pour mettre en évidence toutes les applications envisageables. A cet égard, la R-D alimente d'ores et déjà un flux constant d'innovations.

Les catalyseurs biologiques, qui sont aussi bien des organismes vivants que leurs constituants à activité catalytique, en particulier les enzymes, font partie des outils que les biotechnologies mettent au service de l'industrie. Ils sont en général plus spécifiques et plus sélectifs que leurs équivalents non biologiques. En effet, ils engendrent moins de sous-produits (spécificité) et n'exigent pas une purification aussi poussée des matières premières (sélectivité). Toutefois, à l'échelle industrielle, leurs inconvénients viennent parfois contrebalancer leurs avantages. Les principaux écueils tiennent à la fragilité de certaines molécules, aux grandes quantités d'eau parfois nécessaires et aux coûts, mais bioréacteurs et les catalyseurs de nouvelle génération ont permis de surmonter bon nombre d'entre eux.

Parallèlement, grâce au biotraitement intégré, qui suppose de pouvoir séparer les catalyseurs des réactifs, les biocatalyseurs sont désormais incorporés aux procédés les plus courants, qui se trouvent ainsi simplifiés du fait que le nombre d'étapes est réduit. La dégradation et la fermentation simultanées de la cellulose en glucose à l'aide d'enzymes, une technique mise au point récemment, en est un bon exemple. Le glucose est transformé en éthanol sous l'action d'une levure (fermentation), ce qui empêche la rétroinhibition de la cellulolyse, tandis que l'éthanol diminue le taux de fermentation et est extrait au moyen d'un solvant insoluble dans l'eau, l'alcool oléique. Toutes ces réactions s'effectuent dans un seul et même réacteur.

Facteurs de progrès, les biotechnologies dévoilent leurs atouts dans de nombreux domaines. Dans la pétrochimie, par exemple, il est indéniable qu'elles réduisent la production d'agents polluants. Cette industrie doit son essor aux combustibles fossiles, bon marché, mais les problèmes écologiques l'amènent aujourd'hui à s'intéresser aux ressources biologiques et, notamment, aux produits de départ renouvelables, qui ouvrent la voie à des procédés ne concourant pas à l'accumulation de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. De même, les biocarburants tels que le bioéthanol apportent des solutions aux problèmes de pollution atmosphérique. Dans la mesure où la biomasse a besoin de CO₂ pour se

développer, les substances obtenues à partir de matières premières biologiques ne contribuent pas à la production de gaz à effet de serre dès lors que les combustibles fossiles n'interviennent pas dans leur élaboration. Pendant longtemps, les chimistes ont cherché à reproduire artificiellement les matières végétales, mais il s'avère aujourd'hui préférable, du point de vue environnemental, de revenir aux végétaux pour produire des substances chimiques. L'amidon, la cellulose, les huiles végétales et les protéines sont autant de matières premières de substitution potentiellement utilisables dans le secteur industriel, et l'on peut anticiper l'apparition d'un univers parallèle de produits chimiques et de matériaux structuraux issus de matières premières d'origine biologique. Figurent dans cette gamme, entre autres, les plastiques biodégradables, les biopolymères, les biopesticides ou encore les nouvelles fibres et les bois d'œuvre modifiés. Quant aux biocarburants, c'est essentiellement pour des raisons économiques qu'ils ne sont pas exploités plus largement.

Le soja fait également partie des grandes ressources renouvelables auxquelles les biotechnologies confèrent un attrait supplémentaire. En tant que matière première, il peut être utilisé dans des domaines très variés allant des produits alimentaires et des gazoles aux polymères et aux adoucissants, en passant par les solvants. Dans les années 30 et 40, le soja a contribué à l'essor de plusieurs centaines de produits industriels dont les adhésifs, le linoléum, les substituts du caoutchouc, les encres d'imprimerie et les plastiques. Les progrès récents dus à la technologie de l'ADN recombiné permettent désormais de modifier la composition lipidique des fèves de soja et d'élargir l'éventail des biohydrocarbures disponibles. Les amides, esters et acétates de ces biohydrocarbures sont actuellement utilisés comme plastifiants, agents d'adhérence et antifriction, et agents de démoulage pour les polymères de synthèse. Liés à des amines, des alcools, des phosphates et des groupes soufrés, les biohydrocarbures servent d'adoucissants, de tensioactifs, d'émulsifiants, d'inhibiteurs de corrosion, d'agents antistatiques, de produits capillaires, de véhicules d'encre, de solvants biodégradables, de bases cosmétiques et de parfums. Les complexes contenant de l'aluminium et du magnésium donnent des graisses et des lubrifiants marins.

La matière première renouvelable par excellence est bien entendu le dioxyde de carbone. Essentiel aux biotechnologies, il intervient dans la production de corps gras à partir d'algues pour les biogazoles comme dans celle du bêta-carotène, vitamine antioxydante. Bien que les biogazoles ne soient produits qu'à l'échelle du laboratoire et que la production mondiale de bêta-carotène ne dépasse pas dix tonnes par an, les systèmes biologiques sont potentiellement à même de produire de nombreux composés oxygénés différents à partir du CO₂. On estime que la mise au point de nouveaux procédés ou le perfectionnement des procédés existants pourrait facilement permettre de multiplier les volumes de dioxyde de carbone utilisés par 100, 1 000, 10 000, etc.

III. LES BIOTECHNOLOGIES DANS L'INDUSTRIE AUJOURD'HUI

Certains des produits nouveaux issus des biotechnologies industrielles ont des applications plus concrètes. Figurent dans cette catégorie les polymères biodégradables, les substances chimiques optiquement actives et les enzymes présentes dans les détergents et les aliments du bétail. Les transformations chimiques plus complexes auxquelles donnent lieu les biocatalyseurs engendrent des produits plus élaborés et plus adaptés aux besoins des consommateurs, tels que les biopolymères, et ce pour un coût à peu près identique à celui des produits qu'ils remplacent.

Partout dans le monde, les grands secteurs industriels recourent désormais à des procédés biotechnologiques pour accroître leur efficacité, en réduisant leur production de déchets et leur consommation de matières et d'énergie. La chimie, les pâtes et papiers, le textile, l'agro-alimentaire, la métallurgie et l'énergie sont au nombre des activités concernées.

Chimie

Ce secteur englobe les produits chimiques de base, les plastiques, les produits pharmaceutiques, la chimie fine et de spécialité, ainsi que les enzymes. Affichant des volumes de production considérables, il consomme beaucoup d'énergie et de ressources non renouvelables et contribue dans une large mesure à la production de déchets. Aux États-Unis, par exemple, il a représenté environ 18 % de l'ensemble des activités de transformation (en chiffre d'affaires) ces vingt dernières années.

Depuis une dizaine d'années, la société Nitto Chemical, implantée à Tokyo, a abandonné les procédés classiques en faveur des biotechnologies pour produire du polyacrylamide. Actuellement, aux États-Unis, les produits chimiques de base principalement issus des végétaux comprennent l'éthanol (3.8 millions de tonnes par an), les éthers et esters de cellulose (0.5 million de tonnes), le sorbitol (0.19 million de tonnes) et l'acide citrique (0.16 million de tonnes). Recourant à des procédés chimiques aussi bien que biotechnologiques, cette filière illustre parfaitement l'impact des biotechnologies. Les recherches visant à obtenir d'autres produits chimiques de base, tels que l'acide succinique et l'éthylène glycol (actuellement élaboré presque exclusivement à partir de produits pétrochimiques), à l'aide de nouveaux procédés et de ressources renouvelables, en sont encore à l'échelle pilote et sont conduites sous l'égide de l'État, dans le cadre de programmes associant secteur public et secteur privé. Plusieurs autres branches de la chimie ont commencé à expérimenter les nouveaux outils offerts par les biotechnologies. Pour l'instant, ces derniers ne permettent pas d'élaborer des produits chimiques de base en grande quantité, mais il ne fait plus de doute qu'il est

possible de passer à l'échelle industrielle. S'il n'est pas avéré que les procédés biotechnologiques sont systématiquement moins polluants, on peut affirmer que les déchets qu'ils produiront seront davantage compatibles avec les systèmes classiques d'épuration des eaux usées.

Les micro-organismes sont capables de synthétiser une vaste gamme de substances avec les glucides pour unique source d'énergie et de carbone. L'industrie exploite cette propriété pour élaborer des produits chimiques spéciaux comme l'indigo, utilisé pour teindre le jean brut. Autrefois extraite de végétaux, cette substance a été synthétisée chimiquement au siècle dernier à partir de produits toxiques, dont l'aniline, le formaldéhyde et le cyanure de sodium. Or, le génie biomoléculaire a donné naissance à une nouvelle souche de la bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) à même de produire des quantités importantes de tryptophane, qu'elle convertit en indole, puis en indigo. L'indigo produit par *E. coli* sera bientôt lancé sur le marché et concurrencera les colorants obtenus par synthèse chimique.

La chimie fine est l'un des secteurs industriels qui a le plus bénéficié du recours aux biocatalyseurs, non seulement parce que les spécialistes de la chimie organique étaient ouverts à l'utilisation des enzymes mais aussi parce que dans cette petite industrie, les nouvelles technologies rencontrent peu d'obstacles à l'entrée. Bien que la production du secteur ait été multipliée par quatre, les biocatalyseurs ont réduit de 20 % la quantité de déchets engendrée. Certes, la diminution de la pollution due à ces activités est surtout imputable à la biocatalyse, mais la réduction de la consommation de solvants et leur recyclage contribuent également à atténuer l'impact négatif des procédés de fabrication sur l'environnement.

Les biotechnologies sont aussi à l'origine de progrès en agrochimie. La société DuPont a par exemple annoncé une nouvelle technique de fabrication du glyphosate, un herbicide non sélectif, qui fait appel à un catalyseur obtenu par clonage d'enzymes d'épinard et de levure, et capable d'oxyder l'acide glycolique en acide glyoxylique. Le nombre d'étapes du procédé s'en trouve réduit, de même que les pertes de produit.

La société Allied Colloids Limited est en train de développer un procédé biologique industriel destiné à produire de l'acrylate d'ammonium, composant essentiel de nombreux polymères utilisés dans l'industrie, notamment comme agents épaississants dans les peintures, absorbants et revêtements. Actuellement, l'acrylate d'ammonium est obtenu par hydrolyse de l'acrylonitrile en acide acrylique, que l'on fait ensuite réagir avec de l'ammoniac. Cette méthode consomme énormément d'énergie et donne lieu à un sous-produit dont l'élimination est onéreuse.

La fabrication de myristate d'isopropyle, ingrédient utilisé en cosmétique, doit son évolution à un biocatalyseur mis au point par Unichema, en l'occurrence la lipase. Habituellement, cette enzyme naturelle hydrolyse des corps gras et des

huiles. En éliminant l'eau, Unichema a inversé la réaction pour obtenir du myristate d'isopropyle à partir de ses constituants, par estérification. Cette technique présente plusieurs avantages : la réaction s'effectuant dans des conditions douces, le produit obtenu est plus propre et sans odeur ; le rendement est accru et, compte tenu de la spécificité de l'enzyme, le produit présente la grande pureté nécessaire aux substances utilisées dans les cosmétiques.

Produits pharmaceutiques

De nombreux produits pharmaceutiques d'aujourd'hui sont obtenus par hémisynthèse, c'est-à-dire à partir de molécules naturelles dont la structure est en partie modifiée par un organisme vivant et que l'on soumet ensuite à un traitement chimique. Grâce aux progrès récents des biotechnologies, et notamment à la biocatalyse, à l'optimisation des procédés de fermentation et au remplacement des solvants organiques par l'eau, la production d'antibiotiques par hémisynthèse est moins polluante. Ainsi, en remplaçant la réaction chimique opérée en présence du dichlorométhane, un solvant, par une étape enzymatique en milieu aqueux, on peut réduire l'utilisation totale de cette substance de quelque 25 000 tonnes. La récente mise au point, par la société Kaneka, d'enzymes thermostables et d'un nouveau procédé en bioréacteur permet de produire 2 000 tonnes par an d'une chaîne latérale entrant dans la fabrication de l'amoxicilline (antibiotique). La mise à contribution des enzymes évite de passer par l'étape chimique qui était auparavant indispensable à la synthèse et qui comportait plusieurs inconvénients, notamment la coloration du produit, la formation de sous-produits et un rendement énergétique médiocre.

Pâtes et papiers

L'industrie des pâtes et papiers requiert des investissements très importants et affiche de faibles marges bénéficiaires. Pour faire face à une demande croissante et demeurer en conformité avec les réglementations environnementales, de plus en plus strictes, ce secteur est constamment à la recherche d'améliorations technologiques. Obéissant avant tout aux attentes du marché et aux impératifs environnementaux, qui exigent de réduire les volumes de produits et de sous-produits chlorés, il apparaît comme le débouché le plus porteur pour les enzymes industrielles. Aux États-Unis, d'après les prévisions, ce segment du marché des enzymes devrait progresser de 15 % par an au cours de la décennie à venir.

Divers procédés sont utilisés pour séparer les fibres de cellulose de la lignine du bois et former une pâte épaisse qui est ensuite transformée en papier ou en carton. Actuellement, la mise en pâte passe par des opérations chimiques particulièrement polluantes. Moins nocifs pour l'environnement, les procédés biologiques font appel à des champignons qui dégradent la lignine contenue dans les matières

lignocellulosiques. Outre les économies d'énergie qu'ils engendrent, ils donnent un papier plus résistant. La structure et la composition chimique des fibres de la pâte exercent une influence déterminante sur les propriétés du papier, notamment sur sa résistance. Certaines enzymes réduisent la rugosité des fibres et accroissent la densité et le lissé du papier. La vitesse de fonctionnement de la machine à papier dépend en partie de la capacité d'égouttage du matelas de fibres, qui est en général inférieure dans le cas des fibres recyclées. Par conséquent, plus la teneur en fibres recyclées est élevée, plus le débit de la machine à papier est faible. Cependant, les enzymes telles que les cellulases et les hémicellulases améliorent la capacité d'égouttage des fibres recyclées. Des essais à l'échelle pilote et à l'échelle industrielle ont abouti à l'exploitation commerciale de ces enzymes en tant qu'auxiliaires d'égouttage.

La production mondiale de pâte repose en majeure partie sur le procédé kraft. Cependant, les pâtes ainsi obtenues ont une couleur brunâtre, qui doit être éliminée par blanchiment préalablement à la fabrication des papiers destinés à l'impression ou à l'écriture, ainsi que d'autres produits pour lesquels l'apparence est importante. Le procédé de blanchiment le plus courant est la chloration, mais les exigences des consommateurs et les réglementations environnementales ont amené les fabricants à se tourner vers d'autres techniques. Des études conduites en Finlande ont montré que les hémicellulases (principalement les xylanases) améliorent le blanchiment. Ces enzymes sont désormais employées par l'industrie papetière en Scandinavie, au Canada, aux États-Unis et au Chili. Une nouvelle enzyme plus adaptée aux températures et aux valeurs de pH rencontrées dans le traitement des pâtes à papier a été développée en Israël et testée avec succès dans une grande papeterie. Le traitement des pâtes kraft à l'aide de xylanases entraîne une réduction sensible de la consommation de produits chimiques, sans pratiquement aucune diminution du rendement ni de la qualité.

Les enzymes qui dégradent en partie la cellulose constituent l'un des principaux atouts offerts à l'industrie papetière par les biotechnologies. Elles éliminent les fibres les plus fines, ce qui accélère l'égouttage de l'eau et donc la fabrication, tout en réduisant la quantité d'énergie nécessaire au séchage du papier. L'augmentation de la vitesse des machines peut aller jusqu'à 7 % et l'énergie nécessaire à la production d'une tonne de pâte être réduite de 7.5 %.

Textiles

Sous l'effet de la mondialisation et des concentrations, l'industrie textile évolue considérablement et la maîtrise des nouvelles technologies est en l'espèce la condition du succès. Elle recherche donc de nouvelles sources d'innovation, dont font partie les biotechnologies. A l'heure actuelle, le marché mondial des textiles

pèse quelque USD 672 milliards, tandis que celui des enzymes destinées à ce secteur s'élevait à USD 178 millions en 1996.

Les biotechnologies offrent la possibilité de produire des fibres plus performantes ou dotées de caractéristiques nouvelles. Citons, à titre d'exemple, le coton génétiquement modifié d'*Agricetus*, lequel contient un gène bactérien codant pour une substance semblable au polyester. Le tissu semble avoir la texture du coton, mais serait beaucoup plus chaud. L'exploitation des micro-organismes pour produire des fibres textiles suscite lui aussi un grand intérêt. Zeneca est ainsi parvenu à produire un polyhydroxybutyrate (PHB) par fermentation bactérienne. Monsanto, pour sa part, cherche actuellement à modifier génétiquement certaines plantes pour leur faire produire du PHB. Weyerhaeuser commercialise d'ores et déjà une cellulose synthétisée par une bactérie, plus fine, plus résistante et plus élastique, et Sony a développé des cônes de haut-parleurs stéréophoniques et des membranes acoustiques fabriquées dans un matériau du même type.

DuPont et Genencor ont mis au point un procédé de fermentation microbologique pour produire du 1,3-propanediol, un des principaux constituants du polytriméthylène téréphtalate, polyester supérieur au polyéthylène téréphtalate (PET), couramment employé, mais dont la production à grande échelle était trop coûteuse. En l'occurrence, le micro-organisme impliqué a été modifié dans le but d'optimiser la voie de fixation du carbone pour la production de 1,3-propanediol.

Les enzymes sont employées dans le secteur des textiles depuis le début du siècle pour le désamidonnage, mais les études approfondies sur les nombreuses applications envisageables dans ce domaine ont démarré il y a seulement huit à dix ans. Le recours aux cellulases pour user le jean brut, notamment, connaît un succès notable. En l'occurrence, les enzymes sont utilisées à la place des pierres ponceuses ou avec celles-ci dans le but de conférer au tissu une apparence « usée » ou un aspect délavé. Cette technique de « biodélavage » illustre bien les avantages des biotechnologies du point de vue environnemental. Les enzymes sont d'ailleurs appelées à faire évoluer la composition des effluents, à mesure que se généraliseront les procédés biologiques de préparation, de pré-traitement et de finissage des fibres (cette dernière opération leur apportant une valeur ajoutée). Les enzymes étant des catalyseurs très performants, y compris dans des conditions douces, elles ne requièrent pas l'apport énergétique important qu'exigent souvent les procédés chimiques.

L'emploi des cellulases se répand également dans la production d'une fibre relativement nouvelle, le lyocell, nom générique de fibres cellulosiques filées au solvant. Le lyocell est plus résistant que d'autres fibres artificielles telles que la rayonne et son procédé de fabrication est moins nuisible à l'environnement. Cependant, la fibre a tendance à fibriller en cours de fabrication. Cette fibrillation, propre au lyocell, peut être maîtrisée par un traitement aux cellulases qui confère

un toucher soyeux et un aspect luxueux au tissu, et rend les couleurs résistantes au lavage.

Les entreprises du textile et de l'habillement consacrent aujourd'hui davantage de temps et d'argent à la protection de l'environnement. La réglementation devrait se renforcer à mesure que sont mises au point de nouvelles technologies permettant de limiter la pollution et la production de déchets.

Cuirs

Les cuirs et peaux brutes contiennent, entre les fibres de collagène, des protéines et des lipides. Avant le tannage, ces substances doivent être en partie ou totalement éliminées. Auparavant conduite à l'aide de solvants organiques, cette opération est de plus en plus souvent effectuée au moyen de protéines et d'enzymes qui dégradent les lipides. Pour obtenir un cuir de bonne qualité, la préparation nécessite un trempage soigné des matières premières. Ces dernières étant dans certains cas conservées par séchage, leur réhydratation peut se révéler difficile et demander beaucoup de temps. L'utilisation de protéases et de carbohydratases pour dégrader les protéines et les glucides améliore sensiblement l'absorption d'eau et écourte le trempage.

Le procédé traditionnel d'épilage fait appel à des produits chimiques agressifs tels que la chaux éteinte et le sulfure de sodium, qui dissolvent le poil et font éclater la structure des fibres. Le recours aux enzymes permet de réduire la quantité de produits chimiques nécessaire et, qui plus est, d'obtenir un produit plus propre et de meilleure qualité, un accroissement du rendement par unité de surface et une diminution de la teneur des effluents en produits chimiques. Notamment, les poils n'étant pas dissous, ils peuvent être filtrés, d'où un abaissement de la demande chimique et biologique en oxygène des déchets.

Pour conférer de la souplesse au cuir, il convient de soumettre la matière première, préalablement au tannage, à un traitement appelé « confitage », au cours duquel certains constituants protéiques, une fois dégradés, sont éliminés par rinçage. L'intensité du confitage est fonction du degré de souplesse recherché. Autrefois, l'agent utilisé était à base d'excréments. En 1908, le chimiste allemand Otto Röhm a breveté le premier procédé de confitage normalisé, qui reposait sur l'emploi d'enzymes pancréatiques. De nos jours, on recourt aussi bien à des protéases bactériennes qu'à la trypsine (protéase pancréatique traditionnellement employée), mais des enzymes fongiques et végétales ont également été testées.

Le dégraissage enzymatique des peaux de mouton est employé depuis peu. Ces peaux représentent environ 30 % du marché mondial des cuirs. Le dégraissage enzymatique remplace un procédé qui fait appel à un solvant à base de paraffine. Il est donc moins préjudiciable à l'environnement. Par ailleurs, les investissements et les coûts d'exploitation inhérents à la récupération et à la réutilisation de la

paraffine sont élevés. Ainsi, en dehors de ses atouts sur le plan environnemental, le dégraissage enzymatique améliore la qualité du produit final et diminue les coûts. Le cuir obtenu présente une meilleure résistance à la déchirure et une couleur plus uniforme, et son prix de revient est abaissé d'au moins 25 %, suivant le type de traitement industriel mis en œuvre. Ce procédé biotechnologique, appliqué à 30 à 50 % de la fabrication mondiale, est employé à grande échelle en Australie, au Royaume-Uni et en France.

Agro-alimentaire

Dans ce secteur, les produits étant obtenus à partir de ressources renouvelables, l'étude des aspects environnementaux est plus délicate. Il faut donc mettre en regard l'impact sur l'environnement de l'agriculture commerciale et celui des autres modes de production possibles, par exemple ceux qui font appel à la culture de micro-organismes en fermenteur ou aux produits de départ d'origine fossile.

La production agro-alimentaire, par exemple la fabrication d'additifs, est à de nombreux égards assimilable à la production des autres produits chimiques. Les additifs alimentaires comprennent les gommes, les émulsifiants, les vitamines, les minéraux, les conservateurs, les levains, les acidulants, les arômes et les colorants. Les consommateurs ayant une préférence pour les produits « naturels », les additifs issus des biotechnologies ont un avantage sur ceux qui sont produits par synthèse chimique à partir du moment où leur prix de revient est compétitif. La gomme de xanthane produite par *Xanthomonas campestris* et l'acide citrique produit par *Aspergillus niger* figurent parmi les additifs obtenus par voie biotechnologique d'emploi courant. L'une des applications potentielles qui suscite le plus d'intérêt est la production d'arômes naturels (tels que la vanilline) par des cultures de tissus végétaux, mais elle n'a pas encore de traduction commerciale. Des associations de glucose oxydase avec d'autres enzymes sont utilisées pour remplacer le bromate de potassium, qui sert d'oxydant dans la farine de boulangerie, mais que l'on soupçonne d'avoir des effets cancérigènes.

Les conservateurs alimentaires obtenus par fermentation sont eux aussi prometteurs. Les produits classiques sont pour la plupart des acides gras synthétisés chimiquement ou d'autres acides organiques obtenus par synthèse chimique, qui diminuent le pH des aliments et inhibent le développement d'un large spectre de micro-organismes. L'une des tendances actuelles consiste à essayer de produire par fermentation des conservateurs contenant le même ingrédient actif (l'acide propionique) que le propionate de calcium obtenu par voie chimique (c'est le cas de « Upgrade », conçu par Stauffer Chemical et fabriqué actuellement aux États-Unis par l'unité Quest d'ICI). D'autres conservateurs obtenus par fermentation tels que le Delvocid (pimaricine), produit à partir de *Streptomyces natalensis* par la société néerlandaise Gist-brocades, ou la nisine, que l'entreprise australienne

Burns Philips élabore avec le concours de *Streptococcus lactis*, ont des caractéristiques ou des applications très spécifiques. Les substances chimiques comme la nisine présentent un intérêt certain en ce sens qu'elles peuvent être produites par des bactéries lactiques sans danger pour l'environnement et qu'elles sont efficaces contre les agents pathogènes résistants tels que les *Listeria*.

Comme dans le cas des autres spécialités chimiques, la production d'additifs alimentaires par fermentation ou par voie enzymatique présente des avantages écologiques par rapport à la synthèse organique classique. S'agissant des conservateurs obtenus par fermentation, à ces avantages s'ajoute l'effet bénéfique qui résulte de l'incorporation du milieu de culture dans le produit fini, la solution optimale consistant à utiliser des cultures qui produisent des bactériocines *in situ* pour élaborer les aliments fermentés (saucisses et choucroutes, par exemple), car elles brûlent les glucides instables, conservent naturellement le produit fini et lui apportent leur propre valeur nutritive.

La transformation par hydrolyse de l'amidon d'une céréale, notamment le maïs, permet de fabriquer du sirop de glucose et d'autres sirops. Dans un premier temps, cette réaction a été conduite en milieu acide, à température et pression élevées, mais le rendement en dextrose était limité à quelque 80 % et le procédé, onéreux et dangereux, entraînait la formation de grandes quantités de sel. Le passage à l'hydrolyse enzymatique, dans les années 60, a d'abord accru le rendement en dextrose et supprimé les inconvénients de l'hydrolyse acide. Au cours de la décennie suivante, la mise au point de méthodes d'immobilisation des enzymes, en l'occurrence les glucose isomérase, a permis de produire du sirop de maïs à forte teneur en fructose. Dans les années 80, les rendements ont enregistré une nouvelle augmentation grâce aux alpha-amylases et enfin, dans les années 90, les amylases thermostables obtenues par génie génétique ont abaissé les coûts de production.

Les biotechnologies permettent dans certains cas de convertir les déchets issus d'un procédé en matières premières utilisables dans un autre, ou bien de valoriser des matières premières sous-exploitées. Ces applications sont extrêmement prometteuses sur le plan de la protection de l'environnement et les idées abondent. Il est par exemple envisagé d'exploiter le marc de raisin ou la rafle de l'épi de maïs comme substrats pour la production d'acide citrique, et les résidus de canneberge comme substrat pour la préparation d'inoculum fongiques. Le secteur laitier offre de nombreuses perspectives en raison des grandes quantités de lactosérum produites lors de la fabrication du fromage. La production de levures lactiques, utilisées en tant qu'agents de sapidité, donne de bons résultats.

Alimentation animale

Les biotechnologies modernes jouent un rôle important dans la production des micronutriments utilisés dans l'alimentation animale, mais en termes de volumes

et de chiffre d'affaires, les produits issus de synthèses chimiques occupent une place prépondérante sur le marché. Les sources habituelles d'aliments pour animaux (soja, farines de poisson, blé et maïs, entre autres) étant pauvres en méthionine, lysine, thréonine et tryptophane, ces acides aminés essentiels sont ajoutés aux rations alimentaires des monogastriques, par exemple les volailles et les porcs. Si la méthionine est produite par synthèse chimique (300 000 tonnes en 1996), la lysine, la thréonine et le tryptophane proviennent de fermentations industrielles opérées par des mutants de *Corynebacterium glutamicum* et des souches génétiquement modifiées d'*E. coli*.

Les enzymes incorporées aux aliments du bétail ont pour tâche de dégrader les constituants des matières premières qui limitent la digestibilité de la ration et/ou augmentent le volume de déjections et l'excrétion d'azote et de phosphore. Les plus connues sont les endoxydases et les phytases. Les premières hydrolysent certains composés présents dans le blé et le maïs, d'où une amélioration de la digestibilité globale des nutriments et une diminution de la production de déjections, d'azote et de phosphore. Les phytases hydrolysent quant à elles l'acide phytique et libèrent du phosphate inorganique, ce qui évite d'en apporter dans l'alimentation et limite l'excrétion de phosphore.

Il est rare de pouvoir comparer la quantité de déchets engendrée par deux procédés, l'un chimique et l'autre biologique, donnant le même produit. Cette occasion nous est néanmoins fournie par une nouvelle technique biotechnologique mise au point par LONZA, qui permet d'élaborer un produit précieux pour l'élevage intensif, la L-carnitine, cofacteur jouant un rôle essentiel dans le transport des acides gras à chaîne longue. Le procédé biotechnologique est en l'occurrence beaucoup moins polluant, puisqu'il réduit la teneur des déchets en carbone organique total d'environ 50 % et la production d'eaux usées de plus de 25 %.

Métaux et minéraux

Dans les domaines de l'extraction minière et de la métallurgie, les biotechnologies mettent les micro-organismes au service de la lixiviation des métaux et de l'oxydation des minéraux. L'industrie minière recourt à ces procédés dans le monde entier pour extraire les métaux communs et précieux, et elle utilise des bactéries, essentiellement *Thiobacillus ferrooxidans* et *Leptospirillum ferrooxidans*, ainsi que certaines bactéries thermophiles (résistantes aux températures élevées) pour lixivier des métaux tels que le cuivre ou l'or à partir de minerais sulfurés.

Il n'est pas clairement démontré que les procédés biologiques soient moins polluants que les méthodes classiques de récupération des métaux, et une analyse du cycle de vie se révélerait à cet égard utile (voir ci-après). Néanmoins, d'après les exploitants des mines de cuivre qui recourent à la biolixiviation, ils présentent de nombreux avantages par rapport aux fours de grillage, aux fours de fusion et aux

autoclaves : ils n'émettent pas de gaz nocifs (les fours de grillage dégagent du trioxyde d'arsenic et du dioxyde de soufre, qui doivent être confinés) ; la construction des installations est plus rapide ; les permis d'environnement sont délivrés plus vite et les rapports sur les répercussions écologiques reviennent moins cher ; ils ne produisent pas d'effluents toxiques ; les résidus d'arséniate de fer engendrés sont stables dans l'environnement ; le taux de récupération du métal est excellent ; la conduite des équipements est simple et sûre, le traitement s'effectuant à la température ambiante et à la pression atmosphérique ; les petites installations sont rentables et présentent une valeur actuelle nette plus élevée.

Les activités de galvanisation illustrent de façon éloquente la contribution des biotechnologies à la lutte contre la pollution industrielle. Landskrona Galvanoverk, en Suède, a en effet substitué un procédé enzymatique de finissage des métaux au dégraissage alcalin, qui faisait appel à une solution d'hydroxyde de sodium à 5 % présentant un pH compris entre 11 et 14 et qui produisait un grand volume d'eaux usées chargées en métaux lourds. Cette nouvelle technique, également mise en œuvre dans deux autres entreprises de galvanisation, réduit de moitié le volume des boues engendrées et divise par dix la consommation d'eau. Par ailleurs, compte tenu des économies réalisées, le temps de retour n'est que de cinq ans.

Énergie

Les biotechnologies ont une incidence majeure sur l'économie et les retombées écologiques du secteur énergétique, et à terme, le génie génétique aura dans ces domaines des répercussions considérables. Les biotechnologies permettent de produire un charbon et un pétrole plus propres, et plus précisément de diminuer la pollution engendrée par leur combustion, essentiellement en les débarrassant d'une grande partie du soufre qu'ils contiennent. On peut donc tabler sur un accroissement des réserves de combustibles fossiles exploitables et sur une réduction de la pollution atmosphérique. Les biotechnologies permettent également d'élaborer des équivalents des distillats de pétrole, notamment du biogazole. L'éthanol, le méthane et l'hydrogène moléculaire sont encore moins polluants. Produits par voie biologique, ils contribueraient à faire diminuer sensiblement les concentrations de gaz à effet de serre.

Le bioéthanol est un carburant automobile liquide. D'ici 20 ans, le volume produit aux États-Unis à partir des seuls déchets agricoles pourrait équivaloir, en termes énergétiques, à la demande actuelle d'essence. La majeure partie de la production est obtenue par transformation de la canne à sucre, du maïs et d'autres plantes amylacées. Les États-Unis produisent environ 3.8 milliards de litres d'éthanol par an et le Brésil à peu près quatre fois plus. Toutefois, des avantages fiscaux sont nécessaires pour que le prix à la pompe soit compétitif. Pour pouvoir concurrencer les combustibles fossiles sur le plan économique, la production d'éthanol à

partir de sucres issus de la biomasse devra s'appuyer sur des cultures à faibles coûts et à rendement élevé, et faire appel à des méthodes plus efficaces pour la conversion des déchets lignocellulosiques en sucres fermentescibles. Ces deux aspects sont au centre des recherches actuelles.

La bioconversion du gaz de synthèse en carburants liquides tels que le méthanol fait également l'objet de recherches. Le gaz de synthèse est un mélange de monoxyde de carbone, d'hydrogène gazeux et de dioxyde de carbone, qui résulte de l'oxydation partielle d'une substance carbonée quelconque. Il est fabriqué, entre autres, à partir de déchets agricoles, d'ordures ménagères, de vieux papiers et de la biomasse issue de cultures énergétiques. Cette diversité fait du gaz de synthèse une source d'énergie extrêmement souple. Si l'on parvenait à abaisser les coûts de production et à améliorer le rendement en carbone de la bioconversion, les carburants issus du gaz de synthèse pourraient remplacer avantageusement les carburants obtenus par fermentation des sucres tirés de la biomasse.

La combustion du soufre présent dans le charbon et les produits dérivés du pétrole dégage des oxydes de soufre, lesquels sont à l'origine des pluies acides. D'où la nécessité d'éliminer le soufre contenu dans les combustibles fossiles. La biodésulfuration vise à remplacer un procédé existant (hydrodésulfuration), qui coûte cher, consomme beaucoup d'énergie et n'a qu'une efficacité relative. Or, il faudra mettre au point des méthodes de désulfuration d'autant plus poussées que les réserves de pétrole à faible teneur en soufre s'épuiseront et que les normes à respecter seront plus strictes.

Les scientifiques qui participent aux recherches financées par le ministère de l'Énergie des États-Unis tentent de mettre au point un procédé de conversion de la cellulose en éthanol par couplage de la saccharification et de la fermentation. Celui-ci consiste à conduire simultanément les étapes d'hydrolyse et de fermentation de la cellulose dans un même réacteur, afin d'optimiser le rendement. L'objectif est de développer des technologies permettant de produire à partir de la biomasse un éthanol dont le coût serait compétitif, en l'absence d'avantages fiscaux, par rapport à celui de l'essence.

IV. MESURE DE LA DURABILITÉ INDUSTRIELLE : QUE SIGNIFIE «NON POLLUANT» ?

Il existe plusieurs outils pour mesurer l'incidence des technologies sur l'environnement. Le plus performant est sans doute l'analyse du cycle de vie (ACV), qui permet une évaluation comparative des produits et des procédés. L'ACV peut porter sur l'intégralité du cycle de vie d'un procédé ou d'un produit (de la production à l'élimination/évacuation des déchets), quelle que soit la façon dont le produit est fabriqué ou éliminé.

Le concept de « cycle de vie » amène les entreprises à prendre en considération tous les stades de façon systématique, et non plus seulement celui de la fabrication. L'analyse qui en découle permet de :

- Déterminer si un procédé, un produit ou un service réduit effectivement les atteintes à l'environnement, ou bien s'il se limite à les reporter soit sur l'amont (production des ressources), soit sur l'aval (traitement ou élimination).
- Déterminer quel stade d'un procédé porte le plus atteinte à l'environnement.
- Comparer différents procédés envisageables et des technologies concurrentes.

En ce qui concerne l'évaluation critique des produits et des procédés industriels sous l'angle de la durabilité, l'intérêt de l'ACV réside dans le fait qu'elle applique le concept de cycle de vie aux produits/systèmes, décrit leurs répercussions sur les écosystèmes, permet d'établir des comparaisons impartiales ou équitables entre systèmes non polluants et favorise une communication objective sur les problèmes d'environnement.

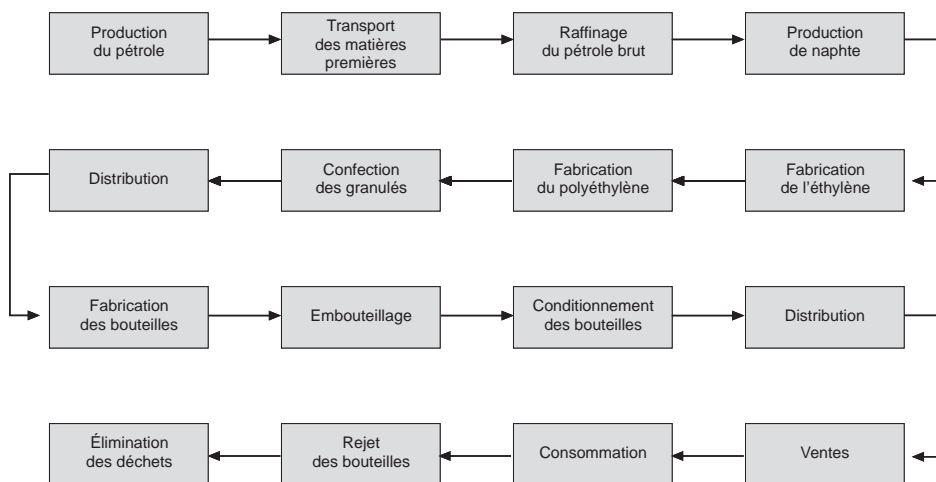
Cela étant, l'ACV a aussi ses limites. Ainsi, elle est circonscrite aux bilans matières et aux bilans énergétiques. Elle ne prend pas en considération les aspects sociaux, politiques et économiques, qui revêtent pourtant de l'importance aux yeux des décideurs. De même, elle fait abstraction de certains paramètres tels que la disponibilité et le caractère renouvelable des matières premières et ne permet pas de comparer les produits fabriqués à des fins différentes et/ou dans des conditions distinctes. Surtout, elles n'exonèrent pas de la nécessité d'arrêter des choix.

Pour être exhaustive, l'analyse du cycle de vie doit prendre en considération les flux de masse et d'énergie inhérents à l'obtention des matières premières et aux procédés de production, mais aussi ceux qui découlent des transports et de l'utilisation et de l'élimination du produit. La figure 1 illustre, à titre d'exemple, les nombreuses étapes du cycle de vie d'un produit relativement simple, à savoir une bouteille de polyéthylène.

L'idéal est de soumettre les projets envisagés à une ACV dès leurs premiers stades, en vue d'évaluer les avantages environnementaux que comporterait un processus non polluant. Des règles d'analyse simples doivent être définies pour fixer les *limites* de l'exercice (où démarre le processus étudié et où il s'arrête) et établir un *système de pondération* des paramètres pris en compte (importance relative).

Si l'on veut confronter les résultats de deux ou plusieurs ACV, il faut comparer et pondérer les différentes sources de pollution. La pondération dépend toutefois dans une large mesure des valeurs dominantes du moment : dans les années 70, par exemple, la consommation d'énergie jouait un rôle essentiel dans l'évaluation de l'impact sur l'environnement ; au cours de la décennie suivante, l'accent était mis en priorité sur les pollutions responsables du dépérissement des forêts ; dans

Figure 1. Cycle de vie d'une bouteille de polyéthylène



Source : SETAC, 1993.

les années 90, enfin, ce sont les émissions de CO₂ et le réchauffement climatique qui ont occupé le devant de la scène.

Il convient de se demander jusqu'où l'évaluation doit remonter en amont du procédé de fabrication lui-même. En effet, la production de produits de départ naturels peut donner lieu à des problèmes dès les premiers stades. La question se pose pour le biogazole obtenu à partir du colza oléagineux, dont la culture à très grande échelle peut soulever deux problèmes : le premier est lié à la forte allergénicité du pollen, le deuxième au possible appauvrissement des sols maintenus en monoculture.

L'ACV ne prend pas en compte les facteurs économiques, une conception qui mériterait d'être reconsidérée. Du fait qu'elle fournit un bilan chiffré, l'ACV permettrait en effet de mettre en balance l'impact sur l'environnement et d'autres éléments, notamment des considérations de coût. Par ailleurs, on peut estimer que les technologies non polluantes sont synonymes non seulement d'amélioration du rendement d'utilisation des ressources et de minimisation des déchets, mais aussi de réduction des risques. Dans ces conditions, l'ACV ne devrait-elle pas comporter un volet «évaluation des risques» ?

S'agissant des biotechnologies, on trouve des exemples d'ACV dans les domaines des produits nettoyants et des détergents (où certaines substances telles que les enzymes ont fait l'objet d'évaluations), des techniques de traitement des déchets et des matières premières renouvelables.

Toutefois, les données publiées fiables sont encore plus rares que dans le domaine des procédés chimiques, et les comparaisons entre biotechnologies et procédés chimiques font exception pour deux raisons essentielles : d'une part, le développement de procédés biotechnologiques est relativement récent et d'autre part, leur évaluation soulève des problèmes méthodologiques plus épineux. Ainsi, les procédés mis en œuvre dans le cas des produits forestiers peuvent être envisagés soit du point de vue de l'environnement, soit sous l'angle de l'activité économique. Il faut donc définir les règles qui présideront à la délimitation du cycle étudié. Quels sont les activités et les processus qui doivent être considérés comme relevant du système de production et ceux qui sont propres à l'environnement ? En outre, les données de référence relatives à la production biotechnologique sont souvent insuffisantes. Sous prétexte de confidentialité ou de stratégie, il arrive que les entreprises bloquent l'accès à des informations de première importance. Quoi qu'il en soit, les exemples fournis par divers secteurs industriels semblent confirmer que les solutions biotechnologiques présentent des avantages pour l'environnement.

V. AXES DE LA RECHERCHE EN BIOTECHNOLOGIE

Surmonter les obstacles techniques et économiques qui freinent la diffusion des biotechnologies dans l'industrie : tel est l'enjeu des travaux de R-D menés actuellement. D'ores et déjà, de nombreux procédés biotechnologiques peuvent avoir une application industrielle, mais beaucoup reste à faire dans les domaines de la recherche appliquée et des projets expérimentaux, afin de montrer que la R-D conduite en laboratoire et à petite échelle peut être transposée à l'échelle industrielle. Dans quelle mesure faut-il approfondir la recherche fondamentale et comment la recherche générique doit-elle être financée ? Étant donné que les activités de développement sont propres à un secteur, à une entreprise, voire à un procédé, l'industrie est directement concernée.

L'hydrophilie des biocatalyseurs et leur inactivation aux températures élevées sont au nombre des problèmes techniques qui font obstacle à une plus large adoption des procédés biotechnologiques. Outre qu'ils réclament de grandes quantités d'eau, ces derniers nécessitent parfois aussi des équipements sophistiqués. De plus, les rendements peuvent être faibles, notamment lorsque les voies métaboliques et les mécanismes de régulation physiologique sont mal connus. Ainsi, la

Exemple 1. Comparaison entre les procédés de nettoyage enzymatiques et chimiques

Novo Nordisk A/S a mis au point un procédé pour éliminer les résidus de peroxyde d'hydrogène après l'opération de blanchiment qui précède la teinture. Cette étape, appelée rinçage du blanchiment, fait appel aux catalases, caractérisées par les atouts suivants : elles sont sans effet sur les teintures, il n'est pas nécessaire de chauffer ni de rincer les textiles avant de les teindre et il n'y a pas de risque de surdosage dangereux ni de formation de sous-produits dans les eaux résiduaires. De plus, les catalases sont biodégradables et ne sont pas toxiques pour les organismes aquatiques. Novo Nordisk a publié les résultats d'une comparaison entre trois méthodes différentes de rinçage du blanchiment (rinçage à froid, utilisation d'agents réducteurs et utilisation des catalases). Avec le procédé biologique, la teinturerie économise jusqu'à 19 000 litres d'eau par tonne de textile. La substitution des enzymes à l'agent réducteur employé dans le rinçage à chaud se traduit par une économie de 1 600 à 1 800 mégajoules/tonne de textile. Compte tenu de la diminution de la consommation d'énergie, les émissions de CO₂ sont abaissées de 100 à 120 kg/tonne de textile produite.

Exemple 2. Délavage des jeans à la pierre ponce («stonewashing»)

Les jeans font partie des vêtements les plus répandus dans le monde. Pour leur conférer leur aspect délavé, obtenu par élimination de la teinture indigo, on a longtemps recouru uniquement aux pierres ponces qui, placées dans le tambour de lavage, usent la toile par frottement. Or, certaines enzymes sont à même de faciliter l'élimination de l'indigo à la surface du fil. Dans la pratique, on recourt à trois méthodes : lavage à la pierre ponce uniquement, lavage aux enzymes sans pierres ponces (« biodé lavage ») et lavage associant la pierre ponce et les enzymes. Actuellement, le biodé lavage est le procédé le plus employé, une évolution qui peut être imputée aux économies réalisées grâce à cette méthode, à la mode et, dans une moindre mesure, à la prise en considération des problèmes environnementaux.

Les trois techniques ont été soumises à une ACV. Le dé lavage des jeans proprement dit comportant trois étapes : lavage, rinçage (élimination des résidus de pierre ponce) et nettoyage final du vêtement, l'analyse a été limitée à ces trois opérations. Le cycle étudié englobait donc l'extraction de la pierre ponce, la production des cellulases, le transport des produits et, enfin, le finissage des jeans.

Il en est ressorti que le biodé lavage est plus performant pour huit des dix paramètres environnementaux retenus. Le procédé mixte est préférable sur le plan de la pollution aquatique, car le biodé lavage entraîne des rejets de composés phosphorés plus importants. Le lavage à la pierre ponce uniquement donne pour sa part de meilleurs résultats en ce qui concerne les odeurs, principalement parce que le biodé lavage suppose des émissions d'ammoniac, cette substance chimique entrant dans la composition de l'engrais dont dépend la production des matières premières nécessaires à l'obtention des cellulases par fermentation.

(voir page suivante)

(suite)

Les trois méthodes ont également donné lieu à une comparaison des coûts induits par les réglementations environnementales ou les impératifs écologiques. Les plus élevés sont imputables au traitement des eaux usées, la technique qui utilise uniquement la pierre ponce étant en l'occurrence la plus chère et le procédé entièrement biologique le moins onéreux. Si les normes environnementales venaient à être renforcées pour assurer un développement durable, les écarts se creuseraient.

Exemple 3. Le génie génétique au service de la réduction de la pollution

Les protéases constituent un ingrédient essentiel des détergents modernes, car elles éliminent les salissures protéiniques. Compte tenu de leur pouvoir catalytique, elles sont utilisées en faibles concentrations (de 0.1 % à 1.0 %). Il est impossible d'obtenir des résultats identiques avec d'autres substances ou en élevant la température de lavage.

Une ACV a été réalisée pour comparer la production de ces enzymes à partir d'un micro-organisme classique et un procédé reposant sur un organisme génétiquement modifié. L'objectif était de déterminer le niveau de la pollution engendré par la fabrication du catalyseur et de mettre en évidence d'éventuels points faibles. L'évaluation n'a pas porté sur la totalité du cycle de vie des protéases, mais uniquement sur leur production, c'est-à-dire sur tous les procédés mis en œuvre depuis la production des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini sous forme de granulés.

A pouvoir lavant équivalent, la production des enzymes à partir du micro-organisme recombiné abaisse la consommation unitaire de matières premières de 34 % et la consommation d'énergie de 60 %. Compte tenu des besoins annuels totaux du fabricant, ces économies d'énergie correspondent à l'énergie primaire que consomment chaque année 170 000 foyers pour laver leur linge. Le nouveau procédé réduit les émissions de carbone et de dioxyde de soufre de quelque 170 tonnes et 190 tonnes par an, respectivement. Les émissions atmosphériques ont été évaluées en fonction de leur incidence sur le réchauffement climatique et de leur contribution aux pluies acides et au smog. Les rejets dans l'eau ont été estimés sur la base de l'apport en nutriments et de la consommation d'oxygène qui en découle. L'analyse a ainsi confirmé que l'utilisation de l'organisme modifié divise par trois à quatre la consommation d'énergie et de ressources, de même que les émissions

Exemple 4. Production de bioéthanol

L'éthanol peut être obtenu au moyen d'un procédé biotechnologique ou par synthèse chimique. En 1991, la production mondiale s'est élevée à 15 millions de tonnes, dont 12 millions procédaient de ressources agricoles. En volume, abstraction faite de la production de boissons, l'éthanol se classe au premier rang des produits issus des biotechnologies. Du point de vue financier, il n'est devancé que par les antibiotiques.

(voir page suivante)

(suite)

Le bioéthanol est fabriqué à partir des glucides de la canne à sucre, de la betterave ou du maïs. Dans le premier cas, la canne est broyée et le sucre en est extrait avec de l'eau. Le résidu, la « bagasse », est brûlé pour produire de la vapeur, qui sera utilisée dans les opérations ultérieures. Des levures fermentent le sucre et l'éthanol est recueilli par distillation. La bagasse étant utilisée comme combustible, les étapes de la production qui vont du broyage de la canne à la distillation ne nécessitent pas d'autre apport en énergie. Le jus de distillerie est employé comme engrais ou pour l'alimentation du bétail.

La production d'éthanol à partir de matières premières renouvelables requiert de très grandes quantités d'énergie, dont la majeure partie est cependant renouvelable elle aussi. Les besoins en énergie fossile sont faibles (6 mégajoules/kg éthanol) et sont à mettre au compte de la production d'engrais, des transports et du fonctionnement des machines. Ils sont inférieurs dans le cas des céréales, la pollution de l'environnement étant en l'occurrence partiellement imputée aux co-produits (aliments du bétail, par exemple). Cependant, le procédé de fabrication est alors tributaire d'un apport énergétique extérieur, si bien que la quantité d'énergie fossile requise s'élève à quelque 19 mégajoules/kg d'éthanol.

L'éthanol de synthèse est fabriqué à partir de l'éthylène par hydratation catalytique en présence d'acide sulfurique, et hydrolyse de l'ester qui en résulte. La source de carbone utilisée est soit du pétrole brut, soit du gaz naturel. La quantité d'énergie fossile consommée au cours des différentes étapes du processus (raffinage, vapocraquage destiné à la production de l'éthylène et synthèse proprement dite) s'élève à 62 mégajoules/kg d'éthanol.

Le procédé de fabrication biotechnologique consomme du CO₂. Du point de vue des émissions, il l'emporte donc largement. En ce qui concerne les autres gaz, les données sont moins fiables. Il en ressort toutefois que le bioéthanol et l'éthanol de synthèse se tiennent au coude à coude pour ce qui est des émissions de dioxyde de soufre. S'agissant des émissions de particules, la canne à sucre n'est pas en mesure de rivaliser. Les procédés reposant sur la canne à sucre ou les céréales dégagent plus d'oxyde d'azote que la production d'éthanol de synthèse.

fabrication de biopolymères à l'aide de micro-organismes requiert cinq fois plus d'eau, pour la séparation du produit et du catalyseur, que les procédés chimiques classiques. Il faut donc plus d'énergie et une capacité de traitement de l'eau nettement supérieure, et l'impact sur l'environnement va en l'occurrence bien au-delà des simples considérations de coûts.

Afin de surmonter ces obstacles, les efforts déployés actuellement dans différents domaines de la recherche visent à étendre la gamme des biocatalyseurs, des enzymes, des voies de synthèse et des milieux réactionnels, ainsi que l'éventail des applications de la technique de l'ADN recombiné, de l'ingénierie des protéines, du génie métabolique, de l'évolution dirigée et de la bioinformatique.

Nouveaux biocatalyseurs

La mise au point de nouveaux biocatalyseurs suit deux directions : i) l'exploration des habitats naturels, par exemple les sites géothermiques, à la recherche de biocatalyseurs capables d'agir à haute température et dans des milieux artificiels ; ii) la modification des biocatalyseurs existants au moyen de méthodes génétiques et physico-chimiques. Les progrès de la biologie moléculaire facilitent l'exploration de l'univers des micro-organismes et l'exploitation de leur potentiel génétique. On utilise les sondes moléculaires pour repérer des micro-organismes présentant des propriétés biocatalytiques particulières, et ce avant même qu'on sache les cultiver. L'étude des génomes permet d'identifier des séquences de gènes et leurs fonctions, et de découvrir aux enzymes des potentialités nouvelles.

De manière générale, les enzymes sont instables, ce qui constitue un obstacle majeur à leur utilisation industrielle. Dans la nature, elles sont remplacées à l'intérieur des cellules vivantes à mesure qu'elles se détériorent, mais dans une usine chimique, ce renouvellement est long et coûteux. Altus Biologics, filiale de la société Vertex, commercialise des cristaux d'enzymes réticulés (CLEC®). De nombreuses enzymes peuvent être cristallisées, de telle sorte que leurs molécules se répartissent de façon homogène dans une matrice tridimensionnelle régulière. Chaque molécule reste active, mais est souvent plusieurs centaines de fois plus stable que celle de la même enzyme en solution. Les CLEC restent perfectibles (les molécules enzymatiques situées au centre du cristal ne peuvent pas accéder aux substrats, par exemple), mais ils ont été accueillis favorablement par le marché.

Les extrémophiles sont des organismes aux caractéristiques biochimiques inhabituelles, qui se développent dans des milieux particulièrement hostiles : fond des puits de pétrole, glaciers arctiques, marais salés asséchés et orifice des cheminées hydrothermales des abysses océaniques. Leurs enzymes sont plus résistantes et agissent à des températures très élevées (moins élevées toutefois que celles qui caractérisent les procédés pétrochimiques classiques). Elles intéressent de nombreux secteurs, car les enzymes sont les catalyseurs les plus sélectifs que nous connaissions et celles des micro-organismes ordinaires sont souvent trop fragiles pour résister aux conditions qui prévalent dans les procédés industriels. Les chimistes sont donc à la recherche d'enzymes d'extrémophiles qui allient à une très grande précision une résistance suffisante pour survivre aux procédés industriels. En fait, on espère faire mieux que la nature en fabriquant des enzymes capables d'exercer leur fonction dans des milieux qui seraient fatals aux organismes les plus résistants. Cela peut se révéler très payant, comme l'a montré l'exemple de la Taq polymérase. Cette enzyme commerciale, qui provient d'une bactérie thermophile, est à l'origine de la technique d'amplification de l'ADN (*polymerase chain reaction*, PCR), laquelle a révolutionné des pans entiers de la biochimie et rapporté des centaines de millions de dollars à ses inventeurs. Pour autant, la

Taq polymérase n'est pas véritablement considérée comme une enzyme d'extrêmophile : bien qu'elle soit suffisamment résistante pour supporter les multiples variations de température d'une PCR standard, elle est détruite dès 80 °C. Les chercheurs travaillent donc actuellement sur des catalyseurs encore plus robustes issus d'organismes qui vivent à proximité des cheminées hydrothermales du fond des océans où, la pression aidant, la température de l'eau peut atteindre 120 °C.

Milieus réactionnels

Les enzymes peuvent conserver dans un milieu non aqueux leur capacité à catalyser des réactions utiles sur le plan technologique. Cette caractéristique a donné naissance à de nouveaux procédés biotechnologiques dans lesquels elles sont contraintes, via la maîtrise des molécules d'eau, à former des liaisons chimiques qu'elles sont normalement censées rompre. Une entreprise conjointe créée par DSM et une société japonaise a mis au point une application commerciale intéressante des réactions enzymatiques en milieu non aqueux et en présence de solvants organiques. Elle utilise en effet l'acétate d'éthyle comme solvant pour produire de l'aspartame. Ce substitut de l'aspartame de synthèse est déjà commercialisé, et sa production se chiffre en tonnes. Autre exemple : la transestérification enzymatique de monosaccharides avec l'acrylate de vinyle, en présence de pyridine (solvant). Les esters produits lors de cette réaction sont isolés puis polymérisés, d'où l'obtention de matériaux capables de retenir une quantité d'eau équivalente à cinquante fois leur poids. Ces polymères sont en grande partie biodégradables.

Plus récemment, les chercheurs se sont intéressés à l'emploi des fluides supercritiques comme milieux de réaction biocatalytique. Ces fluides non aqueux sont maintenus au-dessus de leur température critique, ce qui empêche leur liquéfaction : ils présentent des propriétés propres aux liquides et aux gaz. Les fluides supercritiques ont plusieurs avantages importants pour les bioconversions : accroissement de la vitesse des réactions enzymatiques, protection contre les contaminations microbiennes et possibilités de recyclage. En outre, il est possible de modifier l'activité des enzymes et leur spécificité de substrat en faisant fluctuer la pression à laquelle s'effectue la réaction. Prenons l'exemple de la lipase, qui est utilisée pour catalyser la synthèse du polyester : lorsque cette réaction est opérée dans un fluide supercritique tel que le fluorforme, il est possible de faire varier la masse moléculaire du polymère en agissant sur la pression.

Technologie de l'ADN recombiné

La technologie de l'ADN recombiné, outil très puissant, permet de conjuguer diverses fonctions génétiques. Elle est propice à la modification génétique d'organismes exerçant des activités catalytiques spécifiques, de manière à ce qu'ils soient à même d'opérer les catalyses voulues et d'agir à haute température, à des concentra-

tions élevées de solvant ou dans d'autres conditions caractéristiques des procédés industriels. Dans de nombreux cas, des enzymes d'extrémophiles peuvent être transférées dans des organismes plus faciles à manipuler tels *Escherichia coli* ou des levures, dont la culture en réacteurs industriels est monnaie courante. Inversement, les fonctions catalytiques d'organismes peu résistants peuvent être transférées chez des organismes aptes à se développer dans des milieux naturels hostiles.

Les organismes recombinés peuvent servir à produire des enzymes utiles à la biocatalyse de certaines réactions. Dans la mesure où ils sont cultivés en milieu confiné conformément aux bonnes pratiques de production industrielle, les risques de dissémination dans l'environnement sont réduits au minimum. Malgré les avantages que présentent ces enzymes, certains pays en interdisent encore l'utilisation dans diverses applications, notamment dans le domaine alimentaire. Quoiqu'il en soit, comparées aux techniques classiques, les biotechnologies modernes peuvent se révéler bénéfiques pour l'environnement. Ainsi, les enzymes issues d'organismes recombinés accroissent le rendement de fermentation, d'où une diminution de la consommation des ressources nécessaires à leur production.

Génie protéique

Le génie protéique permet désormais de modifier la séquence des acides aminés de certaines protéines enzymatiques de manière à infléchir dans un sens ou dans l'autre la stabilité de leur structure tridimensionnelle en conditions industrielles et/ou à leur conférer une affinité avec des substrats plus compatibles avec les impératifs commerciaux. Ces progrès ont été rendus possibles par quelques découvertes remarquables sur le comportement des enzymes au niveau moléculaire. La xylose isomérase est ainsi inactivée par une réaction chimique entre le glucose (son substrat) et les unités de lysine essentielles à sa structure tridimensionnelle. Les chercheurs de la société Gist-brocades ont mis au point un procédé permettant de modifier le gène qui code pour cette enzyme de telle sorte que ces unités de lysine sont remplacées par d'autres unités certes moins réactives, mais qui assurent elles aussi la cohésion structurale de l'enzyme.

Des biochimistes de l'Université du Colorado ont conçu et produit la première enzyme entièrement synthétique, en l'espèce une molécule capable de mimer la chymotrypsine. À l'aide d'un programme informatique qui modélise la conformation de la protéine, ces chercheurs ont créé une molécule porteuse des principaux acides aminés dans la configuration appropriée. Ils ont ensuite synthétisé cette molécule, qui est moins rapide que l'enzyme naturelle, mais plus résistante à haute température. On espère également parvenir à ancrer des enzymes artificielles sur une matrice solide. En cas de succès, les enzymes artificielles présentant des propriétés telles qu'une meilleure résistance aux températures élevées pourraient constituer une nouvelle génération de catalyseurs.

Cultures mixtes et génie métabolique

Dans le milieu naturel, les micro-organismes ne vivent presque jamais isolés d'une autre espèce. En fait, plusieurs espèces possédant chacune différentes fonctions agissent en synergie. Jusque récemment, la microbiologie industrielle se contentait d'exploiter une seule espèce à la fois, mais on sait désormais qu'en imitant la nature, et donc en regroupant certaines espèces particulières, il est possible d'opérer des réactions qui seraient en d'autres circonstances difficiles ou impossibles à réaliser. Une autre stratégie, à savoir le génie métabolique, permet elle aussi de provoquer des réactions non conventionnelles. Elle consiste à réunir différentes séquences métaboliques (acide ascorbique et 1,3-propanediol, par exemple) dans un seul et même organisme, grâce à la recombinaison de l'ADN. Cette technique a dans un premier temps été appliquée à la conception de micro-organismes chargés de dégrader des substances chimiques toxiques difficiles à éliminer, telles que les polychlorobiphényles (PCB) et les dioxines. Elle a récemment été employée avec succès pour la première fois afin de créer une voie métabolique *in vitro*, en l'occurrence un opéron de trois gènes codant pour la résistance à l'arsenic. La recherche fait également des progrès dans le domaine des réacteurs multienzymatiques dits « one-pot » (à cuve unique), où des mélanges d'enzymes sont utilisés dans des systèmes acellulaires pour réaliser des synthèses complexes.

Évolution moléculaire dirigée

On appelle « évolution moléculaire dirigée » une technique de conception récente qui consiste à modifier les enzymes ou les protéines pour leur conférer des propriétés dont elles sont dépourvues à l'état naturel. Parallèlement, la méthode du « shuffling » de l'ADN consiste à sélectionner une série de séquences d'ADN présentant une forte homologie, à les fragmenter au hasard, puis à les réassembler pour former de nouveaux gènes. L'opération est répétée, le résultat d'un cycle de réarrangement aléatoire des séquences d'ADN servant de matériel de départ à un nouveau cycle, d'où l'obtention en très peu de temps de populations de variants possédant les caractéristiques souhaitées. A ce titre, cette technique confère une véritable efficacité à l'évolution moléculaire dirigée. Le grand avantage de ces procédés réside dans le fait qu'ils permettent de transformer n'importe quelle protéine, même si sa structure est inconnue.

Les ingénieurs chimistes qui s'efforcent de concevoir des procédés industriels utilisant des biocatalyseurs se heurtent sans cesse au simple fait que les systèmes biologiques ont évolué sur des milliards d'années avant d'arriver à accomplir des réactions très spécifiques dans des milieux déterminés. Or, certaines caractéristiques sont indésirables lorsque le catalyseur est soustrait à son environnement naturel. A l'inverse, les enzymes possèdent de nombreuses propriétés qui sont utiles et néanmoins incompatibles avec certains procédés industriels. L'évolution moléculaire

laire dirigée pourrait avantageusement se substituer au génie protéique rationnel pour créer de nouvelles enzymes.

Dotées de nouvelles caractéristiques et de nouvelles fonctions, les enzymes peuvent être « réglées » pour agir de manière optimale dans des conditions précises. On peut recourir à l'évolution moléculaire dirigée même lorsque les connaissances que l'on a de la structure ou du mécanisme catalytique d'une enzyme sont très lacunaires. Dans la mesure où la vaste majorité des protéines existantes n'a pas été décrite, il s'agit d'un avantage considérable. Cette technique a par exemple été employée pour améliorer la stabilité des enzymes dans les milieux organiques ou bien pour renforcer leur spécificité de substrat. Ainsi, la subtilisine, une protéase utilisée comme adjuvant dans le nettoyage des vêtements, est stabilisée par le calcium. Malheureusement, les applications industrielles la mettant en œuvre font souvent intervenir des substances chimiques qui fixent le calcium et, par voie de conséquence, la déstabilisent. La partie de l'enzyme qui se lie au calcium peut être supprimée, et il est ensuite possible de recourir à l'évolution moléculaire dirigée pour lui conférer une stabilité non subordonnée au calcium. On a ainsi produit une enzyme qui a conservé son activité catalytique constitutive mais dont la stabilité en présence de chélateurs puissants a été accrue d'un facteur 1 000.

La technique du « shuffling » de l'ADN peut également être appliquée à la subtilisine. L'évolution dirigée a en l'occurrence donné naissance à des variants qui présentent soit une plus grande stabilité au peroxyde d'hydrogène, soit une activité accrue, mais il est rare que ces deux propriétés soient améliorées simultanément. Toutefois, les deux populations de variants peuvent de nouveau être soumises à des cycles de recombinaison aléatoire pour créer des enzymes à la fois plus stables et dotées d'une activité catalytique supérieure.

Bioinformatique

La bioinformatique est un nouveau domaine à cheval sur l'informatique, les mathématiques, le génie logiciel et la biologie. Elle recouvre l'assemblage, le stockage, la consultation et l'analyse de bases de données informatiques, dont certaines contiennent des séquences d'ADN et de protéines et des informations sur les phénotypes. La génomique, sous-ensemble de la bioinformatique, a pour but l'établissement d'un inventaire complet des séquences d'ADN des organismes vivants et la cartographie de leurs génomes. Le génome de deux bactéries a ainsi été séquencé entièrement pour la première fois en 1995 et quatre autres ont suivi en 1996. A la fin du siècle, le séquençage de dizaines de génomes aura été achevé. Parallèlement, la cartographie et l'analyse des séquences génomiques de plusieurs espèces animales et végétales progressent rapidement, notamment en ce qui concerne le génome humain. Les données issues de ces recherches peuvent être mises à profit

pour traiter diverses questions, concernant par exemple l'exploitation biotechnologique d'organismes nouvellement découverts, en particulier des extrêmophiles.

VI. LA VOIE DU SUCCÈS

Les biotechnologies pourraient ouvrir la voie à une approche radicalement nouvelle du développement durable. Elles ont en effet pour caractéristique fondamentale d'opérer en harmonie et non en conflit avec la nature. De ce point de vue, elles sont à même de supplanter les technologies existantes qui polluent la biosphère et/ou épuisent les ressources non renouvelables. Les solutions susceptibles de réduire l'impact de ces technologies amélioreront incontestablement la qualité du milieu naturel. Toutefois, les principales parties prenantes (l'industrie, les pouvoirs publics, la communauté scientifique et, surtout, le public) doivent agir de concert pour que les biotechnologies tiennent leurs promesses et contribuent à la viabilité écologique de l'industrie. Il ne fait aucun doute que la collaboration entre les parties intéressées est indispensable.

Les principaux facteurs qui régissent l'évolution des procédés industriels biotechnologiques sont le marché, la politique des pouvoirs publics, ainsi que les progrès scientifiques et technologiques. Leur influence respective varie d'un secteur à l'autre. Le marché obéit à des impératifs de rentabilité, la politique des pouvoirs publics reflète l'attachement du public à un environnement sain, la technologie apporte des méthodes et assure la faisabilité technique.

La position du public

Les informations diffusées par les médias ou d'autres canaux influencent (parfois très sensiblement) le sentiment qu'inspirent les biotechnologies, comme c'est le cas pour n'importe quelle autre technologie. A ce titre, l'information est l'un des rouages essentiels de la mécanique complexe qui relie technologies, réglementation, action des pouvoirs publics et acceptation ou rejet des avancées techniques.

Très peu d'études ont été consacrées à l'idée que se fait le public des avantages des biotechnologies pour l'environnement. D'après une enquête menée au Canada en 1996 et exclusivement axée sur les applications environnementales, la collectivité a une opinion globalement favorable, notamment lorsque sont évoqués des procédés connus (compostage et fabrication de biocarburants, par exemple). De même, dès lors qu'elles sont informées des avantages et des risques, les personnes interrogées soutiennent les applications des biotechnologies. Les domaines de l'environnement et de la santé sont jugés prioritaires par rapport à la production alimentaire.

De nombreuses initiatives pourraient être lancées pour mieux faire connaître les potentialités des micro-organismes dans toute leur diversité. Le *Microcosmos Science Education Museum* de l'Université de Boston et l'*American Society for Microbiology's*

Microbial Literacy Collaborative, implanté à Washington, s'y emploie d'ores et déjà. Les expositions itinérantes, les ateliers et les salons à vocation scientifique peuvent sensibiliser l'opinion aux activités bénéfiques des micro-organismes. Il conviendrait notamment d'insister sur les nombreux rôles que jouent ces derniers dans le milieu naturel. En effet, les micro-organismes sont en général perçus comme des agents pathogènes et l'on parle peu de ceux qui sont essentiels à la vie sur Terre, pourtant largement majoritaires. Mieux faire connaître les très nombreux aspects de l'activité microbienne qui sont bénéfiques à l'environnement et à l'humanité renforcerait probablement le soutien en faveur de la maîtrise des agents biologiques dans les domaines tels que les technologies industrielles propres.

L'application des biotechnologies au développement de procédés industriels respectueux de l'environnement peut présenter un attrait pour les jeunes, qui sont très sensibles aux questions d'environnement et aux problèmes des régions défavorisées du globe. Les programmes scolaires abordent désormais des thèmes tels que le recyclage et les énergies renouvelables. Ces chapitres peuvent être approfondis et étendus pour englober les concepts de « bonne gestion de la planète » et de « citoyenneté environnementale ». De même, l'environnement a désormais sa place dans les cursus universitaires scientifiques et littéraires. Le milieu scolaire se prête particulièrement bien à la vulgarisation de la notion de développement durable, l'école étant souvent le lieu où se forment des comportements et des valeurs profondément ancrés, notamment lorsqu'ils sont cautionnés par un enseignant respecté.

Dans l'enseignement supérieur, la priorité est à l'élargissement de la formation des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens supérieurs. Certains concepts, par exemple l'analyse du cycle de vie et la viabilité écologique, devraient être traités à part entière au cours de leurs études et, ce faisant, être intégrés à leur mode de pensée. A l'inverse, jusqu'à maintenant, les ingénieurs chimistes œuvrant au développement de nouveaux procédés n'ont pas été tenus de prendre en considération les conséquences environnementales du prélèvement des matières premières ni même, dans certains cas, les modalités d'élimination des sous-produits.

La *National Science Foundation* des États-Unis et la *Lucent Technologies Foundation* ont lancé en 1997 un programme ayant pour objet de renforcer la formation de la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs spécialisés dans les questions d'environnement. Dans tout le pays, des chercheurs ont reçu des subventions afin de promouvoir l'écologie industrielle et d'encourager les entreprises à intégrer la prévention de la pollution dans leurs activités quotidiennes. Chacune de ces subventions vise à soutenir une personne ou une équipe qui participe à des programmes de recherche ou d'enseignement destinés à aider l'industrie à concevoir des procédés qui préviennent la pollution et des produits respectueux de l'environnement.

Parmi les publics visés figurent également en premier lieu les personnalités influentes (rédacteurs en chef de journaux et de magazines, responsables d'émis-

sions de radio ou de télévision, notamment), le personnel non technique des entreprises spécialisées dans les biotechnologies et des autres secteurs, mais aussi la classe politique. Il est en particulier essentiel d'améliorer la compréhension mutuelle et la coopération entre les dirigeants d'entreprise et les défenseurs de l'environnement. Ils devront en effet convenir d'un programme commun pour que puisse s'opérer le passage à des technologies de nouvelle génération qui ne mettent pas l'environnement en péril.

Que peuvent faire les pouvoirs publics ?

Les pouvoirs publics jouent un rôle considérable dans le développement et la diffusion des technologies propres. Dans de nombreux cas et dans de nombreux pays, il s'agit même du facteur le plus déterminant. Sous l'effet de l'évolution des modes de vie et du fait que les consommateurs privilégient de plus en plus les produits respectueux de l'environnement, les pouvoirs publics seront amenés à répondre aux aspirations du public et à adopter des mesures économiques qui stimuleront la mutation des pratiques industrielles. Parallèlement, il convient de faire un effort d'éducation au sujet des biotechnologies et des pratiques industrielles non polluantes, en s'appuyant sur les programmes scolaires et sur des campagnes de communication propices à la vulgarisation.

Quoi qu'il en soit, la réglementation à laquelle sont soumises les biotechnologies doit être suffisamment dynamique et souple, car la science et la technologie évoluent sans cesse. Il est essentiel d'harmoniser les principes qui régissent le contrôle exercé par les pouvoirs publics, notamment en ce qui concerne les utilisations industrielles des biocatalyseurs recombinés, afin de rompre les entraves qui empêchent une plus large diffusion dans l'industrie des procédés biotechnologiques.

Les pouvoirs publics peuvent également exercer une influence sur le plan économique, en adoptant des mesures fiscales qui améliorent la compétitivité des nouvelles technologies et facilitent l'adoption des biotechnologies. Ils peuvent aussi exercer leurs prérogatives réglementaires pour contraindre l'industrie à adopter des technologies non polluantes dans l'intérêt suprême de l'environnement, quels que soient les coûts supplémentaires que cela implique dans un premier temps. Les pouvoirs publics doivent prendre conscience que dans de nombreux cas, l'obstacle le plus difficile à surmonter n'est pas le déficit de savoir-faire technique mais le manque de confiance, une problématique qui rejoint celle de la sécurité des transports aériens, par exemple. C'est pourquoi la diffusion d'informations ne suffira probablement jamais pour recueillir l'adhésion du public : la transparence des processus de décision concernant les nouvelles technologies, l'évaluation des risques mais aussi la réglementation et la surveillance des activités de recherche comptent tout autant.

Enfin, les pouvoirs publics peuvent jouer un rôle de catalyseur, en démontrant l'utilité des biotechnologies et en assurant leur promotion. Des partenariats faisant intervenir à la fois les autorités gouvernementales, l'industrie et le public sont nécessaires pour mettre en œuvre la durabilité industrielle et favoriser le développement des biotechnologies.

La contribution de l'industrie elle-même

Dans la plupart des cas, les technologies propres sont spécifiques à un procédé donné, voire à un type de procédé parmi d'autres dans une même entreprise. Une société ne décide de substituer à ses dispositifs de lutte contre la pollution en aval une technologie non polluante que si le nouveau procédé de production réduit les coûts par rapport à l'ancien ou s'il améliore les performances de l'équipement ou la qualité du produit.

Le passage à des méthodes de fabrication plus respectueuses de l'environnement n'impose pas nécessairement un remplacement complet et coûteux de l'appareil de production. Souvent, en effet, l'adoption d'un procédé biotechnologique à certaines étapes permet d'obtenir le résultat souhaité ou bien l'équipement existant peut être simplement modifié. Cependant, il convient d'assurer des relais sur la voie qui mène de la recherche fondamentale à la mise en œuvre finale. A cette fin, la meilleure solution consiste à créer entre les pouvoirs publics, le monde de la recherche et l'industrie des partenariats à même de valider la faisabilité d'une application.

Le secteur privé réalise rarement les investissements nécessaires pour développer des procédés biotechnologiques et les intégrer aux systèmes existants, à moins que leurs avantages ne soient attestés. Cela est d'autant plus vrai lorsque les marges bénéficiaires ne sont pas clairement établies et difficiles à chiffrer par rapport à celles qu'assurent un procédé classique. Les biotechnologies ont néanmoins apporté la preuve qu'elles étaient rentables dans le domaine des produits chimiques de spécialité à valeur marchande élevée et leur compétitivité économique dans le secteur des produits chimiques de base est également avérée.

Les entreprises mesurent les avantages des produits et des procédés non polluants à l'aune des débouchés commerciaux et/ou de la différence de coût. Selon leur position sur le marché et leur avance technologique, c'est en référence à une stratégie offensive ou défensive qu'elles arrêtent leurs choix quant à la mise en œuvre d'une technologie respectueuse de l'environnement. Néanmoins, les dirigeants du secteur industriel ne doivent pas perdre de vue que si le public est prêt à soutenir l'action gouvernementale en faveur des procédés et produits non polluants, le consommateur n'est pas disposé à payer plus cher au motif qu'une nouvelle méthode de production a été adoptée pour préserver l'environnement, sauf s'il considère qu'il peuvent en retirer directement un bénéfice. De plus, certains avantages économiques ne sont pas faciles à évaluer. Ainsi, il est difficile de

Encadré 2. La politique de communication de Novo Nordisk à propos des retombées écologiques de ses activités

En 1974, lorsque la première loi sur la protection de l'environnement est entrée en vigueur au Danemark, Novo Nordisk, fabricant d'insuline et d'enzymes, a créé un service de l'environnement autonome chargé de veiller au respect des normes officielles. À la fin des années 80, toutefois, il lui est apparu qu'il était de plus en plus nécessaire d'entretenir un dialogue avec ses clients, son voisinage, les organisations de défense de l'environnement, les étudiants, les investisseurs, les salariés et d'autres interlocuteurs.

À la veille du Sommet de Rio (1992), la Chambre de Commerce internationale (CCI) a rédigé une Charte des entreprises pour le développement durable comportant 16 points, en vertu de laquelle les sociétés signataires s'engagent à consigner et à contrôler leurs performances environnementales, et à les communiquer au public. Novo Nordisk, qui a souscrit à cette charte, s'y réfère pour définir ses activités et sa ligne de conduite en matière d'environnement. L'entreprise a décidé de communiquer ouvertement, au niveau tant interne qu'externe, et publie un rapport annuel qui permet aux parties intéressées de suivre son action dans ce domaine. Dans ses derniers rapports, Novo Nordisk fournit des renseignements détaillés sur la consommation de ressources, l'impact environnemental de toutes ses installations de production à travers le monde, et la conformité de ses activités avec la législation des pays concernés.

Ce rapport joue un rôle important au niveau interne et sert aussi à informer le monde extérieur. Il motive le personnel, en soulignant les objectifs qui se rapportent à l'environnement et les résultats des efforts accomplis, aide à déceler les problèmes nouveaux, et permet ainsi de catalyser l'amélioration des actions de Novo Nordisk en faveur de l'environnement. L'entreprise est en l'occurrence convaincue de l'efficacité du dialogue direct, en particulier dans des domaines complexes comme les biotechnologies. Un grand nombre d'écoliers et d'étudiants visitent les installations, et le personnel chargé de l'environnement participe régulièrement à des conférences et à des formations dispensées à l'extérieur.

pondérer les coûts d'adoption. suivant des critères de probabilité de risque (concernant, par exemple, d'éventuels frais de procédure dans les cas où des matières ou des activités dangereuses sont en jeu).

Les entreprises industrielles doivent faire en sorte que leurs activités respectent les obligations légales, pour réduire au minimum leur responsabilité et les fluctuations de leur mode de fonctionnement. La légitimité écologique risque de devenir un enjeu stratégique important et de nombreuses entreprises déploient aujourd'hui des efforts considérables pour évaluer les répercussions de leurs propres activités sur l'environnement au sens large et prennent des initiatives en conséquence. Beaucoup d'entre elles publient régulièrement des rapports sur les incidences de leurs activités pour satisfaire à la demande des actionnaires et aux attentes du public (encadré 2).

BIBLIOGRAPHIE

- GRIFFITHS, M. et P. HESSELINK (1996),
« La biotechnologie au service de l'environnement pour le prochain millénaire », STI Revue, n° 19, édition spéciale sur les biotechnologies, OCDE, Paris.
- OCDE (1994),
La biotechnologie pour un environnement propre – Prévention, détection, dépollution, OCDE, Paris.
- OCDE (1995),
Bioremediation: The Tokyo '94 Workshop, OCDE, Paris.
- OCDE (1996),
Wider Application and Diffusion of Bioremediation Technologies: The Amsterdam '95 Workshop, OCDE, Paris.
- OCDE (1998),
La biotechnologie au service de produits et de procédés industriels propres – Vers un développement industriel durable, OCDE, Paris.
- OCDE (1999),
« Industrial Sustainability Through Biotechnology », OCDE, Paris.
- WALD, S. (1997),
« La biotechnologie comme agent écologique », *L'Observateur de l'OCDE*, n° 189, pp. 4-7, OCDE, Paris.
- WALD, S. (1997),
« Biotechnologie et durabilité », *L'Observateur de l'OCDE*, édition spéciale sur le développement durable, pp. 27-29, OCDE, Paris.
- WALD, S. (1999),
« Biotechnologie et industrie : une union pleine de promesses », *L'Observateur de l'OCDE*, n° 216, pp. 33-36, OCDE, Paris.

VÉRIFICATION DES NOUVELLES TECHNOLOGIES ENVIRONNEMENTALES

Table des matières

I. Introduction.....	112
II. Éléments intervenant dans la conception des programmes.....	114
III. Évaluation des programmes	120
IV. Réciprocité des programmes.....	122
V. Grands programmes.....	124
VI. Conclusions	133
Bibliographie	134

Cet article a été rédigé par George Heaton, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts, États-Unis.

I. INTRODUCTION

Au début de la décennie, les programmes de vérification des technologies environnementales étaient inconnus ; il y a cinq ans, ils faisaient tout juste leur apparition. Aujourd'hui, les milieux en rapport avec les technologies environnementales – instances de réglementation, entreprises du secteur de l'environnement et responsables des initiatives axées sur le progrès technologique, entre autres exemples – se tournent résolument vers la vérification des technologies environnementales pour promouvoir simultanément l'innovation technologique et la qualité de l'environnement. Les programmes se multiplient : il en existe à présent plus d'une vingtaine aux États-Unis – cas de loin le plus dynamique – tandis qu'un courant favorable se confirme dans des contextes aussi différents que les Philippines et le Canada. Le présent article passe en revue les programmes de vérification des technologies environnementales menés aux États-Unis et au Canada et les enseignements tirés de leur mise en œuvre ; il convient cependant de noter que les informations et les chiffres indiqués ici correspondent à la fin de l'année 1998 et peuvent avoir changé durant l'année écoulée.

La « vérification des technologies environnementales » renvoie à l'ensemble des programmes publics qui ont pour point commun l'évaluation de nouvelles technologies environnementales. La vérification – détermination objective des performances d'une technologie donnée dans des conditions bien précises – est de loin l'activité la plus répandue. L'homologation – autre forme que peuvent prendre les programmes dans ce domaine – va au delà de la vérification en garantissant qu'une technologie répond à une norme de performance particulière. Elle se rapproche davantage sous cet angle de l'attestation de conformité avec les réglementations. L'évaluation des technologies admet une interprétation plus large encore car elle vise à apprécier l'efficacité, le coût ou l'applicabilité d'une technologie pour des utilisations particulières. Les projets de démonstration – qui mettent les technologies à l'essai en situation réelle – associent en règle générale la vérification et l'évaluation. Il arrive que l'évaluation passe par des comparaisons de technologies, mais les programmes de ce type sont rares.

L'essor spectaculaire des programmes de vérification des technologies environnementales dans un délai si court peut s'expliquer à la fois par le succès que remporte cette notion auprès d'interlocuteurs très divers et par la conjonction de deux grandes tendances : tout d'abord, une nouvelle orientation des pouvoirs

publics, privilégiant l'innovation technologique dans l'industrie, perceptible dans la politique environnementale et technologique ; ensuite, un regain de faveur de la coopération entre le secteur public et le secteur privé auprès des instances de réglementation, des entreprises visées, des fournisseurs de technologies et des chefs d'entreprises. Quatre aspects particuliers de cette nouvelle situation sont à signaler.

S'agissant premièrement de l'industrie, le secteur des biens et services d'environnement s'est transformé : il a atteint sa vitesse de croisière, s'est étendu à l'échelle planétaire et continue d'évoluer (OCDE, 1999). Alors que les ventes annuelles dépassent USD 450 milliards, la croissance accuse un ralentissement sensible sur les principaux marchés et la concurrence est bien plus vive. Seules l'Asie, l'Amérique latine et l'Afrique prévoient une demande à deux chiffres tandis qu'aux États-Unis, la progression des ventes devrait être inférieure à 1 % (USDOC, 1997). Au plan qualitatif également, l'activité – fourniture de technologies antipollution – s'est largement ouverte à de nouvelles démarches : services d'analyse et de conseil, technologies de surveillance, contrôle intelligent des procédés, prévention de la pollution et « orientation écologique » généralisée (OCDE, 1996). Le secteur englobe un très large éventail d'entreprises – plus de 110 000 dégageant des recettes, si on s'en tient aux États-Unis – et l'entrée de nouveaux pays – notamment d'économies émergentes telles que la Corée – contribue à cette diversité.

L'accumulation de moyens spécialisés dans ces entreprises fournissant des technologies est considérable, et l'industrie dans son ensemble cherche tout naturellement à favoriser la commercialisation des nouvelles technologies qu'elle produit. Les programmes de vérification des technologies sont prometteurs à cet égard. Peut-être le besoin s'en fait-il particulièrement sentir dans les composantes du secteur les plus propices à l'esprit d'entreprise et à l'innovation (souvent des entreprises nouvelles ou de petite taille), où la vérification objective des caractéristiques opérationnelles à l'intention du client peut être déterminante pour la réussite ou l'échec commercial.

Deuxièmement, la clientèle des biens et services environnementaux a évolué de telle manière que la vérification des technologies prend tout son intérêt. Aux États-Unis, en Europe et au Japon, les entreprises de pointe se dotent systématiquement de pratiques de management environnemental. Certaines techniques d'analyse telles que les audits d'environnement et l'écologie industrielle ont convaincu nombre d'entre elles que les investissements en faveur de l'environnement pouvaient optimiser la réalisation des objectifs à la fois économiques et environnementaux. Les nouvelles technologies recueillent une large adhésion. Toutefois, elles se heurtent aussi à une méfiance de deux ordres : d'une part, une technologie non éprouvée risque de ne pas répondre aux attentes et, d'autre part, les instances réglementaires peuvent la rejeter. Sur les marchés des pays en développement, ou

dans le cas d'entreprises moins évoluées techniquement, le manque d'informations sur des technologies plus satisfaisantes – auquel vient parer la vérification – peut être un obstacle plus important encore.

Troisièmement, entre en jeu l'évolution des politiques environnementales et réglementaires. Initialement connue pour ses préjugés à l'encontre des nouvelles technologies, la politique d'environnement considère à présent que l'innovation technologique offre d'importantes perspectives d'amélioration de la qualité de l'environnement. La dynamique mondiale en faveur de la réforme réglementaire témoigne de ce changement d'attitude. S'ajoute la prolifération des initiatives d'accompagnement technologique – recherche et développement, assistance technique, partenariats public-privé, sans oublier la vérification des technologies – qui, très rapidement, ont donné corps à une nouvelle mission environnementale.

Quatrièmement, les instruments classiques de politique technologique sont de plus en plus axés sur des objectifs d'environnement. Les programmes de recherche et d'investissement tendent à privilégier les technologies environnementales, surtout au sein de la Communauté européenne et au Japon. Aux États-Unis, l'Administration Clinton a donné une place de choix à l'*Environmental Technology Initiative* (ETI – initiative en faveur des technologies environnementales) dans sa politique technologique pratiquement dès son entrée en fonction (Heaton et Banks, 1998). Dans ce pays, les activités de démonstration des technologies environnementales sont désormais un élément essentiel du programme de ministères tels que le ministère de la Défense.

Dans ce contexte stratégique et industriel, les programmes de vérification des technologies environnementales suscitent un courant favorable et peu de critiques. Incontestablement, ils répondent à un besoin, s'intègrent bien à la panoplie de mesures qui se met en place et sont jugés fort intéressants. Il ne faut cependant pas se dissimuler que l'enthousiasme observé aujourd'hui tient dans une large mesure à la nouveauté de ces programmes et au fait qu'ils se trouvent généralement plutôt au stade du lancement qu'à celui de la mise en œuvre et que leur utilité n'est pas encore avérée.

II. ÉLÉMENTS INTERVENANT DANS LA CONCEPTION DES PROGRAMMES

Bien que tous les programmes de vérification des technologies environnementales aient en commun l'évaluation de nouvelles technologies environnementales, leur contenu est très variable. Chacun d'eux suppose des choix de conception aboutissant à des résultats différents. On examinera ci-dessous les sept grands aspects qui interviennent dans la conception des programmes, en indiquant les arbitrages correspondants : i) portée ; ii) technologies ; iii) données ; iv) coûts ; v) parties prenantes ; vi) liens ; et vii) réciprocité.

Portée

Les programmes de vérification des technologies environnementales peuvent être répartis en différentes catégories (définies précédemment) selon la principale fonction à remplir : vérification, homologation ou évaluation. En général, le choix de la catégorie dépend à la fois de jugements de valeur quant au rôle incombant aux pouvoirs publics sur le marché et de considérations pratiques.

Les programmes qui ont avant tout une fonction de vérification sont les plus nombreux. En principe, ils se définissent comme jouant un rôle d'information, susceptible d'« assurer le bon fonctionnement du marché », et non un rôle d'évaluation à l'intention du secteur privé. Aussi les programmes de vérification mettent-ils l'accent sur l'obtention de données « satisfaisantes », « objectives » et « quantitatives ». Il importe qu'une distinction soit clairement établie entre leur propre fonction – vérification des performances des technologies – et la reconnaissance, du point de vue réglementaire, de la conformité des technologies avec les normes environnementales. Les programmes de vérification font plus largement prévaloir les démarches techniques. Par conséquent, les programmes de vérification se prêtent particulièrement bien aux échanges avec d'autres programmes et ont tout à gagner de cette réciprocité.

Les programmes d'homologation – qui garantissent les caractéristiques de performance – sont en général étroitement liés à la conformité avec les réglementations et à la réalisation d'objectifs environnementaux. C'est peut-être la meilleure manière de promouvoir une technologie environnementale – d'où l'intérêt particulier que revêt l'homologation pour les fournisseurs de technologies. Par ailleurs, étant donné les conséquences juridiques qui en découlent, l'homologation doit s'appuyer sur des éléments extrêmement solides, si bien que certains programmes laissent transparaître une réticence à homologuer certaines qualités revendiquées trop générales. L'homologation peut donc être un instrument plus coûteux et moins souple que la vérification, bien qu'elle donne sans doute un argument de vente plus convaincant aux entreprises dont les technologies sont reconnues ainsi.

Les programmes privilégiant l'évaluation sont ceux qui laissent la plus large place à l'appréciation des spécialistes chargés de l'examen des technologies. Bien souvent, ils englobent la vérification, les démonstrations en situation réelle, l'estimation des coûts, l'analyse de problèmes et l'étude comparative de plusieurs technologies. Les programmes qui associent la vérification et l'évaluation peuvent très bien contribuer au choix de technologies (souvent à l'usage des pouvoirs publics), outre le simple apport d'informations sur le marché.

Technologies

Tous les programmes de vérification des technologies environnementales doivent déterminer le champ des technologies dont les performances vont être examinées. Un consensus se dégage, même dans le cas des programmes formulés dans les termes les plus généraux, pour que soient prises en compte les seules technologies expressément « environnementales ». On considère en principe qu'il s'agit des technologies visant avant tout l'amélioration de l'environnement, et non de celles qui apportent accessoirement des avantages écologiques (même importants). En outre, la plupart des programmes portent sur des réalisations matérielles – « équipements ou technologies reposant sur des équipements » – à l'exclusion de la plupart des services d'analyse, de comptabilité ou de conseil. Bon nombre de programmes sont résolument axés sur un milieu ou un problème particulier – mesures correctrices applicables aux déchets dangereux, eau potable, pollution atmosphérique – non sans rétrécir l'éventail de technologies et de parties intéressées prises en compte.

Étant donné la grande disparité des technologies environnementales, on recourt normalement à des mécanismes permettant de distinguer les différentes catégories de technologies pour assurer l'efficacité des mesures de vérification. Ces mécanismes peuvent être plus ou moins formels, certains programmes prévoyant d'emblée une liste de catégories et de méthodes d'essai correspondantes tandis que d'autres, plus souples, font coïncider les données utilisées pour la vérification et les technologies selon le cas. Les deux démarches comportent des avantages et des inconvénients : si la souplesse peut se traduire par un renouvellement fréquent de méthodes coûteuses et un manque de rigueur des données, en utilisant des catégories prédéterminées on risque de plaquer une typologie trop rigide sur une industrie dynamique.

Données

La qualité des données étant essentielle pour les résultats, tous les programmes de vérification des technologies environnementales supposent des compromis quant à la manière d'acquérir, de traiter et d'interpréter les données. Le principal choix à cet égard consiste soit à accepter des données extérieures pour étayer la vérification, soit à produire des données exclusivement à l'intérieur du programme. Les données extérieures sont généralement issues de deux sources : aux revendications et essais du demandeur lui-même s'ajoutent les essais réalisés dans d'autres installations (souvent à la demande de l'intéressé). Les données obtenues à la faveur des programmes de vérification proviennent dans bien des cas de laboratoires publics ou d'universités mandatés par les programmes. On est fréquemment conduit à se demander si les données à partir desquelles il faut se prononcer sont « indépendantes et objectives ». Certains programmes exigent des

données indépendantes, dont l'obtention peut même être financée sur les fonds de ces programmes. D'autres jugent recevables les données commandées par le promoteur de la technologie, dès lors qu'elles émanent d'une entité indépendante. D'autres encore admettent toutes les données – revendications du demandeur comprises – en considérant qu'elles contribuent utilement au processus de vérification.

Le problème se pose de manière comparable pour les modalités d'examen. Certains programmes imposent *a priori* des protocoles d'essai, auxquels sont soumis les technologies visées. L'élaboration de ces protocoles d'essai peut elle-même devenir laborieuse et controversée, car elle a pour effet d'exclure des technologies qui ne peuvent satisfaire au protocole d'essai retenu. D'autres programmes se passent de protocoles, et procèdent aux vérifications par les moyens qui conviennent à la situation.

Dans les deux cas, le choix d'activités de vérification plus ou moins formelles ou rigoureuses résulte d'un arbitrage entre la « qualité » (au sens technique) des données, l'utilité de ces données pour les utilisateurs et les fournisseurs et les dépenses d'acquisition des données. Dès lors que les revendications et les essais des responsables de la mise au point des technologies sont intégrés à la base de données pour la vérification, les questions de confidentialité et les droits de propriété interviennent. Les programmes dans lesquels ces données sont admises tendent à reconnaître l'exigence de confidentialité des demandeurs. En revanche, ceux qui reposent sur des sources de données indépendantes accordent d'ordinaire une grande importance à l'ouverture.

Coûts

Comme tous les programmes publics, les initiatives de vérification des technologies environnementales doivent prévoir un niveau de coût acceptable. Indépendamment de l'ampleur et de la polyvalence des activités de vérification des technologies environnementales – manifestement le facteur qui agit le plus sur les coûts – le partage des coûts détermine les points d'application des charges financières. Des conséquences s'ensuivent pour le nombre et le type de demandeurs en jeu.

Dans les programmes mis en œuvre aux États-Unis on s'accorde, semble-t-il, à considérer que le coût de la vérification des technologies doit être supporté par l'entreprise candidate. Il en va déjà ainsi dans certains États – tels que la Californie. Le programme de l'*Environmental Protection Agency* (USEPA – Agence pour la protection de l'environnement) de ce pays doit normalement subvenir à ces propres besoins après la phase pilote. Le partage des coûts a pour avantage évident d'instaurer une structure incitative salubre : les entreprises possédant des technologies porteuses d'avenir sont plus susceptibles de progresser que les autres. Par

ailleurs, l'obligation de prendre en charge les coûts de la vérification risque d'être un obstacle important pour les entreprises qui disposent de technologies prometteuses mais de peu de ressources. La probabilité est encore plus grande si les seules données recevables proviennent d'essais réalisés par des entités indépendantes. Comme dans d'autres cas où le coût des essais incombe aux milieux industriels (produits pharmaceutiques, substances chimiques et pesticides, par exemple), le partage des coûts peut créer une distorsion en faveur des entreprises de grande taille suffisamment pourvues de ressources financières et techniques pour supporter la charge correspondante. Cette distorsion peut être contrebalancée par des politiques qui font prévaloir la souplesse dans les décisions de partage des coûts, en particulier vis-à-vis des petites entreprises.

Parties prenantes

Les programmes publics qui touchent l'environnement et les technologies font désormais systématiquement intervenir des institutions non gouvernementales et des particuliers. Du fait qu'ils répondent aux besoins des entreprises industrielles et qu'ils sont fortement tributaires du concours de spécialistes, les programmes de vérification des technologies sont résolument ouverts vers l'extérieur. Le rôle donné aux « parties intéressées » dans le programme de l'USEPA est peut-être la forme la plus institutionnalisée d'intervention de participants extérieurs. Ce programme veut que des entreprises industrielles, des associations commerciales et professionnelles, des universités et des administrations publiques coopèrent pour donner un avis sur divers aspects, notamment sur les priorités à retenir et sur les protocoles d'essai applicables à chacun des domaines techniques faisant l'objet d'une vérification. Par ailleurs, les programmes pilotes engagés par l'USEPA correspondent tous à des « partenariats » entre entités privées et publiques. L'exemple du Canada montre que la mise en œuvre des programmes de vérification peut être presque intégralement externalisée. Ce pays, qui a largement sollicité dès le début les conseils des industriels, a décidé de confier les tâches de vérification des technologies environnementales à ETV Canada Inc., entreprise privée avec participation du secteur public, de préférence à un organisme relevant exclusivement du secteur public.

L'intervention de parties extérieures comporte de nombreux avantages : les décisions sont généralement plus éclairées, des groupes de soutien se font jour et les coûts sont maintenus à un niveau peu élevé. Par ailleurs, il convient de reconnaître que c'est évidemment là où l'enjeu est le plus grand et les ressources disponibles les plus importantes qu'on trouve surtout ces parties extérieures. Dans les programmes de vérification des technologies environnementales, les fournisseurs de technologies sont les plus susceptibles de jouer ce rôle. Dans la mesure où leur intervention n'est pas compensée par celle d'autres parties prenante – en

particulier si différents points de vue ne peuvent s'affronter sur les types de technologies à vérifier – le système de vérification peut être faussé.

Liens

Alors que les programmes de vérification des technologies environnementales pourraient naturellement se rattacher à des programmes d'accompagnement dans les domaines de l'environnement et des technologies, peu d'entre eux sont dans ce cas. La plupart relèvent administrativement de programmes menés dans l'un ou l'autre domaine et en suivent généralement les orientations. S'agissant des programmes de vérification des technologies environnementales accueillis par des organismes de protection de l'environnement, on est rapidement conduit à se prononcer sur le degré de coordination qui convient avec le dispositif de mise en conformité avec les réglementations. Certains programmes se limitent à un rôle d'«information», le travail de vérification ne se confondant nullement avec une approbation à caractère réglementaire. D'autres, en revanche, visent expressément à fournir des informations aux responsables de la réglementation pour promouvoir des mesures générales de mise en conformité plus efficaces et ouvrir la voie à des technologies nouvelles particulières. S'ajoutent des programmes de vérification des technologies environnementales qui entrent dans le cadre d'initiatives en faveur des technologies (notamment dans certains États des États-Unis), englobant le capital-risque, l'assistance technique, l'aide à la commercialisation et diverses activités à l'intention des entreprises naissantes. L'activité de vérification des technologies environnementales peut être alors perçue comme étant avant tout un service rendu aux innovateurs, qui relègue les conséquences écologiques au second plan.

Réciprocité

La multiplication rapide des programmes de vérification des technologies environnementales aux États-Unis et dans le monde entier fait craindre que les programmes nationaux n'imposent des normes et des procédures très variables et n'obligent les innovateurs en matière d'environnement à soumettre leurs technologies à des vérifications répétées. Si nul ne souhaite voir se concrétiser ce scénario, les programmes tendent naturellement à défendre leurs propres normes, qui semblent devoir répondre à la spécificité de la situation. Les choix théoriques quant à l'opportunité et aux modalités de la coordination, de l'harmonisation ou de l'échange avec d'autres programmes prennent un caractère urgent. L'harmonisation des normes de vérification des technologies environnementales à l'échelle internationale apparaît peu à peu comme une solution intéressante qui va de pair avec la mondialisation croissante de l'offre et de la demande de technologies environnementales. Bien qu'une certaine réciprocité se dessine aux États-Unis entre les

programmes des différents états et qu'un certain nombre d'accords de coopération aient été signés, la question de la réciprocité et/ou de l'harmonisation devra encore être abondamment débattue avant de déboucher sur une solution.

III. ÉVALUATION DES PROGRAMMES

Bien que la notion soit toute nouvelle, le nombre de travaux consacrés à la vérification des technologies environnementales est surprenant. Dès 1995, alors que la plupart des programmes étaient à peine au stade de la mise en route, une grande enquête menée aux États-Unis par l'*Environmental Law Institute* (Institut du droit de l'environnement) s'est fait l'écho des « *parties intéressées* », en expliquant leurs points de vue sur les effets de la vérification des technologies et sur la manière dont, à leur avis, les programmes devaient être structurés (ELI, 1995). S'ajoutent des études fondées sur des entretiens (Cooper et Susskind, 1997) et une enquête ambitieuse couvrant la quasi-totalité des programmes en vigueur (ITRC, 1998). Dans bien des cas, les programmes de vérification des technologies environnementales englobent le suivi et la publication des résultats. Le programme de l'USEPA, en particulier, a comporté une auto-évaluation de la phase pilote. Les conclusions générales ci-après ont pu être tirées de ces travaux :

- *Ampleur*. Bien qu'un compte exact n'ait pu être fait, le nombre de vérifications des technologies environnementales a probablement atteint quelques centaines durant les cinq années écoulées. Il devrait aller en augmentant.
- *Évaluation des technologies*. Les possibilités de vente sont incontestablement accrues par une vérification menée à bonne fin, et plus encore par l'homologation. Cet effet est assez largement constaté. L'«*écrémage*» permettant d'écarter les technologies moins intéressantes n'est pas aussi solidement attesté. Peu de demandeurs, si tant est qu'il en existe, sont susceptibles de soumettre au processus de vérification des technologies qui ne répondent pas aux conditions voulues, si bien que les résultats négatifs à examiner sont pratiquement inexistantes. Toutefois, il est permis de penser que la rigueur et le coût de la vérification ont un effet dissuasif sur les demandeurs dont les dossiers sont techniquement peu convaincants ou qui disposent de ressources limitées.
- *Diffusion des technologies*. Les informations sur les technologies environnementales sont largement diffusées à la faveur de la vérification. Pour chaque programme ou presque, un site Web est prévu et, la plupart du temps, un travail dynamique de publication est assuré. Fait peut-être plus important encore, les demandeurs auxquels l'homologation est accordée font eux-mêmes entrer des campagnes d'information percutantes dans leur stratégie commerciale.

- *Partenariats public-privé.* Manifestement, la vérification a conduit à de nouvelles relations de coopération et de concertation entre les représentants de l'État et les entreprises privées dans le domaine de l'environnement. Les organes consultatifs, composés aussi bien d'universitaires et autres spécialistes que de représentants des entreprises industrielles, sont la norme. Toutefois, de nombreux programmes de vérification ont un rôle de mise en valeur et visent à améliorer la compétitivité des entreprises.
- *Coûts.* Il est peu probable que les coûts d'homologation déclarés rendent compte des frais supplémentaires incombant à diverses entités publiques, ni du temps passé. Leur importance n'est pas négligeable s'il s'agit de technologies aux débouchés restreints, de petites entreprises ou d'opérations répétées. Les coûts des programmes tendent également à augmenter proportionnellement à la rigueur scientifique, au travail de collecte de données et au caractère formel de la démarche.
- *Conformité avec les réglementations.* Étant entendu que la vérification ne saurait être assimilée à une forme quelconque d'approbation réglementaire, et que la coordination peut laisser à désirer entre les programmes d'homologation et les attestations de conformité avec les réglementations, les promoteurs de nouvelles technologies environnementales s'exposent, après le travail de vérification, à un refus ou à de nouveaux attermoissements s'ils ont affaire à des instances de réglementation sourcilleuses. Or plus celles-ci sont disposées à approuver de nouvelles technologies, moins le processus de vérification a d'intérêt. Certains industriels, présentant une évolution de ce type, considèrent que la vérification n'est pas nécessairement la voie la plus rapide, ni la plus rentable, vers l'attestation de conformité avec les réglementations.
- *Innovation.* Si les programmes de vérification ont des chances d'accélérer le processus de diffusion pour des améliorations progressives actuellement envisageables, ils ne sont peut-être guère propices à des innovations plus radicales. Certains programmes obéissent d'ailleurs expressément à des critères de sélection qui excluent les technologies encore au stade embryonnaire – pour la simple raison qu'elles n'ont pas encore donné lieu à des pratiques vérifiables. Les systèmes de classement des technologies par catégories et les protocoles d'essai correspondants mis en œuvre par certains programmes de vérification entraînent divers effets antagoniques. Tout d'abord, ils risquent de décourager les demandeurs dont les méthodes ne sont pas conciliables avec les catégories retenues. Plus particulièrement, du fait que la plupart des catégories utilisées pour la vérification coïncident en général avec des caractéristiques classiques de l'industrie antipollution, elles ont plus de sens pour les fournisseurs de technologies en place que pour les nouveaux entrants. Néanmoins, lorsque les catégories de vérifica-

tion sont étroitement circonscrites – surveillance de la pollution atmosphérique, par exemple – et que les technologies se développent rapidement dans la catégorie considérée, la vérification peut jouer un rôle très utile en structurant le marché. Par ailleurs, les stratégies qui reposent sur des technologies plus évolutives élaborées sur place par les pollueurs, et non acquises à l'extérieur – la prévention de la pollution en offre un exemple de choix – sont semble-t-il trop peu nombreuses dans les applications des programmes de vérification.

Les faits observés permettent de penser que les programmes de vérification des technologies environnementales entraînent un certain nombre de répercussions favorables : les nouvelles technologies sont plus recevables pour les acquéreurs et pour les instances chargées de la réglementation, une aide appréciable est apportée aux fournisseurs de technologies, les informations sur les technologies environnementales sont mieux diffusées et un processus de décision concerté relie les pouvoirs publics, les entreprises privées et les milieux de la recherche. Toutefois, on risque aussi de plaquer un système figé de classement par catégories sur le marché potentiellement dynamique des technologies environnementales et de créer des distorsions préjudiciables pour les petites entreprises. De façon générale, les technologies soumises aux programmes de vérification correspondent pour la plupart à des améliorations progressives de la lutte, de la surveillance et de l'assainissement dans le domaine de la pollution. Des besoins se font sentir à l'intérieur des entreprises polluantes, qu'il s'agisse des mesures de prévention, de la transformation des procédés ou de la réalisation d'études techniques. A un moment où les points d'articulation se multiplient entre les nouvelles technologies et la notion de viabilité écologique – de même qu'entre la politique environnementale et la politique technologique – les programmes de vérification des technologies environnementales figurent en bonne place parmi les initiatives dignes d'intérêt.

IV. RÉCIPROCITÉ DES PROGRAMMES

Les programmes de vérification des technologies environnementales prolifèrent dans le monde entier. Leurs modalités, encore nouvelles et relativement souples, prennent cependant un tour plus systématique. Fait souvent déploré, ces programmes se développent de manière autonome – indépendamment à la fois des programmes comparables appliqués à d'autres domaines et des programmes et politiques menés par les organismes dont ils relèvent. Aussi voit-on se dessiner un scénario dans lequel coexistent plusieurs programmes, obéissant à des modalités différentes, sans effets réciproques, dont les incompatibilités freinent, au lieu de faciliter, le mouvement d'innovation environnementale qu'ils visent précisément à encourager.

Selon un autre scénario, les responsables des programmes et les représentants des entreprises industrielles prévoient et devancent les problèmes à venir. On observe effectivement une évolution dans ce sens aux États-Unis, où 25 États au moins disposent de programmes de vérification des technologies. L'avantage évident qu'il peut y avoir à mettre en commun des informations et à éviter les doubles emplois ou l'incompatibilité des normes a conduit ces 25 États, ainsi que trois organismes fédéraux – *Environmental Protection Agency* (USEPA – Agence pour la protection de l'environnement), *Department of Energy* (DoE – ministère de l'Énergie) et *Department of Defense* (DoD – ministère de la Défense) – à se regrouper au sein de l'*Interstate Technology and Regulatory Working Group* (ITRC – groupe de travail inter-états sur la technologie et la réglementation) (ITRC, 1998). Celui-ci a pour principal objectif de veiller à la recevabilité des résultats liés aux essais et permis en matière d'environnement pour tous ses membres. Dans cette optique, il se propose de réaliser des documents d'orientation technique, 22 ayant été mis en forme par les comités de l'ITRC à ce jour. Plus généralement, l'ITRC élabore un catalogue recensant les programmes de vérification des technologies et met en route un travail d'évaluation portant sur 12 programmes. De toute évidence, il s'agit d'œuvrer pour la compatibilité des programmes et l'échange d'informations.

Le protocole d'accord portant sur les programmes de six États – Californie, Illinois, Massachusetts, New Jersey, New York et Pennsylvanie – a marqué une nouvelle étape dans l'harmonisation entre différentes administrations. Ces États s'engagent à définir une méthode d'évaluation, d'acceptation et d'approbation mutuelles des technologies environnementales. Étant donné que le protocole d'accord va au delà de la réciprocité de l'évaluation technologique et touche en pratique l'approbation réglementaire, son adoption n'a été ni facile ni rapide. Par ailleurs, du fait que cet accord implique une large part du marché de l'environnement des États-Unis dans la coopération technologique, il pourrait déboucher sur un mécanisme faisant autorité.

L'effort d'harmonisation est également soutenu par le programme pilote de l'USEPA, auquel prennent part des organismes et administrations très divers pour mettre au point un programme de vérification polyvalent. Il faut cependant signaler des tendances divergentes : plusieurs programmes d'homologation, notamment en Californie, obéissent à une démarche suffisamment différente pour compromettre la compatibilité des programmes, et certains programmes de vérification récents tendent vers une plus grande spécialisation. Dans de nombreuses régions du monde, la vérification des technologies environnementales suscite un intérêt grandissant.

Du point de vue stratégique de l'industrie des biens et services environnementaux, la multiplication sur toute la planète de programmes de vérification des technologies environnementales qui manquent de cohérence ne peut que faire obstacle à la croissance du marché et à la libre circulation des biens et services

correspondants. Toute mesure visant à améliorer la compatibilité internationale des programmes de vérification des technologies environnementales doit prendre en compte les caractéristiques de conception évoquées précédemment :

- *Portée* : comment faut-il définir, coordonner ou unifier les différentes fonctions, notamment la vérification et l'homologation, que remplissent désormais les programmes ?
- *Technologies* : y a-t-il lieu de déterminer des catégories environnementales et technologiques, et quelles doivent être ces catégories ?
- *Données* : quels sont les types de données recevables, quels protocoles et moyens d'essai faut-il mettre en place et comment convient-il de traiter les revendications des demandeurs et les questions de confidentialité ?
- *Coûts* : dans quelle mesure les coûts incombent-ils aux demandeurs, et doit-on prévoir des dispositions particulières à l'intention des petites entreprises ?
- *Réciprocité* : comment peut-on veiller à la réciprocité ou à l'acceptation mutuelle des résultats et des données d'essai entre les différents programmes ?

V. GRANDS PROGRAMMES

États-Unis

EPA (*Environmental Protection Agency*)

Le programme de vérification des technologies environnementales de l'USEPA est incontestablement le programme de vérification le plus vaste et le plus complet à ce jour. Il a son origine dans les propositions de vaste ampleur avancées dans les premiers temps du premier Gouvernement Clinton pour encourager la technologie environnementale et l'industrie américaine de l'environnement. Cette initiative pour les technologies environnementales (ETI ou *Environmental Technology Initiative*) comportait, parmi un ensemble ambitieux d'initiatives de commercialisation, de financement de la R&D et de réforme de la réglementation, un volet consacré à la vérification des technologies environnementales. Aujourd'hui, la vérification des technologies environnementales demeure le seul élément opérationnel.

Les toutes premières activités ont débuté en 1994, ce programme recevant officiellement de l'EPA en octobre 1995 le statut de programme pilote pour la période 1995-2000. Aujourd'hui, le programme de vérification des technologies environnementales fait partie intégrante des activités officielles de l'EPA, au sein du Bureau pour la recherche et le développement. S'il a bénéficié au cours des trois dernières années d'un budget annuel de USD 10 millions, on prévoit que son

niveau de financement en régime de croisière sera de USD 2 millions par an (du fait de la prise en charge par les entreprises privées des coûts des essais). Comme le programme de vérification des technologies environnementales est un projet pilote, un rapport et des recommandations doivent être présentés au Congrès à la fin de la période, pour que celui-ci se prononce sur la poursuite de son financement et sur d'autres aspects de son mandat.

La phase pilote du programme de vérification des technologies environnementales de l'EPA est destinée à l'élaboration et l'évaluation des procédures, structures d'organisation et modalités de gestion de telle manière qu'un programme clairement défini puisse être opérationnel d'ici l'année 2001. De fait, ce programme se compose de 12 projets pilotes distincts portant chacun sur une technologie donnée et associant un partenaire particulier. Les domaines technologiques sont les suivants : eau potable, caractérisation et surveillance des sites, prévention de la pollution, revêtements améliorés, surveillance de type avancé, pollution atmosphérique, changement climatique, débit de temps humide, protection des eaux de source, finition des métaux et EvTEC, entité indépendante correspondant à une catégorie ouverte. Parmi les partenaires pilotes figurent notamment des laboratoires privés, des laboratoires nationaux, des universités, des fondations, des états et diverses autres entités.

Une fois le partenaire pilote sélectionné par l'EPA dans le cadre d'un appel ouvert à tous, un «Groupe des parties prenantes», associant quelque 25 participants, est réuni pour formuler des avis sur le projet. Tout l'éventail des intérêts liés à la vérification, notamment fournisseurs et acheteurs de la technologie en question, associations professionnelles et syndicales, administrations des États et locales, bailleurs de fonds, etc. sont représentés dans ce Groupe. On attend notamment de ce Groupe qu'il participe à la détermination des priorités et donne son avis sur les grandes décisions techniques.

L'activité de vérification elle-même débute par la définition de protocoles d'essai et des modalités et de l'objet de la vérification. A cet égard, le programme de l'EPA se singularise fortement d'autres programmes – comme ceux de la Californie et du Canada – qui ne privilégient pas les protocoles et acceptent comme élément de départ toutes les données disponibles. Une autre différence est que le financement par l'EPA couvre actuellement la plupart des coûts des essais durant la phase pilote. Ce degré élevé de maîtrise permet à l'EPA de donner une grande importance à l'assurance-qualité, laquelle est encore renforcée par le fait que les tests doivent être réalisés par des tiers indépendants et que les résultats doivent faire l'objet d'un contrôle de validation. A la différence également d'autres programmes – comme celui du *Department of Energy* ou du *Department of Defense* – les activités de vérification de l'EPA ne prévoient pas de démonstration en conditions réelles *in situ*. Même si la production de données de base et de rapports publiés concernant les technologies peut être considérable, les Déclarations de vérification

elles-mêmes ne font que 3 à 5 pages. Celles-ci sont accessibles sur le site Web ETV de l'EPA ainsi qu'auprès d'autres sources, dans le cadre des activités d'ouverture sur l'extérieur du programme.

L'EPA veille à préciser clairement ce que sont – et ne sont pas – les résultats de son programme. La vérification est ainsi simplement un constat quant aux résultats que procurent les technologies, et elle ne signifie pas une approbation par les autorités chargées de la réglementation, pas plus qu'elle n'est un certificat ou une garantie. Ce n'est pas non plus une comparaison entre technologies. Les objectifs du programme sont de donner des informations au marché, de faciliter l'acceptation de la technologie, de réduire les risques pour les investisseurs, d'égaliser les conditions de la concurrence entre intervenants sur le marché et de faciliter les exportations de technologies environnementales par les États-Unis. A ce jour, plus de 40 protocoles d'essai ont été établis et une douzaine de déclarations de vérification ont été publiées. Les technologies de surveillance seraient selon les informations fournies le domaine le plus actif, le moins actif étant celui des technologies de prévention de la pollution.

Bien que l'EPA, dans ses activités de vérification des technologies environnementales, n'ignore pas les problèmes de normalisation – que ce soit aux États-Unis ou à l'échelle mondiale – aucun arrangement officiel dans ce sens n'est prévu dans la phase pilote. De fait, même l'autre programme que l'EPA consacre à la vérification - le Programme SITE (voir plus loin) - est géré de façon distincte. Certains programmes mis en œuvre au niveau des États participent à titre de pilotes de l'EPA, et des discussions sont en cours au plan international sur les possibilités de coordination.

L'une des grandes particularités du programme SITE (*Superfund Innovative Technology Evaluation*) de l'EPA en ce qui concerne les activités de vérification des technologies environnementales est que ces activités ne sont qu'un élément d'une action beaucoup plus vaste pour développer et mettre en œuvre des technologies environnementales. De plus, le programme SITE se limite à un créneau technologique spécifique : les traitements pour la remise en état des sites de déchets dangereux et leur surveillance. Ce programme a été lancé dans le prolongement des amendements apportés en 1986 au *Superfund Act*, qui reconnaissaient l'existence d'un besoin de nouvelles technologies de remise en état sur les sites de déchets dangereux. Il s'agit d'abord avec ce programme de soutenir la recherche grâce à des accords de coopération avec des développeurs de technologie, prévoyant l'amélioration de nouvelles technologies par le biais d'expérimentations ou de projets pilotes. Puis l'EPA finance le coût de projets de démonstration sur des sites de déchets dangereux. Grâce à ces expérimentations, des données de vérification peuvent être établies. Toutes ces activités sont gérées par le Laboratoire national de recherche sur la gestion des risques du Bureau pour la recherche et le développement.

A la différence d'autres activités de vérification, le programme SITE privilégie une évaluation générale de la technologie basée sur un large éventail d'indicateurs : investissement en capital, coûts d'exploitation, diversité des applications, problèmes opérationnels, etc. Il n'est pas établi au préalable de protocoles d'essais officiels, mais des rapports d'évaluation sont diffusés à l'issue du projet de démonstration, qui puisent dans l'ensemble des sources d'information disponibles. Ces évaluations bénéficient d'une large diffusion à l'intention des acteurs de la remise en état des sites de déchets dangereux.

Department of Energy

Le plus ancien des programmes fédéraux de vérification des technologies environnementales a été lancé par le *Department of Energy* (DOE) en 1993 (ITRC, 1998). Le DOE, dont les attributions comprenaient depuis de nombreuses années les technologies et déchets nucléaires, a été chargé de mener des efforts de remise en état à très grande échelle. Cette action impliquait bien entendu l'investissement de sommes considérables dans des opérations de nettoyage, ce qui a amené le DOE à vouloir employer les technologies les meilleures et les plus efficaces par rapport à leur coût. Ce programme du DOE s'appelle l'ITRD (*Innovative Treatment Remediation Demonstration Programme*). Il met l'accent sur des technologies innovantes qui semblent prometteuses mais sur lesquelles on ne dispose pas des informations quant aux coûts et aux performances qui lui aurait permis de les retenir parmi les options envisageables pour ses propres activités de dépollution. Ce sont les technologies de dépollution des sols et des eaux souterraines qui suscitent le plus d'intérêt, notamment pour les sites peu étendus (5 000 à 10 000 m²).

La démarche suivie par le DOE diffère de celle des autres programmes de vérification par le fait qu'elle consiste à recueillir des données par la démonstration (c'est-à-dire l'utilisation effective) des technologies en question, en condition réelle. Cette approche, courante dans les programmes de démonstration, vise à recueillir des données de vérification sur un site, avec lesquelles il est possible de justifier l'utilisation de la technologie sur d'autres sites analogues. Une autre grande différence par rapport à la méthode de vérification utilisée couramment dans d'autres programmes – où ce sont en général des sources externes qui procèdent aux essais – est que le DOE se charge lui-même des activités de vérification. Celles-ci sont réalisés dans les nombreuses installations que possède ce ministère sur tout le territoire des États-Unis, ainsi que dans le cadre de partenariats privés ou publics/privés (par exemple l'*Hemispheric Center for Environmental Technology*, associant le DOE et la Florida International University). La publication des résultats des essais est un aspect important du programme, l'idée étant d'encourager une diffusion qui ne se limite pas au seul DOE. L'ensemble des activités sont coordonnées par les Sandia National Laboratories, qui sont l'un des plus importants laboratoires nationaux des États-Unis.

Department of Defense

Le *Department of Defense* (DOD), comme le DOE, a des besoins massifs de technologies de dépollution, de lutte contre la pollution et de prévention de la pollution, pour faire face aux problèmes d'environnement dans ses propres installations. Pour accélérer l'acceptation de nouvelles technologies dans ce contexte, le DOD a mis sur pied le programme ESTCP (*Environmental Security Technology Certification Programme*) en 1995. L'ESTCP, comme les initiatives prises par le DOE, s'apparente davantage à un programme de démonstration qu'à une initiative de vérification des technologies. Des technologies sont d'abord expérimentées sur certains sites spécifiques, puis les résultats sont publiés et des initiatives sont prises pour assurer le transfert de ces technologies vers d'autres usages, dans le cadre du programme bien établi de transfert de technologies du DOD.

Programmes des États

Aux États-Unis, les programmes réalisés au niveau des États représentent à ce jour le modèle le plus dynamique et le plus diversifié de vérification des technologies environnementales. Ce n'est guère surprenant, dans la mesure où le système réglementaire des États-Unis utilise largement les permis d'environnement délivrés au niveau des États, ce qui implique qu'une bonne partie du marché des technologies environnementales – comme l'essentiel des besoins de vérification – sont en pratique créés par les autorités de réglementation au niveau des États. La Californie, le Massachusetts et le New Jersey sont souvent cités parmi les États en pointe dans le domaine de la vérification.

Le programme de l'État de *Californie* peut être considéré comme le prototype : cela a été le premier à concrétiser le concept de vérification des technologies environnementales et nombre de ses caractéristiques de base avaient un caractère novateur. Avec le temps et la multiplication des programmes, cependant, le programme de la Californie en est venu à s'écarter de la norme à de nombreux égards, notamment par le choix de la certification plutôt que de la vérification.

Le programme de la Californie est né en 1993 d'une recommandation d'un Comité consultatif auprès du *California Environmental Technology Partnership*. En 1994, un programme de certification des technologies environnementales pour les déchets dangereux a été approuvé par le pouvoir législatif, qui a servi de noyau autour duquel s'est développé le programme de l'État. Plus récemment, l'*Air Resources Board* a mis sur pied un programme de pré-certification (pour assurer la coordination avec les différents districts de gestion de l'air susceptibles de mettre en place leurs propres programmes), le *Water Board* met en place un programme, et les autorités législatives ont envisagé d'autoriser toutes les agences de protection de l'environnement à lancer leurs propres programmes de certification. La Californie illustre donc mieux que partout ailleurs la popularité de la vérification

des technologies environnementales, et la tendance de cette activité à déboucher sur une multiplicité de programmes individuels divers, consacrés chacun à un créneau particulier.

La procédure de certification en Californie prend deux formes différentes : la certification du point de vue de la réglementation, qui est destinée à rationaliser l'approbation de la technologie dans le contexte du respect de la réglementation et la certification du point de vue des performances, dont l'objet est de donner aux développeurs de la technologie un outil d'information et de marketing tant au plan intérieur que vis-à-vis de l'étranger, et de faciliter le processus de décision réglementaire. Dans l'un et l'autre cas, la procédure comprend trois phases, depuis la présélection initiale, en passant par la définition des revendications qui seront certifiées jusqu'à l'analyse des résultats des essais et/ou la réalisation d'essais. Un aspect important du système californien est qu'il est possible de soumettre pour la procédure de certification pratiquement n'importe quel type de résultats d'essais, et de toute origine. Ces données sont examinées par les services techniques compétents (à savoir l'*Hazardous Materials Laboratory* de l'État de Californie, et certains laboratoires universitaires et nationaux) qui peuvent choisir de les utiliser ou de procéder à leurs propres essais. Quel que soit le choix effectué, le demandeur rembourse à l'État les coûts de la certification, lesquels en 1995 variaient entre USD 3 000 et 60 000.

Le programme de la Californie – du fait que c'est un programme à la fois précurseur et techniquement robuste – a été largement utilisé. Des centaines d'entreprises ont contacté les responsables du programme et quelques dizaines de technologies de gestion des déchets dangereux ont été certifiées à ce jour. On n'a pas connaissance de technologies parvenues aux phases finales de la procédure pour lesquelles la certification aurait été refusée, mais beaucoup ont été éliminées dans les premières phases. D'autres programmes s'appuient sur l'expertise de la Californie. C'est ainsi qu'un mémorandum d'accord a été conclu avec le Canada, l'État de Bavière et cinq États des États-Unis. La Californie a également signé un accord de coopération avec l'USEPA pour participer à son programme pilote de vérification.

La seule tentative d'évaluation systématique de ce programme (Cooper et Susskind, 1997) confirme l'opinion selon laquelle la certification délivrée par la Californie est pour les fournisseurs qui l'ont obtenue un atout commercial majeur, que ce soit aux États-Unis ou au plan international. En revanche, avec la multiplication des programmes de vérification, d'autant que leurs formes diffèrent – on peut se demander si l'approche retenue par la Californie conservera son impact. En poussant plus loin l'analyse, du fait de la multiplication des différents programmes en Californie même, certains se plaignent de la lourdeur administrative ainsi créée et rappellent la nécessité d'assurer la cohérence et l'utilité de la certification avec les exigences des autorités de réglementation.

Au *Massachusetts*, les activités de vérification s'intègrent dans une initiative visant à promouvoir de façon globale l'industrie environnementale de l'État, intitulée *Strategic Envirotechnology Partnership* (STEP) et mise en place en 1994. Plus d'une centaine d'entreprises ont bénéficié de diverses formes d'aide grâce à ce programme. La vérification est effectuée dans le cadre d'un programme d'évaluation de la technologie qui comprend deux volets – la technologie environnementale en général et la technologie énergétique. Des experts de l'Université du *Massachusetts* examinent les données disponibles sur les technologies, mais le rapport final d'évaluation technologique est publié par des groupes d'étude comprenant des industriels et des responsables officiels. On s'attache également avec ce programme à coupler le plus possible les vérifications avec les procédures d'approbation réglementaires.

Le programme de vérification du *New Jersey*, de création relativement récente, est particulièrement intéressant dans la mesure où il est issu d'une activité de soutien technologique de portée plus générale, la *New Jersey Corporation for Advanced Technology* (NJCAT). La NJCAT est l'une des nombreuses initiatives de soutien technologique lancées au niveau des États qui cible les technologies naissantes, mais elle a pour spécificité de privilégier les questions d'environnement et, dans ce contexte plus général, de prévoir un programme de vérification. L'exemple du *New Jersey* est également remarquable par le fait que cet État s'est efforcé d'instaurer une coopération et une réciprocité avec d'autres programmes de vérification, notamment ceux de *Californie* et du *Canada*.

Canada

La création officielle du programme canadien date du début de 1996, dans le prolongement d'une vaste consultation des parties prenantes et des autorités chargées de la politique publique qui s'était étalée sur les deux années précédentes. La « Stratégie pour l'industrie canadienne de l'environnement » recommandait au départ un programme de certification, qui a finalement débouché sur une activité de vérification. (Les documents que les demandeurs reçoivent sont néanmoins des « certificats » de vérification.) Bien que ce soit Environnement Canada, organisme public, qui est chargé de l'orientation stratégique et générale du programme, il s'agit pour l'essentiel d'un partenariat public/privé : son Comité d'orientation est composé majoritairement de représentants de l'industrie, l'Association canadienne des industries de l'environnement apporte des contributions et effectue des évaluations régulières lors de bilans semi-annuels et l'organisme chargé de l'administration, *Technology Verification Canada Inc.*, est une entreprise privée fondée sur une expertise tant publique que privée.

En pratique, le programme consiste à vérifier que des équipements, ou services basés sur des équipements, destinés à « prendre en charge un problème

d'environnement ou procurer un avantage du point de vue de l'environnement», sont conformes aux normes d'environnement canadiennes et sont prêts pour une utilisation commerciale. Vu l'importance de fournir une aide dès les premières phases du développement d'une technologie, le programme permet également d'obtenir des conseils pour les essais et la production de données, de telle manière que ces technologies puissent atteindre la phase de vérification. Le demandeur doit franchir quatre phases, depuis le moment où la technologie est considérée comme répondant aux critères du programme jusqu'à l'obtention du certificat de vérification, du logo de vérification de technologie environnementale, de la fiche signalétique et du rapport final, délivrés par le programme. Le demandeur a le droit d'utiliser l'ensemble de ces quatre « produits » pour mieux commercialiser sa technologie.

Les « Entités de vérification » habilitées traitent les demandes, mais elles ne procèdent pas aux essais sur site. La plupart des données sont de fait présentées par les demandeurs qui font réaliser des essais dans des laboratoires agréés indépendants. Cette formule est destinée à limiter les coûts pour les pouvoirs publics et à inciter les demandeurs à produire les données, tout en garantissant la qualité et la validité. Les entités de vérification évaluent la technologie selon des protocoles de vérification officiels. Le choix de l'entité de vérification, de même que la recherche de solutions aux problèmes d'ordre administratif comme la confidentialité des données, s'effectuent en consultation entre Environnement Canada et le demandeur.

Les avantages économiques de la vérification sont particulièrement marqués dans le programme canadien. La « réciprocité » et « l'égalité des conditions de concurrence avec les autres pays » apparaissent donc comme essentiels pour la compétitivité des entreprises canadiennes d'environnement. C'est pourquoi le Canada a signé des mémorandums d'accord avec les États de Californie et du New Jersey. Un accord de coopération a également été conclu avec l'USEPA, de même que des arrangements pour la poursuite de l'exploration des marchés étrangers dans le cadre de contacts avec l'ISO, la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe et la Commission nord-américaine de coopération environnementale de l'ALENA. Bien qu'aucun indicateur officiel de résultat ne soit pour l'instant disponible, le programme publie un bulletin trimestriel et élabore une base de données sur les technologies, consultable sur CD-ROM.

Autres programmes

La région de la CEAP (Coopération économique Asie-Pacifique) a organisé en septembre 1998 une réunion de travail sur la vérification des technologies environnementales à Seattle, dans l'État de Washington (PREC, 1998). Cette réunion avait lieu sous les auspices du Groupe de travail sur la science et la technologie

industrielles de la CEAP, dont de nombreux projets sont liés au développement technologique dans le secteur privé. Elle a bénéficié du parrainage et du soutien de l'USEPA ainsi que d'autres établissements publics et privés de la région de Seattle. Ont assisté à cette réunion de travail des représentants de onze pays de la CEAP, ainsi que des États-Unis et des Philippines qui ont été particulièrement bien représentés tant en nombre qu'en interventions. Le but affiché de cette réunion était d'identifier les besoins ainsi que les ressources disponibles parmi les membres de la CEAP dans le domaine de la vérification des technologies. L'élan en faveur de l'instauration de programmes de vérification des technologies environnementales au niveau des différents membres s'en est trouvé renforcé ; par ailleurs, la possibilité d'un consortium de vérification au sein de la CEAP elle-même est à l'étude.

Il n'existe pas à proprement parler de programmes de vérification des technologies environnementales au niveau de l'Union européenne, mais la vérification et la certification des technologies environnementales sont effectuées dans le cadre d'autres activités comme l'éco-étiquetage et l'audit environnemental. C'est sans doute l'Union européenne qui est le mieux parvenue à intégrer les programmes environnementaux dans son système global de soutien des technologies de pointe, notamment dans ses plans de recherche les plus récents (Heaton, 1997). L'absence d'activités officielles de vérification des technologies environnementales en Europe s'explique aussi par une procédure réglementaire qui est moins formalisée et moins contradictoire qu'aux États-Unis. Toutefois, il existe en Europe un large débat sur la spécification des performances exigées des nouvelles technologies environnementales.

De la même manière, le Japon ne possède pas de programme de vérification des technologies environnementales ; cela peut s'expliquer par la structure générale des relations pouvoirs publics-entreprises, notamment telle qu'elle s'exprime dans l'organisation administrative de la réglementation. Au Japon, bien que l'Agence de l'environnement joue un rôle déterminant dans l'établissement des normes de contrôle de la pollution axées sur la santé publique, c'est au ministère du Commerce international et de l'industrie (MITI) qu'il revient d'en assurer la mise en œuvre. Le MITI est bien connu pour son expertise tournée vers l'industrie, son écoute des besoins de l'industrie et son mode d'action souvent qualifié d'incitatif. Dans ces conditions, il se peut que le processus réglementaire national soit suffisamment souple pour ne pas nécessiter de programmes de vérification officiels comme ceux que d'autres pays jugent intéressants. De plus, comme le Japon n'est pas subdivisé en États ou en provinces comme les États-Unis ou le Canada, il y a moins de risques de divergences d'attitudes à l'égard de la nouvelle technologie selon les juridictions.

VI. CONCLUSIONS

La vérification des technologies environnementales désigne l'ensemble de programmes publics ayant pour élément commun l'évaluation des nouvelles technologies environnementales. Ces programmes se sont multipliés depuis le milieu des années 90, notamment aux États-Unis. En vérifiant les performances des nouvelles technologies environnementales, ils facilitent l'acceptation de ces technologies sur le marché et au niveau réglementaire, l'objectif étant de promouvoir à la fois l'innovation et l'amélioration de la qualité de l'environnement. L'essor de ces programmes s'explique par l'importance croissante donnée à l'innovation dans la politique environnementale, par une prise de conscience de plus en plus marquée des objectifs de développement durable dans la politique technologique et par une nouvelle acceptation des partenariats publics/privés et de la coopération dans les domaines de la réglementation et de son application.

La conclusion que l'on peut tirer de ce tour d'horizon des programmes de vérification des technologies environnementales est que ces programmes doivent être bien conçus, pour en accroître l'efficacité et l'utilité. Leur finalité peut être la *vérification* (de la façon dont fonctionne une technologie d'après un critère donné), la *certification* (du respect ou non par une technologie d'une norme de performance donnée) et/ou l'*évaluation* (de l'efficacité, du coût ou de l'applicabilité d'une technologie pour des usages spécifiques). La plupart des programmes portent sur des technologies basées sur l'utilisation d'équipements (plutôt que des services liés à l'environnement) et ils peuvent privilégier un milieu donné (déchets, eau, atmosphère) et/ou un problème d'environnement (par exemple dépollution). Les programmes se distinguent par les protocoles d'essai et les données qu'ils utilisent et acceptent ; par le degré de partage des coûts entre secteur public et secteur privé, par le degré de participation d'intervenants extérieurs, par leur degré d'intégration avec des procédures de respect de la réglementation et par leurs mécanismes de réciprocité avec d'autres programmes de vérification.

On a pu s'interroger sur l'incidence des programmes de vérification des technologies environnementales et sur leur contribution réelle à l'innovation et à la qualité de l'environnement. Il a été montré que ces programmes facilitaient la commercialisation des technologies vérifiées, encourageaient la diffusion de la technologie grâce à l'information et amélioreraient la coopération entre responsables gouvernementaux et entreprises privées dans le domaine des technologies environnementales. Toutefois, il n'est pas certain que les programmes de vérification « éliminent » les technologies inférieures, encouragent la véritable innovation ou font plus que simplement accélérer le processus de diffusion des avancées technologiques progressives. Avec l'augmentation à l'échelle mondiale du nombre des programmes de vérification des technologies environnementales, on s'interroge aussi sur l'acceptation mutuelle des données d'essai et des résultats des vérifications de manière à promouvoir la liberté des échanges et la diffusion technologique.

BIBLIOGRAPHIE

- COOPER, C. et L. SUSSKIND (1997),
«A Review of Three State Initiatives to Encourage the Use of Innovative Environmental Technologies», manuscript non publié, MIT Programme on Environmental Technology, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- ENVIRONMENTAL LAW INSTITUTE (ELI) (1995),
«Environmental Technology Verification: A Study of Stakeholder Attitudes», Washington, DC.
- CLYDE, F. (1998),
«An Interstate Environmental Technology Strategy: A Proposal», Global Environment and Technology Foundation.
- HEATON, G. R. Jr., et D. BANKS (1998),
«Toward a New Generation of Environmental Technology», dans Branscomb et Keller (eds.), *Investing in Innovation*, MIT Press, Cambridge, MA.
- INTERSTATE TECHNOLOGY AND REGULATORY WORKING GROUP (1998),
Programme Summaries, Pacific Rim Enterprise Center, Seattle, Washington.
- NATIONAL GOVERNORS ASSOCIATION (1995),
«Verifying Performance of Innovative Environmental Technologies», Issue Brief, Washington, DC.
- NORBERG-BOHM, V. (1997),
«Stimulating "Green" Technological Innovation: An Analysis of Alternative Policy Mechanisms», Massachusetts Institute of Technology, Environmental Technology and Public Policy Programme, Cambridge, MA.
- NUTHALL, E. (1998),
«Review Summary for EPA's SITE Programme», ITRC Verification Subcommittee, manuscript non publié de l'University of New Mexico.
- OCDE (1996),
L'industrie mondiale des biens et services environnementaux, OCDE, Paris.
- OCDE (1999),
L'industrie des biens et services environnementaux : Manuel de collecte et d'analyse des données, OCDE, Paris.
- PACIFIC RIM ENTERPRISE CENTER (1998),
«Catalogue of Environmental Technology Verification Programmes», Seattle, Washington.
- SINK, C. et D. LYNN (1997),
«Potential Incentives for Environmental Technologies Based on Existing Statutes», dans *Trends in Industrial Innovation*, Sigma Chi Forum, Washington, DC.

US DEPARTMENT OF COMMERCE (1997),

« The United States Environmental Industry », Washington, DC.

US ENVIRONMENTAL AGENCY (1997),

« Verification Strategy », ETV Programme, EPA/600/K-96-003, février.

US ENVIRONMENTAL AGENCY (1998),

« Environmental Technology Verification Programme: Quality and Management Plan for the Pilot Period 1995-2000 », EPA/600/R-98/064, Washington, DC.

CLASSIFIER L'INDUSTRIE DES BIENS ET SERVICES ENVIRONNEMENTAUX

Table des matières

I. Introduction.....	138
II. Rôle de l'industrie de l'environnement	139
III. Définition de l'industrie	141
IV. Matrice et classification	145
V. Méthodes de collecte de données	148
VI. Prise en compte de la production plus propre	155
VII. Conclusions	157
Bibliographie	159

Cet article a été rédigé par Graham Vickery et Maria Iarrera, de la Direction de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE. Les travaux d'élaboration du manuel ont été organisés en collaboration avec M. A. Steurer, d'Eurostat.

I. INTRODUCTION

A l'échelle mondiale, l'industrie des biens et services environnementaux connaît aujourd'hui une croissance rapide du fait des pressions qui s'exercent sur l'environnement et de la réorientation vers une plus grande durabilité des stratégies appliquées par les entreprises et les pouvoirs publics. Toutefois, le secteur d'activité qui fournit les biens et services permettant aux entreprises et aux pays de relever les défis de l'environnement est pour l'instant mal cerné, mal mesuré et mal connu. Dans le contexte de la mondialisation, de l'évolution technologique et des nouvelles priorités politiques, les décideurs ont manifesté un très vif intérêt pour l'industrie des biens et services environnementaux, laquelle est généralement perçue comme un nouveau secteur de croissance, créateur de richesses et d'emploi, qui favorise la transition des économies vers le développement durable.

Cet intérêt des décideurs a soulevé de nombreuses questions sur différents aspects de l'industrie de l'environnement : quel est le potentiel de croissance et de création d'emplois ? Quel est le niveau des exportations de techniques de protection de l'environnement ? La R-D dans le domaine des produits et procédés plus propres avance-t-elle ? Peut-on mesurer l'impact sur la compétitivité industrielle de l'application de technologies moins polluantes ? Comment les stratégies d'adaptation des politiques économiques et environnementales peuvent-elles favoriser et soutenir la croissance, la création d'emplois et les échanges dans l'industrie de l'environnement ? Or, répondre à ces questions ne va pas sans poser certaines difficultés statistiques et méthodologiques liées à la délimitation et la disponibilité des données.

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, l'OCDE étudie depuis le début des années 90 l'évolution de l'industrie des biens et services environnementaux (OCDE, 1992), en mettant notamment l'accent sur la nécessité de mieux classifier ce secteur et d'affiner les données le concernant (OCDE, 1996a). Une première réunion a été organisée à Washington en 1994, sous les auspices du gouvernement des États-Unis, avec pour objectif de collecter des informations plus complètes en vue de produire une définition et une classification plus précises de l'industrie de l'environnement, et d'offrir une base plus solide à l'analyse stratégique (OCDE, 1996b).

Pour faire suite à cette réunion, l'OCDE a mis sur pied, en collaboration avec Eurostat (Office statistique des Communautés européennes), un *Groupe de travail*

informel sur l'industrie de l'environnement ayant pour objectif de mieux caractériser l'industrie des biens et services environnementaux. Le Groupe de travail a élaboré une définition et une classification communes de l'industrie de l'environnement afin d'améliorer la collecte d'informations cohérentes sur des variables telles que la production, l'emploi, les échanges, l'investissement et la R-D (OCDE, 1996c). Cette définition et cette classification ont été mises à l'essai en 1996 et 1997 dans le cadre d'activités de collecte de nouvelles données et de réorganisation des données disponibles dans les pays de l'OCDE. Les résultats de ces travaux ont servi à élaborer un manuel préparé sous les auspices conjoints de l'OCDE et d'Eurostat, qui propose des lignes directrices pouvant être utilisées pour produire des données complètes et comparables sur l'industrie des biens et services environnementaux (OCDE et Eurostat, 1999).

II. RÔLE DE L'INDUSTRIE DE L'ENVIRONNEMENT

Par la mise au point de produits et de procédés plus efficaces et consommant moins de ressources, l'industrie des biens et services environnementaux concourt à l'innovation dans le domaine de l'environnement et au développement durable, mais aussi à la création d'emplois et à l'amélioration des résultats au niveau des entreprises. Selon la Commission européenne, le développement d'une puissante industrie des biens et services environnementaux peut grandement contribuer à permettre aux entreprises de mieux intégrer des technologies moins polluantes et des pratiques respectueuses de l'environnement dans la production, et plus généralement d'améliorer leurs performances environnementales et économiques (Commission des Communautés européennes, 1997).

L'industrie de l'environnement comprend les activités qui produisent des biens et des services servant à mesurer, prévenir, limiter, réduire au minimum ou corriger les atteintes à l'environnement (air, eau et sols) et les problèmes liés aux déchets, au bruit et aux écosystèmes. Elle englobe les équipements en bout de chaîne aussi bien que les technologies, les produits et les services moins polluants qui réduisent les risques pour l'environnement, minimisent la pollution et économisent les ressources (OCDE, 1996a).

Malgré le manque de données comparables issues d'enquêtes statistiques nationales régulières menées par les autorités, on peut, à partir d'un large éventail de sources, dégager quelques grandes tendances qui caractérisent ce secteur. Il importe toutefois de préciser que, tant qu'on ne dispose pas de meilleures données sur l'offre, il s'agit seulement de tendances indicatives. Au milieu des années 90, le chiffre d'affaires total du secteur était de plus de USD 100 milliards et atteignait un niveau presque équivalent dans l'Union européenne ; à l'échelle mondiale, on estime qu'il était supérieur à celui de l'industrie pharmaceutique.

Dans beaucoup de pays de l'OCDE, l'industrie de l'environnement connaît depuis 20 ans une très forte expansion. Aux États-Unis, elle a crû à un rythme d'environ 5 % par an durant les années 90, la plus forte progression étant à mettre à l'actif du segment de l'ingénierie et de la construction écologiques. En Allemagne, pays de l'Union européenne où le marché de l'environnement est le plus développé, on estime que la croissance de l'industrie de l'environnement est de 5 à 6 % par an.

Selon la plupart des prévisions, cette expansion devrait s'amplifier à l'avenir dans beaucoup de pays, notamment sous l'effet du renforcement des réglementations environnementales dans un nombre grandissant de pays de l'OCDE, qui entraîne un accroissement des investissements dans les dispositifs de dépollution, une augmentation des achats de services de gestion de l'eau et, plus récemment, une hausse du recours aux services d'amélioration des performances environnementales au niveau de l'entreprise. En outre, les entreprises elles-mêmes accordent davantage d'importance aux stratégies de prévention de la pollution et à la planification en matière d'environnement, ce qui suscite de nouveaux progrès techniques et ouvre de nouveaux marchés. L'investissement dans les biens et services environnementaux est pour elles un moyen de réduire la consommation de ressources, d'améliorer leur image auprès du public et de respecter les réglementations en vigueur.

D'après les estimations, l'industrie des biens et services environnementaux emploie directement 1 % environ de la population active dans la zone OCDE. Des études consacrées à l'emploi direct du côté de l'offre font état de plus de 1.8 million de personnes occupées au total aux États-Unis et dans l'Union européenne (mais ce chiffre ne tient pas compte des technologies propres ni, dans certains pays, des services environnementaux). On estime que l'emploi dans ce secteur a progressé à un rythme annuel de 10 % aux États-Unis et de 3 % au Canada et au Japon durant la première moitié des années 90. Au cours de la seule année 1997, le nombre de personnes travaillant pour des entreprises qui produisent des biens et services environnementaux a augmenté de 15 % au Canada. Dans la zone OCDE, les activités manufacturières (y compris la construction) représentent semble-t-il moins de la moitié de ces emplois, tandis que les services représentent une part bien supérieure à la moitié. La plupart des emplois concernent la gestion des déchets solides et des eaux usées. Les emplois sont en moyenne plus qualifiés que dans d'autres secteurs, avec une part importante d'ingénieurs, de techniciens et de postes de services aux entreprises, mais il existe aussi une importante composante d'emplois peu qualifiés, par exemple dans le recyclage ou la gestion des déchets. À diverses reprises, on a prévu des pénuries de personnel qualifié dans l'industrie de l'environnement, en raison des importants besoins en personnel professionnel, technique et spécialisé dans nombre de ses segments.

Dans cette industrie, la poursuite de la croissance sera étroitement tributaire de l'innovation technologique qui déterminera sa capacité à adapter efficacement

ses produits et services aux nouvelles exigences de la réglementation et des clients, de l'offre de main-d'œuvre qualifiée et de l'amélioration de ses qualifications, ainsi que de la mise en vigueur de normes et de réglementations environnementales au plan national et international. Dans l'ensemble, la demande de produits environnementaux délaisse progressivement les solutions en bout de chaîne pour se porter sur les modifications qui rendent peu à peu les procédés et les produits plus propres et moins nuisibles pour l'environnement que les solutions existantes. D'aucuns estiment que 50 % des biens et services environnementaux qui seront utilisés en 2010 n'ont pas encore été inventés – à l'évidence, cela ne fait qu'ajouter aux difficultés de définition, de mesure, d'analyse et de compréhension de cette industrie.

III. DÉFINITION DE L'INDUSTRIE

De nombreuses études ont déjà été menées en vue de chiffrer l'impact de l'industrie des biens et services environnementaux sur la croissance économique. Cependant, donner une définition claire de cette industrie n'est pas chose aisée dans la mesure où des entreprises de secteurs d'activité très différents participent en fait à la production de biens et services environnementaux. Certaines sont des établissements spécialisés dans le domaine de l'environnement, tandis que d'autres opèrent dans des secteurs traditionnels faiblement spécialisés. Certaines produisent des services environnementaux pour leur propre usage, alors que d'autres ont abandonné cette voie et recourent désormais aux services de prestataires extérieurs. Ce n'est donc qu'à la condition d'identifier précisément l'ensemble des activités liées à la protection de l'environnement – c'est-à-dire celles des entreprises spécialisées, celles menées par les entreprises traditionnelles d'autres secteurs, et celles menées par les établissements pour leur propre usage – que l'on peut parler avec une certaine précision d'une « industrie de l'environnement ».

En outre, comme bon nombre des produits de protection de l'environnement servent également à d'autres usages, il est impossible d'identifier un ensemble de produits exclusivement dévolus à la protection de l'environnement. Il n'est donc pas possible, aux fins de mesure, de parler d'une industrie de l'environnement ou encore de produits utilisés uniquement aux fins de protection de l'environnement dans le strict cadre de la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI) ou de la Classification centrale des produits (CPC), ni de s'appuyer sur les ensembles statistiques standard basés entièrement sur les classifications existantes. Il y a lieu d'élaborer de nouvelles techniques permettant d'identifier aussi précisément que possible les entreprises, activités et produits qui jouent un rôle dans l'industrie de l'environnement.

En premier lieu, il convient d'établir une définition de travail de l'industrie de l'environnement, qui est la suivante :

L'industrie des biens et services environnementaux comprend les activités qui produisent des biens et des services servant à mesurer, prévenir, limiter, réduire au minimum ou corriger les atteintes à l'environnement, telles que la pollution de l'eau, de l'air et du sol, ainsi que les problèmes liés aux déchets, au bruit et aux écosystèmes. Cette industrie comprend les technologies, produits et services moins polluants, qui réduisent les risques pour l'environnement, minimisent la pollution et économisent les ressources.

De manière générale, il n'est pas possible d'identifier de manière absolue et exhaustive les biens et services environnementaux. S'agissant des technologies, produits et services moins polluants, l'un des problèmes tient au fait qu'il n'existe pas pour l'heure de méthodologie convenue permettant de mesurer leur contribution de manière satisfaisante. Autre difficulté : de nombreux biens utilisables à des fins de protection de l'environnement (des pompes, par exemple) peuvent également être employés dans des activités très différentes, et d'autres biens apparemment sans aucun lien avec l'environnement peuvent néanmoins être utilisés dans certaines applications à caractère environnemental.

Il convient de classer les informations sur l'industrie des biens et services environnementaux d'une manière permettant de les décomposer en *activités principales, secondaires et auxiliaires*. Aux fins d'identification de l'industrie, sont retenues les entreprises qui produisent en quantités significatives des biens effectivement ou potentiellement utiles à la protection de l'environnement. Cette méthode se distingue des pratiques habituelles de comptabilité nationale, en vertu desquelles les entreprises sont affectées à une industrie en fonction de leur production principale. Or, bien peu d'entreprises sont spécialisées au point de ne produire qu'un seul produit, et celles qui le sont, sont en général très petites. Les entreprises plus grandes fabriquent presque toujours un ou plusieurs produits secondaires. Si l'on mesure uniquement l'activité des entreprises dont la production principale a un caractère environnemental, on inclut des produits secondaires sans lien avec l'environnement et on néglige les produits secondaires à caractère environnemental des entreprises non spécialisées dans ce domaine. Pour éviter ce dernier problème, on peut élargir la définition de « l'industrie » en prenant comme critère non plus la production principale, mais une production « importante » de produits environnementaux.

En plus des biens et services principaux et secondaires, la plupart des entreprises produisent aussi des services auxiliaires, qui ne sont pas destinés à être proposés à l'extérieur. Dans l'entreprise, les activités auxiliaires sont mises en œuvre pour créer les conditions dans lesquelles les activités principales et secondaires doivent être menées (par exemple, la tenue des livres et l'achat de matériel et équipements, l'embauche, la formation, la gestion et la rémunération du personnel,

le nettoyage et l'entretien des bâtiments et autres structures, etc.). Il peut arriver qu'une activité auxiliaire prenne de l'importance au point de pouvoir proposer ses services à l'extérieur de l'entreprise. Par exemple, une unité interne chargée de la gestion des déchets peut développer des capacités pour lesquelles il existe une demande extérieure. Lorsqu'une activité auxiliaire propose ses services à l'extérieur, ceux-ci doivent être pris en compte comme une activité secondaire.

De la même manière, une entreprise peut être amenée à choisir entre développer en interne des activités auxiliaires en soutien de ses activités principales et secondaires ou confier ces services à l'extérieur à un prestataire spécialisé. Dans ce dernier cas, si les activités auxiliaires ne sont pas prises en compte séparément, on pourrait interpréter les modifications structurelles aboutissant à la sous-traitance des activités auxiliaires comme une forme de croissance et non pas comme un remplacement d'activités internes (auxiliaires) par des transactions extérieures (sur le marché). On note actuellement une certaine tendance à la sous-traitance des activités auxiliaires liées à l'environnement, imputable à l'action des forces économiques, notamment l'adoption de réglementations environnementales plus strictes. Il paraît donc nécessaire de fournir, chaque fois que possible, des informations séparées sur les activités auxiliaires.

Par ailleurs, il est souhaitable de décomposer les statistiques en *activités publiques et privées*. La structure du capital de l'industrie des biens et services environnementaux varie grandement selon les pays, notamment pour la fourniture de services environnementaux. Par exemple, la part détenue par le secteur public dans les établissements chargés du traitement des ordures ménagères va de 25 % environ en Espagne et en France à 85 % dans des pays tels que le Danemark ou le Portugal. De même, la part du secteur public dans les stations d'épuration des eaux usées varie de 15 % au Royaume-Uni à 95 % en Allemagne (Drouet, 1997a).

A l'heure actuelle, la tendance est à la privatisation, ce qui se traduit soit par un accroissement du volume d'activités sous-traitées à des établissements privés, soit par une privatisation intégrale des activités environnementales. Aussi, si les données recueillies et analysées portent uniquement sur les activités des entreprises privées, toute variation liée à la privatisation (ou à la sous-traitance) des activités auparavant assurées par le secteur public peut induire une surestimation du rythme de croissance du secteur privé de l'industrie de l'environnement. Pour éviter ces risques de mauvaise interprétation, il convient de distinguer entre établissements publics et privés et de mesurer les deux secteurs.

Lorsque ces recommandations ne peuvent pas être appliquées intégralement, il est souhaitable, pour la qualité de l'interprétation des données, que les études et résultats d'analyse identifient clairement le type des activités décrites (privé, public, etc.) et donnent quelques indications sur la tendance en matière de privatisation ou de sous-traitance.

Adapter la collecte de données aux *préoccupations gouvernementales* constitue un autre aspect important. Par exemple, si les décideurs souhaitent connaître la contribution de cette industrie à la croissance économique, l'enquête devra viser à recueillir des informations sur son impact relatif, et ses taux de croissance annuelle (chiffre d'affaires, valeur ajoutée, emploi, etc.) seront les variables économiques les plus appropriées (voir le tableau 1). Pour une analyse élémentaire de l'industrie des biens et services environnementaux, il convient en règle générale de collecter les informations relatives aux variables économiques types suivantes :

Tableau 1. **Correspondance entre les questions qui se posent et les variables économiques**

Questions qui se posent	Variables/indicateurs
Contribution de l'industrie des biens et services environnementaux à la croissance économique	Croissance annuelle du chiffre d'affaires, de la valeur ajoutée, de l'emploi, etc.
Production et emploi dans l'industrie des biens et services environnementaux	Chiffre d'affaires, valeur ajoutée, emploi et types d'emplois
Contribution de l'industrie des biens et services environnementaux aux échanges internationaux	Exportations, importations, investissement direct étranger, accords de licence
Contribution de l'industrie des biens et services environnementaux aux stratégies régionales et structurelles	Chiffre d'affaires, valeur ajoutée, emploi, etc., par région ou selon la composition de l'industrie
Interaction entre la politique de R-D et le développement de la technologie environnementale	Part de la R-D environnementale dans la R-D totale ; nouveaux brevets relatifs à des technologies environnementales
Coût des services environnementaux	Prix par unité de services environnementaux (par exemple, FRF/tonne de déchets traités)
Obstacles à la concurrence internationale dans la fourniture de biens et services environnementaux	Part du marché desservi par des fournisseurs locaux ou en situation de monopole
Aptitude des activités de l'industrie des biens et services environnementaux à atteindre les objectifs de protection de l'environnement	Activités de l'industrie de l'environnement liées aux indicateurs d'environnement
Contribution de l'industrie des biens et services environnementaux au développement durable	Part des activités préventives (par exemple, technologies et produits moins polluants) dans la production totale de l'industrie de l'environnement
Industrie des biens et services environnementaux et innovation	R-D et dépenses d'investissement de l'industrie des biens et services environnementaux, données non économiques telles que le nombre de brevets
Régime de propriété, concentration et structure de l'industrie des biens et services environnementaux	Nombre et importance des producteurs, ventilés selon le régime de propriété (national/étranger, public/privé), fusions et acquisitions

Source : A partir de Drouet (1997a).

chiffre d'affaires, emploi (si possible, par niveau de qualification ou selon une classification professionnelle), investissement, exportations et recherche-développement. Pour une analyse complète de l'industrie, il est utile de disposer d'informations sur l'innovation (obtenues à partir des enquêtes sur l'innovation), sur les brevets (tirées des statistiques nationales ou internationales sur les brevets), sur l'aide publique destinée à promouvoir les exportations et l'industrie (recueillies auprès de sources officielles), et sur les fusions et acquisitions (tirées des statistiques structurelles ou obtenues auprès de consultants spécialisés et d'analystes financiers).

IV. MATRICE ET CLASSIFICATION

Lors de l'élaboration de la classification de l'industrie des biens et services environnementaux, l'une des principales priorités est de proposer un système précis et utile qui puisse être adapté en fonction des besoins futurs. Cette industrie devrait subir d'importantes mutations structurelles, notamment marquées par la concentration et la privatisation, un abandon de la production d'équipements en bout de chaîne au profit de nouvelles technologies moins polluantes et intégrées, et une ouverture à des activités entièrement nouvelles (telles que les services environnementaux). Afin d'élaborer un système souple et capable de rendre compte de ces évolutions, la classification de l'industrie des biens et services environnementaux suit la matrice présentée dans le tableau 2. Cette matrice combine les grands types d'activités des entreprises (colonnes) aux catégories de biens et services environnementaux (lignes). Elle peut être modifiée et ajustée pour traduire

Tableau 2. **Matrice des activités liées à l'environnement**

Catégories de biens et services environnementaux	Activités		
	Production d'équipements et de matériaux spécifiques	Fourniture de services	Construction et installation d'infrastructures	
Groupe Lutte antipollution				
Lutte contre la pollution atmosphérique				
Gestion des eaux usées				
Gestion des déchets solides				
Dépollution/assainissement du sol et de l'eau				
Lutte contre le bruit et les vibrations				
Surveillance, analyse, évaluation				
Groupe Technologies et produits moins polluants				
Groupe Gestion des ressources				

Source : OCDE et Eurostat (1999).

plus précisément la structure de cette industrie dans des pays et à des moments différents.

Dans cette classification, les activités ont été groupées en fonction de deux grands principes : i) la finalité indiscutablement environnementale des biens ou services proposés par l'industrie ; et ii) la facilité avec laquelle ces activités et produits peuvent être évalués statistiquement. Le premier principe établit une distinction entre les activités et produits dont l'objectif direct est de protéger l'environnement et qui ont un impact positif indéniable sur la protection de l'environnement, et ceux dont l'objectif est autre, mais qui contribuent néanmoins à la protection ou à l'amélioration de l'environnement. Ce principe est particulièrement utile pour l'identification des produits à usages multiples (par exemple, les pompes ou les produits tels que les véhicules économes en énergie) ou des activités et produits émanant d'entreprises hautement diversifiées.

Le second principe directeur propose une approche de la collecte des données pratique et efficace par rapport à son coût. En effet, la collecte des données et leur comparabilité au plan international ne doivent pas exiger trop de temps et de ressources. Ainsi, si l'évaluation d'une catégorie de biens ou services risque de déboucher sur des résultats imprécis ou ambigus et de mobiliser en outre d'importantes ressources, il est préférable de l'ignorer provisoirement (par exemple, les technologies et produits moins polluants). Sur la base de ces principes directeurs, l'industrie des biens et services environnementaux peut être divisée en trois grands groupes : « Lutte antipollution », « Technologies et produits moins polluants » et « Gestion des ressources ».

Le groupe *Lutte antipollution* comprend les biens et services qui poursuivent exclusivement et indiscutablement un objectif environnemental, qui contribuent de manière significative à la réduction des émissions polluantes et qui sont aisément identifiables du point de vue statistique. Il représente le cœur de l'industrie des biens et services environnementaux, puisque toutes les activités qu'il regroupe ont pour objectif principal de protéger l'environnement, et la collecte des données correspondantes ne pose généralement pas de difficultés. La classification des biens et services à l'intérieur du groupe Lutte antipollution est présentée dans l'encadré 1.

Le groupe *Technologies et produits moins polluants* comprend les biens et services qui réduisent ou éliminent des incidences sur l'environnement, mais qui sont souvent proposés à d'autres fins que la protection de l'environnement et pour lesquels l'évaluation statistique reste complexe, chère ou sujette à caution. La collecte et la classification des données relatives à ce groupe sont encore en cours de développement. Ce groupe concerne essentiellement la production d'équipements, de technologies, de matériaux spécifiques ou de services pour les technologies et

Encadré 1. Classification des biens et services de lutte antipollution

Production d'équipements et de matériaux spécifiques pour :

- La lutte contre la pollution atmosphérique.
- La gestion des eaux usées.
- La gestion des déchets solides.
- Collecte, traitement et élimination des déchets dangereux.
- Collecte, traitement et élimination des déchets.
- Récupération et recyclage des déchets (hors fabrication de nouveaux matériaux ou produits à partir de déchets et débris).
- La dépollution et l'assainissement du sol, des eaux de surface et des eaux souterraines.
- La lutte contre le bruit et les vibrations.
- La surveillance, l'analyse et l'évaluation de l'environnement.
- Autres.

Fourniture de services pour :

- La lutte contre la pollution atmosphérique.
- La gestion des eaux usées.
- La gestion des déchets solides.
- Collecte, traitement et élimination des déchets dangereux.
- Collecte, traitement et élimination des déchets.
- Récupération et recyclage des déchets (hors fabrication de nouveaux matériaux ou produits à partir de déchets et débris).
- La dépollution et l'assainissement du sol, des eaux de surface et des eaux souterraines.
- La lutte contre le bruit et les vibrations.
- La R-D environnementale.
- La sous-traitance et les services d'ingénierie dans le domaine de l'environnement.
- Les services d'analyse, la collecte, l'analyse et l'évaluation de données.
- L'enseignement, la formation et l'information.
- Autres.

Construction et travaux d'installation pour :

- La lutte contre la pollution atmosphérique.
- La gestion des eaux usées.
- La gestion des déchets solides.
- Collecte, traitement et élimination des déchets dangereux.
- Collecte, traitement et élimination des déchets.
- Récupération et recyclage des déchets (hors fabrication de nouveaux matériaux ou produits à partir de déchets et débris).
- La dépollution et l'assainissement du sol, des eaux de surface et des eaux souterraines.
- La lutte contre le bruit et les vibrations.
- La surveillance, l'analyse et l'évaluation de l'environnement.
- Autre.

Source : OCDE et Eurostat (1999).

procédés moins polluants et économes en ressources, ainsi que pour les produits moins polluants et économes en ressources.

Le *groupe Gestion des ressources* comprend les biens et services qui peuvent être associés à la protection de l'environnement, mais dont la finalité principale n'est pas la protection de l'environnement (économies d'énergie et gestion de l'énergie, installations utilisant des énergies renouvelables, lutte contre la pollution de l'air à l'intérieur des locaux, etc.). Ce groupe sera le plus souvent proposé à titre facultatif dans la collecte des données, et son intégration dépendra de l'intérêt stratégique et de la faisabilité statistique. La collecte et la classification des données relatives à ce groupe sont encore en cours de développement. Ce groupe concerne essentiellement la production d'équipements, de technologies et de matériaux spécifiques, la fourniture de services, la construction et les travaux d'installation pour : la lutte contre la pollution de l'air à l'intérieur des locaux, l'approvisionnement en eau, les matériaux recyclés (fabrication de nouveaux matériaux ou produits à partir de déchets ou débris, identifiés séparément comme éléments recyclés), les installations utilisant des énergies renouvelables, la gestion et les économies en matière d'énergie et de chauffage, l'agriculture et la pêche durables, la foresterie durable, la gestion des risques naturels, l'écotourisme et d'autres usages (par exemple, la préservation de la nature, des habitats et de la biodiversité).

Dans le manuel OCDE/Eurostat, l'industrie est classée en fonction de l'activité économique, qui reflète la structure des entreprises fournissant des biens et services environnementaux (OCDE et Eurostat, 1999). La structure est *grosso modo* la suivante :

- Le *niveau 1* distingue les trois principaux groupes : A. Lutte antipollution ; B. Technologies et produits moins polluants ; C. Gestion des ressources.
- Le *niveau 2* distingue les grandes catégories d'activités commerciales de protection de l'environnement : production d'équipements et de matériaux spécifiques, fourniture de services, construction et installation.
- Le *niveau 3* comprend les principales catégories d'activités de protection de l'environnement : lutte contre la pollution atmosphérique, gestion des eaux usées, gestion des déchets solides, dépollution/assainissement du sol et des eaux de surface et souterraines, lutte contre le bruit et les vibrations.

V. MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

Différentes méthodes peuvent être employées pour recueillir des données sur l'industrie des biens et services environnementaux. *L'approche axée sur l'offre* se caractérise par la collecte d'informations sur l'offre de biens et services pour la

protection de l'environnement, principalement par le biais d'enquêtes ciblées auprès des producteurs de l'industrie des biens et services environnementaux. L'*approche axée sur la demande* se caractérise par la collecte d'informations sur la demande de biens et services pour la protection de l'environnement, recueillies sous la forme de données relatives aux dépenses de protection de l'environnement. L'*approche intégrée offre-demande* combine les informations disponibles concernant l'offre et la demande et les rapproche dans un cadre comptable cohérent, de façon à combler les lacunes et à obtenir une vue d'ensemble complète des activités et produits de l'industrie.

Historiquement, c'est l'approche axée sur l'offre que les organismes d'État chargés de la collecte des données statistiques ont utilisée pour recueillir des informations sur les entreprises manufacturières (généralement le ministère de l'Industrie) et les services environnementaux (généralement le ministère de l'Environnement). Dans l'ensemble, les instituts de statistique ont privilégié l'approche axée sur la demande et ce n'est que récemment qu'ils ont entrepris de lancer des enquêtes plus complètes axées sur l'offre (par exemple, au Canada, en France, en Allemagne et aux États-Unis). En marge des administrations publiques, les associations professionnelles mènent fréquemment des enquêtes auprès de leurs membres sur les biens ou services qu'ils proposent.

Afin d'identifier la meilleure méthode ou la meilleure combinaison de méthodes de collecte des données, il conviendrait de procéder à leur évaluation sur la base des critères suivants : *ampleur des activités* qui composent l'industrie ; *données couvertes et efficacité de la collecte* (éventail et niveau de détail des informations requises pour l'analyse, et coûts relatifs en termes de temps et de ressources à mobiliser pour la collecte) ; et *variables économiques et qualité des données* (forces et faiblesses de chaque méthode pour fournir des informations relatives à des variables spécifiques). Concernant le premier critère, le tableau 3 présente le poids relatif moyen

Tableau 3. **Structure type de l'industrie des biens et services environnementaux**

Activités de l'industrie des biens et services environnementaux	Part dans le total de l'industrie de l'environnement
Fabrication d'équipements	25-35 %
Fourniture de services	40-50 %
Recherche-développement	2-4 %
Services d'ingénierie	5-10 %
Construction et installation d'équipements	15-25 %

Remarque : Les parts sont déterminées sur la base de la valeur ajoutée ou de l'emploi. Ces estimations sont obtenues à partir des résultats des études et enquêtes sur l'industrie des biens et services environnementaux dans les pays de l'OCDE.

Source : Drouet (1997a).

des activités de ce secteur dans l'OCDE. Ensemble, la fabrication d'équipements et la fourniture de services représentent de 70 à 80 % de l'industrie de l'environnement. Par conséquent, les méthodes qui fournissent des données complètes sur ces activités permettent de dégager une image plus précise de la taille et de la structure de l'industrie dans son ensemble que les méthodes plus spécifiquement orientées vers, par exemple, les services techniques et la recherche-développement, lesquels ne représentent qu'une faible part de l'industrie.

L'approche axée sur l'offre est la meilleure méthode de collecte du point de vue de la couverture et de la qualité des données. Elle peut fournir des informations détaillées englobant la plupart des variables économiques voulues (chiffre d'affaires, emploi et exportations par catégorie environnementale, par taille des entreprises et par rapport aux classifications industrielles types, R-D) pour la plupart des catégories de l'industrie des biens et services environnementaux. Les enquêtes directes fournissent également une information fiable sur la recherche-développement publique et privée. Néanmoins, les enquêtes spécifiques présentent certains inconvénients. Par exemple, elles ne capturent pas intégralement les effets des activités de protection de l'environnement sur le chiffre d'affaires (notamment les activités secondaires et auxiliaires) et l'emploi. Elles permettent certes de collecter au mieux des informations sur le chiffre d'affaires et l'emploi direct liés aux biens et services effectivement commercialisés, mais elles mesurent moins efficacement ces mêmes variables lorsqu'il s'agit d'activités hors marché, auxiliaires ou à finalités multiples.

Par ailleurs, dans les enquêtes axées sur l'offre, l'estimation du chiffre d'affaires donne généralement lieu à une double comptabilisation. Par exemple, si la liste des biens environnementaux comprend une cartouche filtrante et le filtre complet, la cartouche filtrante risque d'être comptabilisée deux fois. Ce problème se pose tout particulièrement dans le domaine de la gestion des déchets, compte tenu des relations complexes qui existent entre les entreprises publiques et privées de ramassage, les entreprises de traitement spécialisé, les entreprises de recyclage, etc. En outre, les résultats des enquêtes comprennent souvent des informations relatives à des activités secondaires sans lien avec l'environnement. Même s'il est possible d'exclure cette production, il peut être difficile de distinguer les coûts de main-d'œuvre et autres selon qu'ils se rapportent ou non à une activité environnementale. Si les enquêtes axées sur l'offre des entreprises produisant des biens et services environnementaux sont celles qui livrent la plus grande quantité d'informations, elles nécessitent également beaucoup de temps et de ressources. Ainsi, la conception et la conduite d'une enquête complète axée sur l'offre peuvent coûter plusieurs centaines de milliers de dollars et durer un à deux ans.

En règle générale, pour la collecte de données intervenant dans le cadre d'enquêtes axées sur l'offre, il est recommandé de tenir compte des impératifs suivants :

- a) Il convient d'établir une nomenclature détaillée et une liste détaillée de biens et services uniques sur la base de la définition et de la classification (pour un exemple de ventilation détaillée de l'industrie, voir OCDE et Eurostat, 1999).
- b) Il convient d'établir un univers et une population pratique pour l'enquête. Bien qu'elle exige beaucoup de temps, cette phase est essentielle pour plusieurs raisons : il n'existe pas de liste complète et directement disponible des fournisseurs de biens et services environnementaux ; la majorité des grandes entreprises productrices de biens et services environnementaux ne sont pas spécialisées ; et nombre d'entreprises sont incapables d'indiquer si leurs produits (filtres, pompes, etc.) sont à finalités multiples et employés à des fins environnementales ou autres. Sachant que le registre des entreprises et organismes de l'institut de statistique ne constitue que rarement en soi une source unique d'informations vraiment utiles, il convient de recourir à d'autres sources : listes établies par les associations professionnelles ou par l'administration, catalogues des fournisseurs de produits environnementaux, etc. *L'échantillon doit être aussi représentatif que possible* de la structure de l'industrie de l'environnement, c'est-à-dire inclure des entreprises publiques et privées, des petites, moyennes et grandes entreprises, etc.
- c) Il convient de définir les unités de collecte (entreprises, établissements, unités commerciales), par exemple en suivant les suggestions présentées dans la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI Rév. 3).
- d) L'enquête doit permettre de recueillir des données sur au moins trois variables économiques : le chiffre d'affaires (par catégorie environnementale), l'emploi (par nombre de salariés) et les exportations.
- e) Le questionnaire doit expliquer en détail les raisons et les objectifs de l'enquête et indiquer comment compiler les renseignements demandés pour éviter les réponses inadaptées.
- f) Il convient d'évaluer le rapport entre les coûts et la couverture.
- g) Chaque fois que c'est possible, il convient d'établir des correspondances entre, d'une part, les définitions de l'industrie des biens et services environnementaux et les classifications connexes et, d'autre part, les nomenclatures nationales et/ou internationales détaillées des activités et produits.

L'approche axée sur la demande peut également aider à obtenir et à améliorer certaines données sur l'industrie des biens et services environnementaux. Elle offre

un aperçu de l'industrie par le biais des données concernant les dépenses de lutte antipollution et les autres dépenses liées à la protection de l'environnement. Dans de nombreux pays, les systèmes statistiques types sont mieux développés au niveau de la demande, si bien qu'ils offrent déjà une importante masse de données sur les dépenses d'environnement. Cette approche se fonde sur un système complet de comptes nationaux pour la demande de biens et services environnementaux (voir OCDE, 1993). Les Nations Unies ont proposé le système de comptabilité économique et environnementale intégrée à titre de dispositif satellite étroitement lié au cœur du Système de comptabilité nationale (SCN). Ce système est conçu pour mesurer les incidences des activités liées à l'environnement sur l'économie dans son ensemble.

A partir d'informations sur la demande (principalement des statistiques sur les dépenses de protection de l'environnement), il est en effet possible d'estimer des données sur l'offre de certains pans majeurs de l'industrie. On peut ainsi traiter les données sur les dépenses de lutte antipollution par l'application d'estimations techniques des structures de coûts types, par exemple en estimant la part de la construction et de l'installation d'équipements dans le total des dépenses d'investissement consacrées à l'environnement pour dégager des informations sur l'industrie des biens et services environnementaux. Ces ratios peuvent ensuite être appliqués au niveau des principales sous-catégories : stations d'épuration, réseaux d'égouts, installations de traitement des déchets solides, etc. Cette approche garantit la cohérence et fournit des informations sur la plupart des variables économiques de l'industrie dans son ensemble. Elle permet d'évaluer les activités secondaires et auxiliaires, elle supprime la nécessité d'identifier et d'estimer la part environnementale des produits polyvalents, et elle évite la double comptabilisation. Toutefois, l'interprétation des résultats dépend des postulats implicites retenus dans les estimations, qui risquent de fausser les données.

L'approche axée sur la demande peut être employée pour recueillir des données sur l'emploi du côté de l'offre. Pour ce faire, il faut tout d'abord convertir les dépenses en niveau de production intérieure, puis en emploi. L'estimation de la production intérieure (par opposition à la consommation intérieure) pose certaines difficultés du point de vue du calcul des exportations et importations. La seconde étape requiert des informations sur la productivité de la main-d'œuvre, d'où la nécessité de désagréger la production par secteur. La productivité moyenne relevée pour les grands agrégats par industrie peut être retenue comme valeur approximative pour l'industrie de l'environnement (voir également Blazejczak et Edler, 1997). Cette approche complète utilement les mesures de l'offre en validant les informations collectées et constitue par ailleurs une source de données importante pour l'évaluation des secteurs de l'industrie difficiles à capturer autrement (activités secondaires et auxiliaires, par exemple).

Les approches axées sur la demande permettent de prendre en compte toutes les dépenses en matière de biens et services de protection de l'environnement, quelle que soit la source, et d'exclure la production de biens et services qui ne relèvent pas de l'environnement, y compris lorsqu'ils sont fournis par des entreprises dont l'activité principale est la production de biens et services environnementaux. Bien qu'elles offrent généralement un moyen de mesurer de façon relativement directe les sommes consacrées à la protection de l'environnement, ces approches ne permettent pas forcément d'identifier avec précision les produits concernés. Quel que soit le type d'estimation retenu (offre ou demande), la mesure des activités auxiliaires peut poser des problèmes pratiques. En théorie, les deux types d'estimation doivent englober ces activités. Néanmoins, il peut arriver que l'estimation de la demande dépasse celle de l'offre, par exemple dans le cas d'une entreprise qui ne vend pas de biens et services de protection de l'environnement, mais en produit à titre d'activité auxiliaire une quantité significative à usage interne. C'est pourquoi il est souhaitable de séparer l'utilisation et la production de services auxiliaires des transactions impliquant la vente ou l'achat de biens et services de protection de l'environnement.

Une *approche intégrée offre/demande*, associant les données sur l'offre et sur la demande, combine les points forts et atténue les faiblesses des deux approches prises séparément. En effet, en combinant les données axées sur l'offre et sur la demande, il est possible d'obtenir un tableau plus cohérent du chiffre d'affaires et de l'emploi totaux de l'industrie de l'environnement. En outre, cette approche intégrée peut permettre d'évaluer l'incidence sur le chiffre d'affaires et l'emploi des technologies moins polluantes, ainsi que les effets indirects, en offrant une base saine aux estimations. L'intégration d'informations sur l'offre avec la dépense/demande de biens et services environnementaux permet d'obtenir une représentation globale de l'industrie de l'environnement, qui n'offre toutefois que très peu de détails et nécessite de nouvelles recherches approfondies. Il est possible de rendre cette approche intégrée offre/demande plus détaillée en recourant aux données sur les dépenses de protection de l'environnement et en intégrant les données disponibles sur l'offre avec les données techniques et les études de cas concernant tant l'offre que la demande (Pasurka et Steurer, 1995). Les résultats obtenus à partir des données de modélisation techniques sont plus complets et équilibrés, mais nécessitent davantage de temps et de travail. Le point fort de cette approche réside dans le fait qu'elle s'appuie sur des tableaux et techniques d'entrées-sorties. Elle permet ainsi de combler en grande partie les lacunes que présentent les données sur l'offre. Dans l'ensemble, cette approche est capable de produire une représentation complète de l'industrie, et notamment l'impact des technologies moins polluantes et l'importance des activités secondaires des entreprises.

En l'absence de données économiques sur l'offre ou sur la demande, on peut employer d'autres méthodes. Par exemple, il est possible d'obtenir des informations

sur le chiffre d'affaires par estimation, en combinant les données sur la production physique aux ratios de prix ou de coûts moyens. Cette approche ne peut s'appliquer qu'à la catégorie des services et, jusqu'à un certain point, aux équipements (par exemple, sur la base des données sur l'installation de nouvelles capacités d'épuration). En outre, les résultats sont généralement très approximatifs. D'autres sources d'informations peuvent être utilisées pour améliorer la qualité des données sur l'industrie de l'environnement. Ainsi, s'agissant de la R-D, on peut recourir aux données sur la production de la recherche, par exemple dans les index de citations scientifiques ou les registres des brevets. Les informations sur les aides publiques à la promotion de l'industrie et des exportations et sur les fusions et acquisitions doivent être recueillies ou estimées à partir de diverses autres enquêtes ou bases de données.

Autres sources. Certaines données peuvent être recueillies dans le cadre d'enquêtes statistiques régulières menées au moyen des classifications statistiques types qui recensent séparément certaines parties de l'industrie de l'environnement. Par exemple, certains services environnementaux comme le recyclage ou l'assainissement et l'enlèvement des ordures font l'objet de rubriques distinctes dans deux nomenclatures des Nations Unies – la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI) et la Classification centrale des produits (CPC) – qui sont peut-être utilisées pour la collecte régulière de données (voir OCDE et Eurostat, 1999, pour plus de détails). En outre, on peut repérer dans le Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises (SH) pour le commerce international des codes se rapportant à des biens environnementaux, même si cette classification exclut par ailleurs les services (voir OCDE, 1998, pour plus de détails).

De même, il est possible d'obtenir des informations sur les biens et services environnementaux en récupérant et en traitant certaines données des collections statistiques disponibles ou en ajoutant des questions spécifiques aux exercices existants de collecte de données. Ainsi, certains pays ont pu se procurer des informations sur des services environnementaux particuliers en insérant certaines questions dans des enquêtes relevant d'autres domaines. A titre d'exemple, dans le cadre d'une enquête sur le secteur des services juridiques, on peut demander aux répondants de ventiler leur chiffre d'affaires par source et prévoir une catégorie distincte pour le droit de l'environnement. Ce type de démarche constitue une solution raisonnable pour étudier rapidement et à peu de frais certaines parties de l'industrie de l'environnement, mais il ne permet pas d'obtenir une vue d'ensemble de l'industrie dans un cadre commun et sur une période de référence commune.

Les organismes qui recueillent régulièrement des informations liées à l'environnement dans le cadre de leur activité habituelle représentent d'autres sources possibles d'informations statistiques. C'est le cas des agences de protection de l'environnement, dont les programmes de surveillance et de réglementation

prévoient généralement la collecte de certaines données utiles. Pour leur part, les organismes publics chargés de l'emploi et de la formation peuvent obtenir des informations auprès des entreprises par le biais de divers programmes axés sur la création d'emplois dans le domaine de l'environnement. On peut également se procurer des renseignements dans les bases de données sur la recherche et à partir des projets d'aménagement en matière de gestion des déchets et de lutte contre la pollution. Par ailleurs, les associations professionnelles publient régulièrement des informations sur certains pans de l'industrie et, pour certaines, sur leurs adhérents. Ces données sont souvent très détaillées en ce qui concerne les paramètres physiques et comportent parfois des informations économiques (nombre de fournisseurs, chiffre d'affaires et effectifs). Toutefois, les données publiées par les associations professionnelles sont généralement très spécifiques à une catégorie.

VI. PRISE EN COMPTE DE LA PRODUCTION PLUS PROPRE

En règle générale, les technologies dites « moins polluantes » ou « propres » sont celles qui sont intégrées aux équipements ou aux produits dès leur conception, en vue de prévenir la pollution à la source plutôt que d'y porter remède a posteriori par l'adjonction d'un dispositif ad hoc. Le ralentissement de la croissance observé dans l'industrie des équipements traditionnels « en bout de chaîne », de même que l'intérêt porté à une démarche réglementaire plus intégrée en matière de protection de l'environnement, permettent de conclure à une importance croissante des technologies et produits moins polluants. Cependant, définir, identifier et mesurer les technologies intégrées ou moins polluantes s'est révélé être une tâche difficile. En effet, les technologies et produits moins polluants sont ainsi qualifiés par rapport aux technologies et produits « standard ». Dans une perspective dynamique, les technologies et produits moins polluants d'aujourd'hui seront donc les technologies et produits « standard » de demain. En outre, il reste à trancher la question concernant la part du chiffre d'affaires ou d'autres variables des technologies et produits moins polluants qu'il convient d'attribuer à l'industrie de la protection de l'environnement (par exemple, comment déterminer la part environnementale des véhicules plus propres ?).

Plusieurs méthodes pouvant servir à la prise en compte des technologies et produits moins polluants ont été recensées. Bien que relativement complètes et cohérentes par rapport à l'objectif de définition et d'évaluation des technologies et produits moins polluants, elles restent limitées ou sont encore en phase expérimentale. Ces méthodes sont les suivantes :

1. Mesure des *efforts de R-D, d'innovation et d'ingénierie* visant à améliorer les performances environnementales des technologies, procédés et produits.

Cette démarche doit se concentrer sur la *mesure de la R-D et des coûts d'innovation et d'ingénierie correspondants*. Il n'est pas toujours possible d'obtenir des données sur ces coûts, notamment dans le secteur des entreprises. Cependant, certaines enquêtes sur la R-D recueillent déjà ces données, puisque les répondants doivent faire état – en termes budgétaires et en emplois équivalents plein temps – des efforts de recherche, d'innovation et d'ingénierie entrepris spécifiquement dans le domaine de l'environnement.

2. *Mesure des efforts* visant à améliorer les performances environnementales par la mesure du coût supplémentaire des technologies et produits moins polluants. Cette approche considère les technologies et produits « moins polluants » qui, en termes de dépenses, sont *plus coûteux* que les technologies ou produits plus polluants équivalents. Ainsi, seuls les coûts supplémentaires sont considérés comme des dépenses de protection de l'environnement. Cette démarche requiert donc que l'on compare le prix du produit moins polluant à celui du produit qu'il remplace. Toutefois, du point de vue de l'offre, les technologies moins polluantes peuvent aussi être moins coûteuses.
3. *Création d'une liste des technologies et produits moins polluants*. Cette approche consiste à élaborer une liste exhaustive des technologies, procédés et produits spécialisés moins polluants. A titre d'exemple, le Ministère des finances des Pays-Bas a établi une liste des technologies propres qu'il met à jour chaque année et qui sert de base à la mise en œuvre d'un système d'incitations fiscales en faveur de l'investissement dans la production moins polluante. Cette approche pourrait être complétée par un *système de labels écologiques* dès lors que les procédures de labellisation correspondantes seront au point. Toutefois, à l'heure actuelle, plusieurs raisons font qu'un tel système n'est pas praticable : lenteur de l'identification des produits, difficultés pour définir des critères et méthodologies dépourvus de toute ambiguïté pour la procédure de labellisation, sous-représentation des produits des PME, etc. De même, on peut envisager la mesure des « segments de pointe des marchés ». En l'occurrence, il s'agit de mesurer la frange de chaque groupe de produits qui est « écologiquement à la pointe » du marché sur la base des normes actuelles. Par exemple, dans le domaine de la construction, cela reviendrait à estimer la part de marché des bâtiments à faible consommation d'énergie.
4. *Évaluation physique*. Cette approche consiste à mesurer et évaluer la réduction des émissions polluantes et déchets produits qui est à mettre au compte des technologies moins polluantes, et à lui attribuer une valeur économique (par exemple, les économies sur les coûts d'élimination).

VII. CONCLUSIONS

L'industrie des biens et services environnementaux revêt une importance grandissante pour la bonne tenue de l'économie et le développement durable dans les pays de l'OCDE, mais son évaluation et l'élaboration de politiques appropriées se heurtaient jusqu'à présent à l'absence d'une définition claire et de données recueillies à ce sujet. Afin de commencer à combler ces lacunes, le manuel OCDE/Eurostat propose une définition et une classification de l'industrie des biens et services environnementaux, décrit plusieurs méthodes de collecte des données et recommande les méthodes et approches les mieux adaptées pour l'analyse (OCDE et Eurostat, 1999). La définition et la classification présentées ont été conçues pour être aussi complètes, souples et opérationnelles que possible, de façon à permettre d'évaluer l'état actuel de l'industrie de l'environnement, mais également à tenir compte des évolutions structurelles futures, telles qu'un abandon des solutions en bout de chaîne au profit de technologies moins polluantes ou le développement de nouveaux services environnementaux. Il vise à fournir aux chercheurs et aux instituts nationaux de statistique un ensemble d'outils qu'ils peuvent facilement adapter au contexte particulier de leur pays : objectifs des pouvoirs publics, disponibilité des données, budgets de recherche et structure de l'industrie.

Cela étant, compte tenu de la complexité de l'évaluation statistique de l'industrie des biens et services environnementaux, le manuel ne constitue pas un ouvrage définitif et immuable. Les méthodes et les données disponibles ont un caractère incomplet et limité, et elles ne permettent pas toujours des comparaisons entre les pays. La prise en compte de certaines catégories de biens et services environnementaux, telles que les technologies et produits moins polluants, reste difficile ou laborieuse. A l'avenir, avec l'expérience acquise en matière de collecte de données, on devrait pouvoir trouver des solutions à ces problèmes. Ainsi, la mise en application de nouvelles nomenclatures des activités et produits industriels (dont le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord et la Classification centrale des produits des Nations Unies) est en cours, tandis que de nombreux pays (tels que l'Allemagne et la France) ont entrepris ou projettent de nouvelles opérations de grande ampleur de collecte de données sur l'industrie des biens et services environnementaux. Le manuel OCDE/Eurostat sera révisé lorsqu'il ressortira de l'expérience pratique que la définition, la classification ou les méthodologies sont dépassées ou ne sont plus opérationnelles.

Trois domaines statistiques méritent une attention approfondie : les technologies et produits moins polluants, les produits à usages multiples et le commerce international. La définition, l'identification et la mesure des technologies propres – celles qui sont intégrées aux procédés et aux produits – resteront émaillées de difficultés, mais la combinaison de diverses méthodes pourrait permettre des

mesures approximatives. Les produits à usages et finalités multiples, c'est-à-dire ceux qui peuvent être utilisés à des fins autres qu'environnementales (filtres, pompes, tuyaux, etc.), représentent selon les estimations une part considérable des ventes d'équipements et de biens environnementaux. La meilleure façon d'obtenir des informations à leur sujet consiste sans doute à étudier leur utilisation finale, sachant que les fournisseurs et les investisseurs en matière d'environnement ne sont pas toujours en mesure d'évaluer la part des ventes d'un produit qui est liée à la protection de l'environnement. Une autre méthode pour évaluer les produits à usages et finalités multiples passe par la mise en correspondance des résultats d'approches axées sur l'offre et sur la demande.

La mesure du commerce international de produits environnementaux n'est pas non plus chose aisée. Les enquêtes axées sur l'offre sont celles qui fournissent les informations les plus complètes sur les *exportations* de biens et services, mais la précision et le degré de détail des données disponibles restent limités. L'analyse des codes d'échanges sur la base des statistiques types du commerce extérieur fournit des indicateurs utiles sur le sens et l'évolution quantitative des importations et exportations par pays d'origine et de destination. Toutefois, cette approche ne prend pas en compte les flux de services, et elle sous-estime les flux commerciaux de biens car seul un petit nombre de codes de biens faisant l'objet d'échanges peuvent être identifiés comme revêtant un caractère spécifiquement environnemental. Ensemble, ces deux approches fournissent certes des informations utiles, mais les données font encore défaut pour les échanges de technologies et produits moins polluants et de produits à finalités multiples, ainsi que pour d'autres aspects importants de la mondialisation tels que l'investissement direct étranger ou encore le versement de droits de brevet et d'autres types de redevances sur la propriété intellectuelle pour l'utilisation d'équipements environnementaux.

BIBLIOGRAPHIE

- BLAZEJCZAK J. et D. EDLER (1997),
« Methodological Aspects of Environmental Labour Market Analysis », Discussion Paper
n° 147, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.
- COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (1997),
Communication de la Commission sur l'environnement et l'emploi, *Construire une Europe
« durable »*, COM(97)592final.
- DROUET, D. (RDI) (1997a), « Comments on the "Manual for Data Collection on the Environ-
ment Industry" », rapport préparé pour la DSTI/Division de l'industrie de l'OCDE.
- DROUET, D. (RDI) (1997b),
L'industrie de l'environnement en France, Armand Colin/Masson Éditeur, Paris.
- ECOTEC (1995),
Towards a World-Wide Classification Scheme for the Environmental Industry, ECOTEC, Birmingham,
Royaume-Uni.
- EUROSTAT (1994),
SERIEE Version 1994 (Système européen pour le rassemblement des informations éco-
nomiques sur l'environnement), Luxembourg.
- EUROSTAT (1997),
« An Estimate of Eco-Industries in the European Union – 1994 », Eurostat Working Paper
n° 2/1997/B/1, préparé pour la Commission européenne (DGXI et Eurostat) par ECOTEC,
BIPE Conseil et IFO, mars.
- NATIONS UNIES ET PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT (1999),
Comptabilité écologique et économique intégrée : manuel opérationnel, New York.
- OCDE (1992),
*L'industrie de l'environnement dans les pays de l'OCDE : situation, perspectives et politiques gouverne-
mentales*, OCDE, Paris.
- OCDE (1993),
Dépenses de lutte contre la pollution dans les pays de l'OCDE, OCDE, Paris.
- OCDE (1996a),
L'industrie mondiale des biens et services environnementaux, OCDE, Paris, <[http://oecd.org/dsti/
sti/industry/indcomp/prod/envblur.htm](http://oecd.org/dsti/sti/industry/indcomp/prod/envblur.htm)>.
- OCDE (1996b),
The Environment Industry – The Washington Meeting, OCDE, Paris, <[http://www.oecd.org/
bookshop/environment/](http://www.oecd.org/
bookshop/environment/)>.

- OCDE (1996c),
« Définition et classification intérimaires de l'industrie de l'environnement », OCDE/GD(96)117, OCDE, Paris, <<http://www.oecd.org/bookshop/environment/>>.
- OCDE (1998),
« Libéralisation des échanges de biens et services environnementaux : veiller à la protection de l'environnement comme à l'intérêt économique », COM/TD/ENV(98)37/FINAL, OCDE, Paris.
- OCDE et EUROSTAT (1999),
L'industrie des biens et services environnementaux : manuel de collecte et d'analyse des données, OCDE, Paris, <<http://www.oecd.org/bookshop/environment/>>.
- PASURKA, C. et A. STEURER (1995),
« Assessing the Environment Industry through Integration of Demand- and Supply-side Data », document présenté à la réunion du Groupe de travail informel OCDE/Eurostat sur l'industrie de l'environnement, Luxembourg, 26-27 avril 1995.
- STATISTIQUES CANADA (1999),
Industrie de l'environnement : secteur des entreprises, 1996 et 1997, Ottawa.
- US BUREAU OF THE CENSUS/US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY/US DEPARTMENT OF COMMERCE (1998),
Survey of Environmental Products and Services, Washington.

LES ACHATS PUBLICS DE TECHNOLOGIES RESPECTUEUSES DU CLIMAT

Table des matières

I. Introduction.....	162
II. Les achats publics écologiques.....	163
III. Les technologies respectueuses du climat.....	165
IV. Les obstacles aux achats publics écologiques.....	172
V. Le financement des achats de technologies.....	175
VI. Conclusions.....	178
Bibliographie.....	181

Le présent article est extrait d'une étude plus vaste réalisée par Sara Eppel, consultante, Paris, France, dans le cadre de l'Initiative Technologie et Climat lancée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

I. INTRODUCTION

Dans plusieurs pays de l'OCDE, l'administration publique est l'un des principaux agents économiques, voire le principal agent, puisqu'elle représente entre 10 et 25 % du PIB. Au Canada, par exemple, la facture énergétique annuelle du gouvernement fédéral dépasse les CAD 800 millions, avec 59 000 bâtiments et installations, et 25 000 véhicules qui coûtent CAD 21 millions et émettent 92 kilotonnes de CO₂, et le montant de ses achats annuels de biens et de services est supérieur à CAD 8 milliards. Un tel niveau d'achats publics n'est pas rare dans les pays de l'OCDE. Si les pouvoirs publics, en tant qu'acheteurs d'un vaste éventail de technologies, choisissaient systématiquement des technologies respectueuses du climat pour leurs propres bâtiments et véhicules, ils pourraient avoir une incidence décisive sur le marché des produits technologiques respectueux de l'environnement. Le présent article est extrait d'une étude plus vaste qui fait partie des travaux menés par les pays Membres dans le cadre de l'Initiative Technologie et Climat (ITC) sur le thème *Enhancing Markets for Climate Friendly Technologies* (Développer les marchés des technologies respectueuses du climat). L'ITC a pour but de promouvoir les objectifs de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) en encourageant la coopération internationale pour accélérer la mise au point et la diffusion de technologies et de pratiques respectueuses du climat dans tous les secteurs d'activité et pour tous les gaz à effet de serre.

Si les administrations publiques, qui détiennent une part de marché importante dans les pays de l'OCDE, avaient leurs achats sur les technologies respectueuses du climat, elles pourraient susciter un accroissement de la demande à l'égard de ces produits, et permettre aux fabricants de technologies de passer à la production en grande série. Pour certaines technologies, le coût d'investissement plus élevé qu'exigent les produits respectueux du climat par rapport à ceux qui consomment davantage d'énergie constitue un obstacle majeur à leur utilisation à plus grande échelle. La production en grande série entraînerait une baisse des coûts de fabrication et par conséquent du prix des produits, ce qui améliorerait les chances de voir se diffuser plus largement ces technologies.

Ces dernières années, les pouvoirs publics des pays de l'OCDE ont pris conscience de l'importance d'agir au niveau de leur propre patrimoine de façon à donner l'exemple à l'industrie, au commerce et à l'ensemble des citoyens. Le chapitre 4 d'Action 21, par exemple, met l'accent sur le rôle important que les achats

publics peuvent jouer dans la solution du problème plus vaste que posent les modes de consommation et de production non durables, dont le changement climatique constitue l'un des aspects. C'est ainsi qu'en 1996, les pays Membres de l'OCDE sont convenus d'améliorer les performances environnementales de leurs administrations en donnant l'exemple notamment dans le domaine de la passation des marchés publics (OCDE, 1996). Les gouvernements des pays de l'OCDE ont pris conscience que leurs décisions d'achat non seulement exercent une incidence directe sur le marché en termes de niveau de ventes, mais aussi envoient en direction des autres parties prenantes des signaux concernant leurs objectifs énergétiques et environnementaux. Ils reconnaissent qu'il est difficile de prôner un comportement responsable en matière de protection de l'environnement s'ils ne s'appliquent pas les mêmes exigences à eux-mêmes.

II. LES ACHATS PUBLICS ÉCOLOGIQUES

Dans bien des cas, les stratégies d'achats des pouvoirs publics sont motivées par la volonté non pas de développer les marchés des technologies respectueuses du climat, mais de réaliser des économies sur le plan financier et d'atteindre leurs objectifs environnementaux sur le plan national et international. Ces objectifs environnementaux peuvent découler de la nécessité de respecter les prescriptions de la CCNUCC qui encourage les programmes gouvernementaux de réduction des émissions nationales de CO₂. Les actions visant à réduire la consommation d'énergie du patrimoine public font partie du programme mis en œuvre à l'échelon national pour respecter ces engagements environnementaux internationaux. En outre, à un niveau plus général, les politiques d'achats publics peuvent aussi s'inscrire dans une stratégie globale de développement durable découlant des engagements pris au Sommet « Planète Terre » tenu à Rio en 1992.

Toutefois, les déclarations des gouvernements sur l'importance d'atteindre ces objectifs environnementaux ne sont généralement pas assorties d'engagements concernant l'utilisation de technologies respectueuses du climat. Ces technologies englobent à la fois les technologies qui utilisent rationnellement l'énergie et réduisent donc au minimum les émissions de CO₂, les technologies qui mettent en œuvre des énergies renouvelables, ou encore les technologies de production propre à haut rendement. A court ou moyen terme, les énergies renouvelables peuvent aider à diversifier les approvisionnements énergétiques dans le monde, mais il est peu probable qu'elles puissent assurer une part importante de l'ensemble de ces approvisionnements. Pourtant, nombreux sont ceux qui considèrent que l'accroissement de la part des technologies des énergies renouvelables et de production propre dans la consommation énergétique globale est l'un des principaux changements requis pour progresser vers le développement durable.

En matière d'achats publics, les choix portent aussi bien sur l'acquisition d'une chaudière pour assurer le chauffage et l'alimentation en eau chaude d'un immeuble neuf ou rénové que sur l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'éclairage d'un bâtiment, sur le renouvellement des ordinateurs dans un bureau ou sur le remplacement des machines à laver d'une maison de santé. Ces choix sont influencés par plusieurs facteurs :

- Le *coût* (facteur généralement prépondérant). La décision sera fonction non seulement du coût d'investissement, mais aussi du coût de fonctionnement.
- La *disponibilité des technologies*. La connaissance des technologies disponibles et de leurs modalités d'installation et de maintenance fait partie des éléments qui joueront sur la décision.
- Les *performances de la technologie*. Le choix dépendra de la capacité de la technologie à répondre aux besoins des utilisateurs et à réduire les coûts de fonctionnement, ainsi que de sa facilité de maintenance.
- La *perception du risque* lié à l'achat d'une technologie qui n'a pas véritablement fait ses preuves dans les applications auxquelles elle était destinée.

La plupart des pays de l'OCDE ont mis en œuvre au fil des années des programmes visant à encourager à l'échelle nationale la mise au point et l'utilisation des technologies faisant appel aux énergies renouvelables ou d'une bonne efficacité énergétique. Pour stimuler leur diffusion, les pouvoirs publics ont appuyé des dispositifs aussi divers que des projets de recherche et développement, des subventions, des allègements fiscaux, des systèmes de remises, ou des programmes d'information. Par ces dispositifs, ils ont cherché à :

- Renforcer les moyens techniques dont dispose le secteur des énergies renouvelables pour réaliser des progrès techniques concluants.
- Développer le secteur des énergies renouvelables de façon à lui conférer viabilité et compétitivité sur le marché.
- Se doter d'un secteur producteur de technologies solide et compétitif sur le marché international des technologies.
- Contribuer à atteindre les objectifs environnementaux nationaux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre et à assurer un approvisionnement durable en énergie.
- Respecter les normes environnementales concernant notamment les polluants classiques en réduisant en même temps les émissions de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote et de particules, améliorer la qualité de l'eau, etc.

Les pouvoirs publics reconnaissent de plus en plus que la diffusion des technologies respectueuses du climat, notamment de celles utilisant les énergies renouvelables, est indispensable pour atteindre leurs objectifs environnementaux en matière de limitation des émissions de gaz à effet de serre et progresser dans

le sens d'une économie durable du point de vue de la consommation d'énergie. Il subsiste toutefois un grand nombre d'obstacles, notamment financiers et institutionnels, qui freinent le développement des achats publics écologiques.

III. LES TECHNOLOGIES RESPECTUEUSES DU CLIMAT

Les technologies respectueuses du climat sont celles qui permettent de réduire la consommation d'énergie ou de convertir des énergies renouvelables en chaleur ou en électricité et par conséquent de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, en particulier de dioxyde de carbone (CO₂), le plus important d'entre eux. Pour ce qui est des pouvoirs publics, la réduction de la consommation d'énergie concerne notamment les bâtiments de l'administration et les équipements de ses bureaux, l'habitat social, les écoles et les établissements d'enseignement supérieur, les postes de police et d'incendie, les établissements pénitentiaires et les centres d'éducation surveillée, les hôpitaux et les maisons de santé, ainsi que les sites militaires. La question de la consommation d'énergie se pose aussi lors du choix des carburants pour le parc automobile des administrations ou du secteur public (notamment de services publics comme le service postal) et pour les autobus.

Bâtiments

Dans les bâtiments, les économies d'énergie les plus importantes peuvent résulter d'une amélioration du rendement énergétique d'une chaudière ou d'un système de chauffage. Il existe donc une multiplicité d'utilisations possibles des technologies qui permettent de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment et donc ses émissions de gaz à effet de serre. A l'heure actuelle, les principaux moyens de chauffage sont les chaudières, les appareils de chauffage de l'air, les appareils de chauffage par rayonnement, les radiateurs électriques à accumulation ou non, et les appareils de chauffage d'ambiance. Parmi les technologies plus récentes, on peut citer les chaudières à condensation, les appareils de chauffage au gaz ou au mazout, les réchauffeurs d'air, les pompes à chaleur, les microcentrales de production combinée de chaleur et d'électricité, et les systèmes de chauffage solaire. Toutes ces technologies (à l'exception des appareils de chauffage de l'air) servent également à fournir de l'eau chaude sanitaire, dont la production est assurée par un même appareil ou au moyen d'un système distinct.

L'énergie solaire peut être un moyen efficace de répondre à l'ensemble des besoins énergétiques d'un bâtiment, en fournissant de l'électricité pour les appareils électroménagers, l'éclairage, le chauffage et la climatisation. Deux technologies solaires ont atteint le stade de la maturité et sont largement utilisées dans certains pays : le photovoltaïque et le solaire thermique. L'un comme l'autre conviennent particulièrement bien aux applications à petite échelle dans lesquelles ils présentent

un avantage esthétique et pratique en raison du faible encombrement des équipements nécessaires et de leur intégration possible dans l'enveloppe du bâtiment (toit ou murs). Mis en œuvre actuellement dans toutes les conditions climatiques rencontrées dans les pays de l'OCDE, le photovoltaïque et le solaire thermique sont largement utilisés dans des pays à fort ensoleillement (Grèce et Australie) comme à ensoleillement moindre (Autriche et Norvège) où ils servent à la production d'eau chaude sanitaire ou au chauffage des piscines.

Dans les applications à petite échelle telles que dans les bâtiments des administrations publiques, le solaire thermique utilise des composants permettant de capter le rayonnement solaire pour satisfaire les besoins de chaleur et assurer notamment le chauffage des locaux ou la production d'eau chaude sanitaire. Il existe tout un éventail de systèmes pouvant être utilisés dans les bâtiments, mais les plus pratiques pour les applications à petite échelle sont les panneaux solaires qui sont relativement bon marché et peuvent être installés sur le toit ou les murs. Comme le rayonnement solaire varie selon les saisons, la plupart de ces systèmes comportent également des dispositifs de stockage de la chaleur ou de chauffage d'appoint.

Le photovoltaïque produit une forme souple d'énergie qui peut être intégrée à d'autres sources d'électricité par l'intermédiaire de réseaux locaux, régionaux ou nationaux. Il est aussi exploité avec succès dans des installations autonomes pour l'électrification de zones isolées où il se révèle plus économique qu'un raccordement au réseau. Le photovoltaïque met en œuvre des photopiles ou cellules qui sont constituées de matériaux semi-conducteurs transformant directement la lumière du rayonnement solaire en énergie électrique. Les cellules sont connectées entre elles puis encapsulées pour former des modules qui sont eux-mêmes assemblés en panneaux dont la taille peut être adaptée aux besoins. Les panneaux photovoltaïques se prêtent particulièrement bien aux installations sur les toits qui constituent probablement la solution la plus pratique pour les bâtiments publics.

L'intérêt économique du photovoltaïque dépend beaucoup du site. Les sites isolés sont ceux où il apparaît le plus rentable actuellement, en raison du coût élevé du raccordement au réseau. C'est ainsi qu'il est très largement utilisé dans les zones isolées des pays en développement pour l'éclairage, la réfrigération et l'alimentation des radios et télévisions. Dans les pays de l'OCDE, il est mis en œuvre aussi bien dans des applications individuelles ou raccordées au réseau en milieu urbain, que dans des zones non raccordées au réseau.

Une autre solution de chauffage est la production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération) c'est-à-dire la production et l'utilisation simultanées d'une énergie de grande qualité (mécanique et/ou électrique) et d'une énergie de faible qualité (thermique) à partir de la même source d'énergie. L'un des principaux avantages de la cogénération réside dans les importantes économies de combustible

qu'elle permet de réaliser par rapport à la solution traditionnelle qui consiste à produire par des systèmes séparés de la chaleur (chaudière) et de l'électricité (centrale thermique classique). Une installation de cogénération peut être considérée comme un générateur électrique équipé d'un système de récupération de la chaleur ; ce générateur peut être actionné par des moteurs thermiques alimentés par différents types de combustibles. Ces moteurs, qui sont généralement disponibles en différentes dimensions, conviennent aussi bien aux petits bâtiments consommant la totalité de l'énergie produite qu'aux réseaux de chauffage urbain où l'électricité est injectée dans le réseau. Au Royaume-Uni, par exemple, les centrales de production d'électricité classiques ont un rendement de conversion d'environ 35 %, 65 % de l'apport en énergie primaire étant donc rejetée sous forme de chaleur de faible qualité. La cogénération, qui au contraire utilise la chaleur produite, fournit un rendement global de 65 à 85 %, et en cas de consommation locale, les pertes de transport et de distribution restent négligeables. La cogénération trouve son efficacité maximale lorsqu'elle est installée au stade de la construction ; une conversion ultérieure peut en effet considérablement réduire le rendement d'une installation. En outre, la distance qui sépare l'installation de cogénération et les bâtiments qu'elle alimente en chaleur et en électricité conditionne le rendement global. Il est indispensable de calorifuger les conduites pour réduire au minimum les pertes de chaleur. Si l'installation est éloignée des bâtiments desservis, son rendement risque d'être pratiquement équivalent à celui d'une centrale électrique classique.

La climatisation peut être une source importante de consommation d'énergie. Il existe trois grands types de systèmes de climatisation, assortis de multiples variantes : des systèmes centralisés où air chaud et air frais sont produits dans un local technique central et transportés par des conduites dans les différentes pièces du bâtiment ; des systèmes air/eau partiellement centralisés où de l'air refroidi ou chauffé au niveau central subit un réchauffement ou un refroidissement supplémentaire à l'entrée des pièces ; et des systèmes autonomes où toutes les opérations s'effectuent localement. Des variantes et des combinaisons de ces systèmes peuvent être utilisées pour chaque application, ainsi qu'une diversité de composants. Parallèlement à la climatisation intégrale, il existe une autre solution faisant appel à un système « mixte », où une partie du refroidissement de l'air est assurée par la ventilation naturelle. On peut donc déclencher ces divers systèmes à des moments différents en fonction des variations des températures intérieures et extérieures, ce qui évite un gaspillage d'énergie.

Dans certaines conditions climatiques, les pompes à chaleur peuvent être intéressantes pour les bâtiments publics de l'administration centrale ou des collectivités locales, qui nécessitent souvent d'être climatisés en été et chauffés en hiver. Les pompes réversibles sont conçues pour répondre à ces besoins. Des locaux d'une grande superficie permettent de mettre en œuvre toute une gamme de technologies

diversifiées, ce qui réduit le prix du kilowatt installé. Le principal obstacle à l'utilisation des pompes à chaleur semble être leur coût d'investissement initial, qui peut être 1.5 à 5 fois supérieur à celui d'un appareil de chauffage au gaz ou au mazout de même capacité, la différence de prix par rapport au chauffage par résistance étant encore plus marquée. Pour l'heure, le bas niveau des prix du pétrole et du gaz défavorise encore plus les pompes à chaleur par rapport aux systèmes qui utilisent des combustibles fossiles. Toutefois, si l'on veut installer un système de climatisation, la différence de coût est moindre et, dans les bâtiments neufs, où l'on prend en compte le coût total de la climatisation, du chauffage des locaux et de la production d'eau chaude sanitaire, les pompes à chaleur se révéleront plus intéressantes.

Les fenêtres offrent une autre occasion d'économiser l'énergie. On considère en général que les vitrages sont une source importante de déperdition de chaleur. Pour lutter contre ces pertes thermiques, les occupants utilisent davantage d'énergie pour chauffer le bâtiment. Des vitrages à haut rendement équipant des châssis de fenêtre bien hermétiques constituent des technologies respectueuses du climat car ils contribuent à réduire au minimum les pertes thermiques et préservent la chaleur intérieure du bâtiment, ce qui rend moins nécessaire d'augmenter la puissance du chauffage et par conséquent réduit les émissions de gaz à effet de serre.

Les performances thermiques des fenêtres sont mesurées par le coefficient de transfert de chaleur (valeur U), calculé à l'aide de l'équation $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Plus ce coefficient est bas, plus les performances thermiques sont élevées, et plus les pertes de chaleur sont faibles. Il existe plusieurs moyens d'améliorer les performances thermiques des fenêtres tels que les double ou triple vitrages, les vitrages sous vide, etc., ainsi que toute une gamme de matériaux isolants transparents (quoique certains d'entre eux n'offrent qu'une médiocre transmission lumineuse). S'ils sont convenablement posés, ces différents types de fenêtres réduisent la condensation et les infiltrations d'air et améliorent l'isolation acoustique par rapport au vitrage simple, selon la taille de l'espacement entre les vitrages. Les performances thermiques du châssis de la fenêtre sont également très importantes pour optimiser le rendement global. Un cadre insuffisamment hermétique laissera passer l'air et quelle que soit la qualité du vitrage, le rendement global de la fenêtre s'en trouvera considérablement réduit. Si le châssis est bien étanche, fait dans un matériau durable et fiable, le coefficient de transfert de chaleur du châssis peut être supérieur à celui du vitrage.

L'éclairage des bâtiments consomme beaucoup d'énergie et les possibilités d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ sont nombreuses. Beaucoup de pays de l'OCDE ont diminué leur consommation d'électricité en remplaçant des lampes d'un rendement médiocre par des lampes à haut rendement. Néanmoins, les fabricants ont continué de réaliser des progrès dans le domaine de

l'éclairage et les pouvoirs publics auraient intérêt à revoir leurs systèmes d'éclairage pour déterminer les possibilités d'économies supplémentaires. Dans bien des cas où des lampes d'un bon rendement ont été installées, il est encore possible de réduire la consommation d'électricité notamment par l'utilisation de détecteurs de mouvement, de minuteries et de variateurs d'éclairage. Plusieurs types d'appareils d'éclairage sont disponibles et commercialisés à grande échelle : les lampes à incandescence, les lampes halogènes au tungstène (qui permettent 30 à 35 % d'économies par rapport aux lampes à incandescence), les lampes tubulaires à fluorescence qui émettent trois à cinq fois plus de lumière et beaucoup moins de chaleur que les lampes à incandescence, les lampes fluocompactes économes en énergie et beaucoup plus petites que les lampes fluorescentes classiques, les lampes à induction, et les lampes à décharge à haute intensité.

Équipements de bureau

Les services des administrations centrales et locales utilisent un nombre croissant d'équipements de bureau. Dans beaucoup de pays, les équipements de bureau (ordinateurs, imprimantes, photocopieurs, scanners de documents, télécopieurs) représentent la part de la demande d'électricité qui augmente le plus rapidement dans le secteur commercial. Dans les pays de l'OCDE, les équipements de bureau consomment près de 80 terawatt-heures/an d'électricité et, en 1995, ils ont représenté près de 30 millions de tonnes du CO₂ émis. Les ordinateurs représentent à eux seuls entre 5 et 20 % de la consommation énergétique commerciale, et ce chiffre devrait doubler en l'an 2000. On estime que les équipements de bureau consomment entre 15 et 30 % environ de l'électricité totale d'un bâtiment. Face à la part substantielle, et en expansion rapide, de ces équipements dans la consommation totale d'énergie, il convient de recourir davantage dans l'ensemble de la zone de l'OCDE aux mesures permettant de réduire l'intensité énergétique de ces équipements. Toute stratégie des pouvoirs publics visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre doit prévoir un bilan énergétique des équipements de bureau. L'achat par le secteur public d'équipements économes en énergie améliorerait considérablement le marché de ces produits et encouragerait l'adoption systématique de ce type d'équipements dans le secteur public comme dans le secteur privé.

Les normes et labels d'efficacité énergétique sont deux moyens prometteurs de réduire la consommation électrique des appareils. Dans le cas du matériel de bureau, les normes de consommation d'énergie des équipements sont généralement adoptées à l'échelle mondiale car le marché de ce type d'équipements est international. En outre, le marché accepte aisément une amélioration des normes de performances de ces équipements car nombre de leurs caractéristiques ont déjà évolué à un rythme accéléré et continuent de le faire. Compte tenu de l'énorme marché que représentent les équipements de bureau à l'échelle mondiale,

les possibilités d'accroître la part des modèles les plus efficaces sont à l'évidence considérables.

Pour améliorer l'efficacité énergétique des photocopieurs, il existe plusieurs possibilités faciles à mettre en œuvre telles que l'utilisation d'appareils qui s'éteignent automatiquement en dehors des heures de bureau, qui se mettent automatiquement en veille lorsqu'on ne s'en sert pas (tout en redémarrant rapidement), et dont le mode par défaut est toujours, sauf pour les petits appareils, la réalisation de photocopies recto verso de façon pratique, fiable et rapide. Des économies substantielles d'énergie peuvent être réalisées grâce à d'autres perfectionnements tels que le mode veille à faible consommation d'énergie mais à redémarrage rapide, ou un dispositif d'alimentation modulaire, de nouvelles fonctions comme la scannérisation automatique de l'original pour réaliser des photocopies recto-verso, l'emploi des nouvelles technologies d'imagerie et d'imprimerie, et l'utilisation d'interrupteurs extérieurs « intelligents » ou de détecteurs de présence pour mettre hors tension un appareil après une certaine période de non-utilisation. L'une des principales mesures d'économies d'énergie pour les équipements de bureau consiste à éteindre les appareils pendant la nuit et les jours de congé. Un grand nombre d'appareils sont laissés sous tension, parfois parce que les utilisateurs pensent, à tort, que cela améliore le rendement dudit appareil, mais souvent par simple négligence.

Les unités centrales et les moniteurs consomment plus d'un quart de l'électricité totale utilisée par les équipements de bureau. Le principal progrès accompli en matière d'économie d'énergie dans ce domaine réside dans l'utilisation de dispositifs de ralentissement ou de désactivation après un certain temps d'inactivité dont la durée est définie par l'utilisateur. Le programme américain *Energy Star*, qui fixe des objectifs d'efficacité pour les ordinateurs, est probablement le programme le plus élaboré en la matière. Il a vu le jour en raison des problèmes que la disparité des normes entre États posait aux fabricants d'ordinateurs et de la confusion qui en découlait. Ce programme est le fruit d'un partenariat volontaire entre l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis et les fabricants. Selon les spécifications en vigueur depuis 1995, les unités centrales, les moniteurs et les imprimantes dont le rendement est inférieur ou égal à 14 pages la minute ne doivent pas consommer plus de 30 W en mode veille et les grosses imprimantes couleur pas plus de 45 W.

Les administrations publiques au sens large utilisent beaucoup d'appareils « électroménagers ». Les hôpitaux, les maisons de santé, les établissements pénitenciers, les centres d'éducation surveillée, les logements sociaux dans certains pays, les sites militaires et les établissements de formation continue s'équipent tous en appareils électroménagers sur les fonds de l'État. Des appareils tels que des réfrigérateurs, des lave-linge et des sèche-linge sont régulièrement achetés et ils peuvent représenter une part importante de la consommation d'électricité d'un

bâtiment. Au Royaume-Uni, par exemple, ils interviennent à concurrence de 13 % dans la consommation énergétique totale et de 54 % dans la consommation d'électricité du secteur résidentiel.

En règle générale, la consommation d'électricité des appareils électroménagers n'est pas un aspect dont les administrations publiques se préoccupent véritablement lors de leurs achats. Dans le secteur résidentiel aussi bien que commercial, elles attachent habituellement davantage d'importance à des caractéristiques comme le bruit, les dimensions et la vitesse (dans le cas des lave-linge et sèche-linge). Comme la majorité de leurs clients n'exigent pas des appareils économes en électricité, les fabricants ne sont guère incités à faire beaucoup d'efforts pour produire ce type d'appareils, notamment si ceux-ci sont plus coûteux et risquent donc de n'intéresser qu'un nombre limité de consommateurs. S'ils prenaient véritablement en compte les caractéristiques d'efficacité énergétique des appareils proposés sur le marché, les responsables des achats publics pourraient choisir les produits les plus efficaces, qui ne sont pas nécessairement les plus onéreux et dont le coût de fonctionnement, la consommation d'électricité et par conséquent les émissions de CO₂, principal gaz à effet de serre, sont assurément les plus faibles.

Véhicules

Les émissions de CO₂ imputables aux véhicules sont celles qui ont augmenté le plus rapidement de toutes au cours de ces dix dernières années et elles sont appelées à continuer de s'accroître. Certaines collectivités locales ont remplacé l'essence par des carburants de substitution pour leur propre parc automobile. En plus d'encourager l'utilisation de véhicules fonctionnant aux carburants de substitution, les administrations publiques peuvent jouer un rôle décisif en incitant à améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble de leur parc automobile, quel que soit le carburant consommé. Conscientes des possibilités d'amélioration dans ce domaine, les administrations de nombre de pays de l'OCDE ont mis en œuvre des mesures visant à former leurs chauffeurs à un mode de conduite économe en carburant, à organiser leurs activités de façon à limiter au minimum l'utilisation des véhicules, et à améliorer l'entretien du parc de façon à réduire la pollution. Certains gouvernements comme celui du Canada et du Japon ont considérablement réduit leur parc de voitures officielles dans le cadre de la prise en compte des préoccupations environnementales dans les activités des pouvoirs publics. La climatisation des véhicules constitue un autre aspect dont les administrations publiques doivent tenir compte dans leurs achats. La quantité de carburant consommée par un véhicule augmente avec la mise en marche de la climatisation ; lors de l'achat ou de la location de véhicules, les responsables doivent donc prendre dûment en considération la véritable utilité de cet équipement par rapport à ses effets environnementaux et à l'accroissement de la consommation de carburant et des coûts qu'il entraîne.

IV. LES OBSTACLES AUX ACHATS PUBLICS ÉCOLOGIQUES

Parmi les principaux freins au développement des achats publics écologiques figurent des facteurs de coût, des obstacles institutionnels et un déficit d'information. Comme les technologies respectueuses du climat demeurent, dans bien des cas, un achat qui nécessite un investissement plus important que les solutions de remplacement plus polluantes, leur marché reste limité. Tant que celui-ci ne se développe pas, il n'est pas possible en règle générale de produire ces technologies à grande échelle, ce qui empêche de réaliser des économies d'échelle et de baisser les prix. Dès que les entreprises qui assurent une production limitée se développeront, l'accroissement de la demande et des ventes se traduira par une baisse des coûts de production et de commercialisation, ces derniers représentant une part importante du prix d'achat actuel de ces technologies.

Nombre d'énergies renouvelables ne sont pas actuellement compétitives en termes de coût par rapport au gaz naturel ou à d'autres combustibles fossiles. Dans beaucoup de pays, les prix actuels de l'électricité ne reflètent pas les coûts réels à long terme de sa fourniture. Si le coût de facteurs externes comme les effets sur l'environnement ou les mesures liées à la sécurité énergétique pouvait être intégré de façon fiable au coût des infrastructures énergétiques, les technologies faisant appel aux énergies renouvelables deviendraient plus compétitives sur le plan des coûts. Cette problématique se retrouve au centre des décisions prises par les responsables des achats publics lorsqu'ils envisagent de remplacer des technologies. Le *coût d'investissement* nécessité par des technologies fonctionnant aux combustibles fossiles à haut rendement peut être plus élevé que celui de solutions de remplacement d'un rendement inférieur, et compte tenu du coût relativement bas des combustibles fossiles, des comparaisons, du point de vue du coût initial, entre les diverses options envisageables peuvent conduire les acheteurs à acquérir des technologies d'une faible efficacité. Toutefois, si l'on évalue le coût du système sur l'ensemble de son cycle de vie, c'est-à-dire en tenant compte aussi de son coût de fonctionnement moins élevé, nombre de technologies respectueuses du climat peuvent être d'un meilleur rapport coût-efficacité que les technologies existantes. Certaines technologies ont cependant conquis un créneau et sont devenues dans certains cas compétitives du point de vue du coût. C'est le cas, par exemple, du photovoltaïque pour les sites isolés car il est moins coûteux qu'un raccordement au réseau ou qu'une installation autonome classique.

De surcroît, les avantages environnementaux nationaux découlant de l'emploi de ce type de technologie ne sont portés au crédit ni de l'acheteur ni de l'utilisateur. Tant que la puissance publique ne reconnaît pas aux utilisateurs le mérite d'avoir choisi une technologie respectueuse du climat pour ses effets bénéfiques pour l'environnement, les acheteurs continueront de n'en percevoir que le coût d'investissement plus élevé. Il faut donc instaurer un moyen de « récompenser »

ou tout au moins de rembourser l'acheteur, de façon à établir des conditions de concurrence équitables pour les technologies respectueuses de l'environnement.

Certaines dispositions institutionnelles peuvent décourager les pouvoirs publics d'acquérir des technologies respectueuses du climat. Il est en effet difficile de trouver des formules offrant un bon rapport coût-efficacité qui seraient susceptibles de résoudre le problème du coût initial élevé et permettraient aux pouvoirs publics d'acheter ces technologies. Parmi ces obstacles, on peut citer :

- Les *intérêts institutionnels*. Même si des technologies d'une bonne efficacité énergétique peuvent nécessiter un coût d'investissement plus élevé, elles sont aussi nettement moins coûteuses du point de vue du fonctionnement qu'une technologie classique. Or, cette possibilité d'économie n'est pas prise en compte dans beaucoup d'administrations publiques où la structure du budget est telle que toute économie au niveau des frais de fonctionnement bénéficiera, non au service administratif qui fait l'acquisition de l'équipement, mais à une société de location immobilière ou à un service de travaux publics. Un service doit donc dépenser davantage pour couvrir le coût d'investissement de la technologie, alors que c'est un autre service qui bénéficie des économies d'énergie et de frais de fonctionnement.
- La *structure du budget*. La structure du budget de certaines administrations publiques décourage les services de grouper leurs commandes de technologies. Des économies substantielles pourraient être réalisées si l'administration centrale et les administrations locales pouvaient former des groupements d'achat pour effectuer des achats en grandes quantités de produits précis, et par conséquent obtenir des remises auprès des fabricants. En outre, les commandes groupées passées par un groupe d'organisations qui garantit l'achat d'un produit pendant plusieurs années procurent aux fabricants une certaine sécurité car ils savent d'où émanera une partie de la demande vis-à-vis de leurs produits pendant cette période.
- Les *dispositions en matière de location*. Les dispositions en matière de location immobilière imposent en règle générale de renégocier le contrat de location lorsque des modifications sont apportées aux modes de consommation de l'énergie, et d'obtenir pour ce faire l'accord des particuliers locataires dans ces immeubles, ce qui risque d'être difficile. En outre, les frais de gestion des locaux sont parfois calculés en pourcentage des coûts, ce qui n'incite guère les ministères et les services à réduire leurs frais de fonctionnement.
- Les *contraintes financières*. Dans beaucoup d'administrations centrales ou locales, ce sont les préoccupations financières à court terme qui prévalent : un contrat peut être attribué au moins disant, sans tenir compte de paramètres importants comme les économies à long terme et les effets environnementaux.

Un autre obstacle concerne le déficit d'information des pouvoirs publics. Les responsables des achats dans les administrations publiques, tout comme les autres acheteurs de technologies, prennent leurs décisions sur la base d'informations concernant, par exemple, l'efficacité de la technologie par rapport à leurs besoins, son coût d'investissement et son coût de fonctionnement, sa facilité d'emploi, et la qualité de la maintenance et du service après-vente une fois installée. Or, il est parfois très difficile d'obtenir des informations comparables pour tous ces critères dans le cas de technologies qui ne sont pas largement disponibles sur le marché.

Dans beaucoup de pays, les acheteurs n'ont pas facilement accès à l'information sur les technologies respectueuses du climat. Ils choisissent donc la solution de facilité, laissant ainsi passer l'occasion de réduire davantage leurs émissions de gaz à effet de serre. Un moyen efficace de leur permettre d'effectuer des choix solidement étayés consisterait à assurer aux responsables des achats dans les administrations publiques une formation appropriée destinée à les informer périodiquement des technologies respectueuses du climat nouvellement mises sur le marché. L'information des techniciens (chauffagistes, électriciens, plombiers, etc.) peut aussi contribuer notablement à les sensibiliser aux caractéristiques des technologies respectueuses du climat et à leurs avantages du point de vue de la protection de l'environnement et des économies d'énergie, et les inciter à les considérer comme des solutions viables pour remplacer les appareils traditionnels.

Les entreprises de service public influent sensiblement sur le choix technologique des acheteurs, et leurs actions de promotion en faveur d'une technologie respectueuse du climat peuvent avoir une incidence décisive pour assurer le succès de cette technologie. Ces entreprises disposent d'un marché captif de clients auxquels elles envoient, en même temps que leur facture, des notices et prospectus promotionnels, entre autres, sur les systèmes de chauffage des locaux ou d'eau chaude sanitaire. Leurs actions en faveur des technologies ne portant pas atteinte au climat se sont révélées particulièrement efficaces lorsque ces entreprises ont adopté des mesures de régulation de la demande et ont incité les clients à acheter des produits comme des ampoules électriques économes en énergie.

Les acheteurs peuvent aussi choisir un nouveau produit fabriqué par une entreprise qu'ils connaissent bien, dont les services les satisfont, et dont les produits ne sont pas notablement plus coûteux que ceux de son concurrent le plus proche. S'ils ont besoin d'une nouvelle chaudière, ils choisiront un modèle plus récent qui a toutes les chances d'avoir un meilleur rendement que le modèle remplacé, mais ils n'étudieront probablement pas des solutions plus novatrices telles qu'une installation de cogénération, une pompe à chaleur, une chaudière à condensation, une chaudière plus petite conjuguée à une amélioration de l'isolation thermique et de l'étanchéité à l'air du bâtiment, ou des panneaux solaires pour couvrir une partie de leurs besoins de chauffage.

Même une fois surmonté l'obstacle de l'information, les acheteurs peuvent hésiter à investir dans des technologies dont les avantages et les coûts de fonctionnement ne sont pas encore bien établis. Ils ne sont pas prêts, on le comprend, à prendre le risque d'acquérir des technologies susceptibles de ne pas répondre aux besoins des usagers, de tomber en panne, de coûter plus cher à entretenir que prévu, et enfin de devenir rapidement obsolètes. Pour les responsables des achats publics, ce risque se trouve augmenté du fait que ce sont les deniers publics qu'ils dépensent. Leur prudence peut être motivée par la crainte d'une panne technologique (notamment s'agissant des technologies des énergies renouvelables qui sont considérées comme des technologies non éprouvées) et par les critiques qui pourraient être adressées aux pouvoirs publics pour avoir dépensé l'argent des contribuables sur des technologies inefficaces. Or, dans la pratique, la plupart des technologies d'une bonne efficacité énergétique et un grand nombre de technologies des énergies renouvelables disponibles peuvent être considérées comme étant parvenues à maturité car elles ont déjà un bilan positif à leur actif dans toute une gamme d'applications. Il ne suffit plus à présent que de les utiliser à grande échelle et, ce faisant, de susciter une réduction de leurs coûts qui leur permettra d'acquérir une véritable compétitivité sur le marché.

V. LE FINANCEMENT DES ACHATS DE TECHNOLOGIES

Le coût constitue l'un des principaux obstacles à la mise en œuvre de nombreuses technologies respectueuses du climat. En règle générale, les technologies des énergies renouvelables ne sont pas compétitives sur le plan du coût par rapport au gaz naturel et aux autres combustibles fossiles. Font toutefois exception à cette règle certaines applications dans des créneaux spécialisés comme le photovoltaïque dont l'installation dans des sites isolés non raccordés au réseau est souvent plus économique qu'un raccordement au réseau. En dehors des énergies renouvelables, nombre d'autres technologies respectueuses du climat telles que les pompes à chaleur, les fenêtres à haut rendement énergétique et l'éclairage économe en énergie imposent un coût d'investissement plus élevé que des solutions de remplacement d'une efficacité moindre. Toutefois, si l'on prend en compte les économies sur l'électricité et les combustibles ainsi que la réduction des dommages causés à l'environnement, les technologies respectueuses du climat peuvent être plus rentables que les autres solutions.

Pour tous les organismes du secteur des administrations publiques, les contraintes qui pèsent sur les dépenses d'investissement constituent un frein à l'amélioration de leurs bâtiments, équipements et véhicules. Pour surmonter cet obstacle, plusieurs pays Membres ont adopté des dispositions de financement qui se sont révélées très efficaces pour faire participer le secteur privé à la passation

des marchés concernant les technologies respectueuses du climat destinées aux administrations publiques.

Dans le secteur privé, le financement par un tiers en faisant appel à une société de services énergétiques est une formule bien établie qui permet à une petite entreprise de bénéficier du soutien financier d'une autre entreprise pour développer un projet lié à l'énergie. La société de services doit dans ce cas être assurée d'obtenir un retour avantageux sur son investissement et sur celui du maître d'ouvrage. Au Canada, par exemple, le gouvernement fédéral a instauré des partenariats avec le secteur privé pour réduire au minimum ses coûts d'investissement, tout en réalisant ses objectifs environnementaux. Aux États-Unis, l'*Executive Order 12902 on Federal Facilities* (Décret 12902 du Président sur les installations fédérales) recommande parmi les solutions financières particulièrement avantageuses les contrats fondés sur les économies d'énergie réalisées, les remises et le financement par un tiers.

D'autres mesures peuvent inciter à prendre directement en charge les coûts de l'énergie et donc encourager les ministères et services administratifs à faire des économies. La structure du budget de certains services administratifs fait que les économies réalisées sur les frais de fonctionnement ne rentrent pas dans l'escarcelle du service qui a effectué l'investissement mais vont plutôt à une société de location immobilière ou à un service de travaux publics. Tant que ces dispositions ne seront pas modifiées, il restera difficile d'encourager les ministères et services administratifs à investir dans ce type d'équipements même si ces investissements permettent d'atteindre des objectifs plus vastes en matière d'économies d'énergie et de protection de l'environnement. Il serait nécessaire que les administrations elles-mêmes fassent pression pour que ces dispositions budgétaires soient modifiées, par exemple en s'appuyant sur les élus pour imposer le changement. De même, il faudrait parfois que les pouvoirs publics renégocient les contrats de location de leurs bâtiments pour changer de modes de consommation de l'énergie. Cet effort ne vaut la peine que si les économies de coût et les effets bénéfiques pour l'environnement découlant de l'adoption de technologies respectueuses du climat sont véritablement pris en compte. En outre, l'impulsion positive que les pouvoirs publics pourraient donner aux fabricants par leurs achats procurerait à ces derniers l'encouragement dont ils ont besoin pour développer leur marché et réduire le prix de leurs technologies.

L'un des principaux moyens d'abaisser le coût d'investissement pour beaucoup de technologies respectueuses du climat est de réaliser des économies d'échelle au stade de leur production. En passant de la fabrication unitaire à la production en grande série, les entreprises peuvent vendre leurs produits à un prix nettement inférieur et, ce faisant, améliorer leur compétitivité sur le marché, ce qui ne peut que déboucher sur une diffusion plus large de leurs produits. Tous les niveaux de l'administration publique pourraient aider à cet égard les fabricants de

technologies respectueuses du climat en constituant des groupements d'achats pour passer des commandes groupées. En Australie, par exemple, plusieurs entreprises ont formé un groupement d'achat, en centralisant leurs besoins d'un produit spécifique et en les évaluant sur une période de cinq ans. Ce groupement d'achat a ensuite invité les fabricants à lui offrir un prix avantageux sur ce produit compte tenu des ventes qui leur étaient ainsi garanties pendant cinq ans. La facturation a été organisée de façon distincte pour chaque membre du groupement. Cette méthode pourrait être appliquée aux achats de technologies respectueuses du climat.

Tous les niveaux de l'administration publique pourraient coopérer ensemble et avec le secteur privé pour former un groupement d'achat qui permettrait aux services de l'administration centrale et des collectivités locales, aux gestionnaires des établissements hospitaliers, aux autorités scolaires, aux services sociaux, etc., de fonctionner comme un seul groupement d'achat pour des produits particuliers, et de définir leurs besoins spécifiques sur un certain nombre d'années. Les commandes ainsi groupées pourraient garantir à un fabricant un marché important durant un certain laps de temps. C'est ainsi que des services administratifs à l'échelon central ou local désireux de modifier le système de chauffage de leurs bâtiments ou de moderniser leur éclairage en adoptant des solutions économes en énergie pourraient se regrouper. Ces arrangements pourraient aussi faire intervenir le secteur privé, et il ressort de l'expérience suédoise que des groupements mixtes secteur public/secteur privé peuvent coopérer de façon très efficace.

L'expérience de la Suède en matière de groupements d'achat s'est étoffée au fil des années. Certains groupements ont échoué ou ont été moins efficaces que prévu car il ne s'est pas instauré de véritable dynamique entre leurs membres. Cette expérience montre qu'il est plus facile de mettre sur pied un groupement d'achat quand les membres qui en forment la clef de voûte se connaissent déjà. Les éléments d'un groupement peuvent parfois exercer le même type de fonctions. C'est ainsi que dans certains projets suédois, divers propriétaires de patrimoine immobilier tels que des sociétés municipales de logement, des coopératives de logement et des organismes privés se sont regroupés autour d'un intérêt commun. Dans d'autres projets suédois, les groupements se sont constitués sur la base de la proximité physique de leurs membres : des représentants de sociétés municipales de logement du sud de la Suède se sont associés à un groupe de grandes compagnies d'assurance et à un groupe de propriétaires immobiliers privés de la banlieue de Stockholm. Ces groupements d'achat ont collaboré avec succès car ils avaient un intérêt commun. Par la suite, ces groupements d'achat pourront évoluer et exiger des produits d'une efficacité énergétique supérieure à celle des produits du marché.

Les pouvoirs publics, en intervenant en tant que groupement et donc en tant que «grands acheteurs», peuvent encourager le secteur des fabricants de technologies à mettre au point des produits d'une meilleure efficacité énergétique que

ceux actuellement disponibles sur le marché. Cette stratégie de mobilisation du marché indique clairement aux fabricants que leurs produits doivent désormais être conformes à certaines prescriptions techniques. S'ils satisfont les nouvelles exigences en matière d'efficacité, ils disposeront d'un marché plus vaste pour leurs produits. En outre, s'ils respectent les prescriptions des pouvoirs publics, le coût unitaire de leur produit a des chances de baisser grâce au gros volume de ventes qui leur sera ainsi assuré. De plus, le groupement d'achats peut décider que certains produits doivent atteindre un objectif d'amélioration donné en matière d'efficacité énergétique à une date précise (dans un délai de cinq ans, par exemple) et, dans l'intervalle, fixer des valeurs cibles un peu plus exigeantes chaque année. Pour inciter les fabricants à viser l'excellence, des systèmes de prime peuvent être instaurés pour les produits dont l'efficacité est supérieure aux normes fixées.

Dans certains pays de l'OCDE, les services de l'administration publique n'achètent que des appareils dont le rendement énergétique équivaut à celui de 25 % des meilleurs appareils du marché [c'est le cas aux États-Unis et en Suisse (label E2000) ainsi qu'en Australie (*four-star rating scheme*)] ; dans d'autres pays, ils achètent des produits dont l'efficacité énergétique est supérieure d'au moins 10 % à la norme minimale. Dans ces pays, la demande de produits à efficacité élevée augmentera et fera éventuellement de cette prescription technique la nouvelle norme. Toutefois, le fait de demander des produits faisant partie de la gamme offerte par les fabricants présente l'inconvénient de ne pas inciter ceux-ci à progresser vers une qualité supérieure et risque de les dissuader de créer des technologies d'une très haute efficacité énergétique puisqu'ils sont déjà assurés d'un marché pour leurs produits actuels.

VI. CONCLUSIONS

Les technologies respectueuses du climat offrent aux pouvoirs publics diverses possibilités de réduire leur consommation d'énergie et leurs émissions de CO₂. La réduction de la consommation d'énergie des bâtiments comme des véhicules des administrations publiques figure dans un grand nombre de programmes nationaux visant à respecter les engagements internationaux des pays en matière de protection de l'environnement. Les programmes publics destinés à développer les marchés des technologies respectueuses du climat constituent pour les pays l'un des moyens d'atteindre leurs objectifs environnementaux de réduction des émissions de CO₂. En outre, dans le cadre d'un programme de développement du marché des fabricants de technologies, les programmes d'achats publics peuvent aussi jouer un rôle décisif.

L'action des pouvoirs publics visant à encourager la diffusion plus large des technologies respectueuses du climat par leurs programmes d'achats est impor-

tante à tous les stades du cycle de vie d'une technologie. En effet, ils peuvent ainsi promouvoir la mise au point de technologies respectueuses du climat, stimuler l'adoption de technologies par le biais de programmes de démonstration, instaurer des incitations en vue de leur adoption dans le secteur privé, et stimuler les marchés technologiques par des achats groupés.

Les pouvoirs publics peuvent encourager le développement des technologies respectueuses du climat. C'est ainsi que des actions nationales et internationales destinées à promouvoir les technologies à efficacité énergétique très élevée peuvent contribuer à stimuler les marchés. La mise en concurrence dans le cadre des appels d'offres lancés par des groupements d'achats garantit aux fabricants un marché pour leurs produits. Ceux-ci ont donc relevé le défi en mettant au point des produits destinés à satisfaire cette demande. Même ceux qui n'ont pas été retenus ont continué de commercialiser de nouveaux produits d'une efficacité énergétique élevée, qui avaient été conçus initialement pour répondre à l'appel d'offres.

Dans le cas des technologies bien éprouvées, les pouvoirs publics peuvent exercer une influence décisive en poussant les fabricants à perfectionner leurs produits pour qu'ils satisfassent des normes de performances plus strictes du point de vue de la protection de l'environnement et de la consommation d'énergie. En Suisse, en Australie et aux États-Unis, les services de l'administration publique sont tenus d'acheter des produits qui répondent aux prescriptions techniques stipulées par le programme national d'étiquetage énergétique. Les labels énergétiques ne peuvent jouer un rôle notable dans le développement du marché des technologies respectueuses du climat que si la demande de produits faisant l'objet d'un étiquetage énergétique est suffisamment forte pour encourager les fabricants à y répondre. Les labels énergétiques sont aussi un instrument utile pour les responsables des achats publics car ils facilitent l'identification des produits efficaces.

Pour certaines technologies respectueuses du climat, il est indispensable que les pouvoirs publics adoptent une technologie donnée et lui confèrent une grande visibilité par des opérations de démonstration. La démonstration de technologies en situation opérationnelle s'est révélée être un instrument de persuasion très efficace pour infléchir les décisions d'achats technologiques. Les pouvoirs publics sont particulièrement bien placés pour utiliser leurs propres installations pour faire la preuve du bon fonctionnement des technologies respectueuses du climat et pour encourager les autres institutions et le secteur privé à suivre leur exemple.

Certaines technologies ont besoin que les pouvoirs publics offrent des incitations en vue de leur adoption à grande échelle. Dans le cas des véhicules consommant des carburants de substitution, par exemple, le développement de leur marché dépend en grande partie de l'infrastructure disponible et du prix pratiqué. La facilité avec laquelle un véhicule peut passer d'un carburant classique à un carburant de substitution, la disponibilité des véhicules électriques, le développement

des équipements de rechargement de leurs batteries, et leur autonomie sont autant de facteurs essentiels au développement de ce marché. Les pouvoirs publics peuvent contribuer à faire mieux connaître ces technologies en utilisant ces véhicules dans leurs propres services, mais si ces autres facteurs ne sont pas pris en compte, les progrès accomplis resteront limités.

Les pouvoirs publics peuvent aussi stimuler la diffusion d'une technologie en l'achetant en grandes quantités. En tant que grands acheteurs de produits nationaux, les pouvoirs publics ont des possibilités considérables d'orienter leurs achats vers les technologies respectueuses du climat et d'avoir une incidence positive sur le marché des technologies. Leur coût d'investissement étant le principal obstacle à la diffusion des technologies respectueuses du climat, des dispositifs comme les achats groupés sont un moyen important de réaliser des économies pour l'acheteur et, dans le même temps, de garantir un certain volume de ventes aux fabricants. Cette formule permettra aux fabricants de produire en grande série et par conséquent de réduire leurs coûts de production, ce qui, à son tour, bénéficiera aux pouvoirs publics qui verront baisser leurs coûts d'investissement. Les administrations, à l'échelon aussi bien central que local, doivent adopter une démarche intégrée afin de pouvoir à la fois respecter leurs objectifs environnementaux et développer le marché des technologies respectueuses du climat. Faute d'en percevoir la nécessité, les pouvoirs publics laisseront échapper de nombreuses occasions d'atteindre concurremment ces deux objectifs.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (1996),
«Energy Efficiency Labels, Targets and Standards for Appliances and Equipment», AIE, Paris.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (1997a),
«Enhancing the Market Deployment of Energy Technologies: A Survey of Seven Technologies», AIE, Paris.
- AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE (1997b),
«Renewable Energy Technologies – Key Issues in Developing Their Potential», AIE, Paris.
- NUTEK (1993),
«Purchasers' Requirements Dictate Development: A Study of Technology Procurement», Stockholm.
- NUTEK (1996),
«Co-operative Procurement Market Acceptance for Innovative Energy Efficient Technologies», Stockholm.
- OCDE (1995),
L'énergie dans la ville – Manuel de bonne gestion locale, OCDE, Paris.
- OCDE (1996),
«Recommandation du Conseil sur l'amélioration des performances environnementales des pouvoirs publics», C(96)39/FINAL, OCDE, Paris.

LA COOPÉRATION TECHNOLOGIQUE POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE

Table des matières

I. Introduction.....	184
II. Mondialisation et technologie.....	185
III. Améliorer la diffusion d'une technologie appropriée.....	188
IV. Investissement technologique et gestion du risque.....	192
V. Deux exemples.....	195
VI. Conclusions.....	198
Bibliographie.....	200

Cet article a été rédigé par Andrew Dearing du World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

I. INTRODUCTION

Concilier la résolution des problèmes critiques que posent les atteintes à l'environnement avec le progrès social et une croissance économique équitable constitue pour tous les pays un formidable défi. L'innovation, dans son sens le plus large, demeurera un élément essentiel de toute solution. La technologie soutient et permet cette innovation en améliorant les performances économiques et en facilitant également une production plus propre et une consommation réduite des ressources. Certes, améliorer la technologie ne sera pas suffisant en soi mais sans cette amélioration l'innovation ne sera probablement pas possible.

Toutefois, avant de pouvoir tirer parti des opportunités qu'offre la technologie, les populations doivent savoir ce qui est possible et ce qui entrave le progrès. Elles doivent également être capables et désireuses de prendre des mesures et d'effectuer les investissements adéquats. Pour les pays en développement, ce sont là d'énormes problèmes à régler. Ils se trouvent confrontés à un cercle vicieux dans lequel l'investissement étranger est influencé par la perception d'un risque élevé, par des ressources limitées et par l'étroitesse des marchés. Ces économies n'ont guère d'autre choix que d'adopter des approches non concurrentielles, et pourtant elles sont contraintes par les autres pays de supporter les coûts plus élevés qu'implique un développement propre. *Comment peuvent-elles sortir de ce cycle vicieux ?*

Nombreux sont ceux qui pensent que la solution réside dans le transfert des technologies modernes des pays développés vers les pays moins développés. Ce concept de *transfert de technologie* est discuté depuis le Sommet de Rio de 1992 : il apparaît comme le moyen d'aider les économies en développement à faire un saut technologique par rapport à des approches moins efficaces du point de vue de l'environnement ou du développement. Certains pays du G7 continuent à affirmer leur conviction que le transfert de technologie n'est pas un engagement commercial mais un engagement moral. Malheureusement, les attentes considérables qu'a soulevées cette approche ne se sont pas concrétisées.

Une autre approche est peut-être nécessaire. Au lieu de considérer la technologie comme un bien matériel à donner ou à conserver, nous devrions chercher comment optimiser les avantages découlant de son adaptation et de son application. Nous devons ensuite comprendre quels sont les principaux obstacles au flux des investissements afin de trouver des solutions mieux adaptées pour les éliminer.

L'objectif est de transformer un cercle vicieux en cercle vertueux et bénéfique pour tous.

Que des nations répètent les échecs que d'autres ont connus durant leur processus d'industrialisation n'a pas de sens. De même, il est inutile de fournir des solutions qui ne peuvent être mises en œuvre ou de le faire d'une manière qui décourage les efforts ultérieurs. La technologie est un outil difficile à bien utiliser et à adapter au contexte local. L'une des meilleures façons d'encourager ce processus est de récompenser ceux qui acquièrent et appliquent les compétences nécessaires.

Le *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) est convaincu qu'un fonctionnement efficace des marchés peut fournir le meilleur moyen de diffuser la technologie en encourageant les engagements d'investissement du secteur privé et la prise de risque rémunératrice. Des approches inhérentes à la manière dont les entreprises travaillent avec leurs partenaires des secteurs public et privé contribuent également à se procurer les actifs les plus importants, à savoir la connaissance et les compétences, indispensables à une meilleure utilisation de la technologie dans l'avenir. C'est ce que l'on appelle la *coopération technologique*.

Mais le progrès technologique doit manifestement s'accélérer et les marchés actuels ne sont pas aussi efficaces qu'ils pourraient l'être. Certains pays nouvellement industrialisés ont certes connu une croissance spectaculaire mais dans de nombreux pays en développement, les revenus sont inférieurs aux niveaux atteints dans les années 1960 et 1970. Les barrières aux échanges continuent d'entraver la concurrence. Et l'on a de plus en plus le sentiment que des problèmes urgents d'environnement et de ressources tels que l'accès à l'eau potable, des approvisionnements alimentaires adéquats, la lutte contre les maladies face à une résistance accrue aux médicaments et le changement climatique, exigent une perspective plus globale et des méthodes plus souples que celles adoptées actuellement.

Si des solutions satisfaisantes sont apportées à ces problèmes, les nations seront mieux à même d'attirer les investisseurs et d'appliquer la technologie à l'appui de leur propre développement durable. Les gouvernements, le secteur privé et la société civile contribuent respectivement à la mise en place de ces solutions par des moyens compatibles avec l'évolution de l'économie dans son ensemble. Cet article examine quelques-uns des facteurs qui sous-tendent ce succès.

II. MONDIALISATION ET TECHNOLOGIE

Trois évolutions liées, à savoir la libéralisation, la mondialisation et la technologie, sont en train de modifier les règles du jeu économique. Les avantages de la

mise en concurrence des marchés par rapport aux situations de monopole sont devenus si évidents que la plupart des nations ont entrepris des réformes visant à libéraliser leurs marchés d'une manière compatible avec les programmes politique locaux et leur stade de développement.

Parallèlement, une nouvelle vague de technologies « intelligentes » (technologies de l'information, de la communication et biotechnologie par exemple) arrivent rapidement à maturité. Ces technologies créent de formidables opportunités de développement sans risque pour l'environnement et d'évolution vers *des économies fondées sur le savoir*. Après la première révolution industrielle, c'est l'accès aux ressources physiques qui a déterminé l'avantage concurrentiel. La nouvelle révolution repose sur les idées, l'information et les compétences managériales, ce qui conduit à une utilisation plus intelligente des ressources naturelles et des capacités industrielles.

Une meilleure communication signifie également que, dans le monde entier, les personnes se distinguent moins par leur conscience de ce qui est possible que par leur capacité à concrétiser ces possibilités. Le moteur de la mondialisation est la capacité de partager les « pratiques exemplaires » et de faire circuler l'information instantanément à l'échelle de la planète. Ce faisant, les valeurs évoluent. Les personnes peuvent constater que les inefficiences politiques et commerciales demeurent endémiques dans les pays développés comme dans les pays en développement. Mais elles peuvent également constater que les réactions des marchés financiers peuvent être brutales et déstabiliser les économies les moins solides.

La conjugaison de ces évolutions a modifié l'équilibre des rôles entre gouvernements, entreprises, et société civile. Comprendre comment leurs responsabilités ont changé et s'adapter à ce changement constitue des défis majeurs. Les pouvoirs publics, qui ont perdu une partie de leur liberté d'action et de leur indépendance, cherchent de nouvelles façons de travailler ensemble et de rivaliser avec les performances du secteur privé. De plus en plus, les entreprises doivent rendre compte de leurs actions et se focaliser sur leurs compétences commerciales et techniques spécifiques, ainsi que sur les performances de leurs investissements.

Ces trois évolutions offrent à toutes les nations (développées comme en développement) la perspective de nouvelles avancées pour leurs économies, mais elles créent également de nouveaux obstacles à surmonter. L'une de ces opportunités est de trouver de nouvelles façons d'entrer dans la concurrence économique mondiale, avec pour contrepartie la nécessité de posséder un plus grand savoir-faire pour réussir. Ce savoir-faire est constitué de deux composantes : i) des compétences *explicites* pour évaluer le problème et utiliser les outils disponibles ; et ii) des compétences *tacites* pour associer ces connaissances de manière à résoudre le problème dans des conditions d'efficacité et de sécurité. Chacune de ces composantes doit être actualisée par une application sur la base *de l'expérience locale*, autrement

dit, ces compétences doivent être constamment réappries. L'OCDE estimait récemment que la durée de vie moyenne des compétences des travailleurs n'est plus désormais que de trois ans et demi.

Le succès de toutes les nations et organisations au XXI^e siècle dépendra de ces compétences, c'est-à-dire de leur capital de savoir. A l'instar d'autres actifs, ce capital aura une valeur commerciale concurrentielle mais contrairement aux actifs physiques, un grand nombre de personnes peuvent posséder ce capital simultanément et l'utiliser en coopération en vue d'élaborer de meilleures solutions.

On peut considérer que les économies assurent en quelque sorte la transformation des matières premières en produits. De ce point de vue, le développement durable peut être envisagé comme un processus consistant à développer des moyens de répondre aux besoins des clients en produits et services tout en veillant à générer le moins de nuisances possible pour l'environnement. On peut aussi considérer que les sociétés sont des réseaux d'activités. L'intérêt d'une telle approche est de souligner l'importance de l'appartenance au réseau pour pouvoir apprendre et tirer profit de ce qui se passe ailleurs.

De ce point de vue, parvenir à un développement durable suppose de renforcer les liens à l'intérieur des réseaux. Ces liens augmentent la conscience que les individus ont de partager des valeurs uniques et leur permettent de mieux comprendre comment ces valeurs peuvent être transformées en actions. Les entreprises, les organisations gouvernementales et non gouvernementales, les universités et la société civile sont parties constituantes de ces réseaux. Et la mondialisation a entraîné une extension de ces réseaux bien au-delà des frontières nationales.

Les ressources et les compétences techniques utilisées par les sociétés multinationales demeureront un élément important de ces réseaux, et seront essentielles au développement durable de toutes les nations. Mais le rôle de ces entreprises change à mesure que les réseaux évoluent. Plus ces économies se développeront, plus les contributions apportées par les petites et moyennes entreprises au niveau local deviendront importantes. Ces entreprises fournissent les moyens d'adapter les solutions aux exigences locales et d'utiliser les compétences locales avec la flexibilité requise pour parvenir à une certaine compétitivité sur le marché mondial.

La mondialisation et l'émergence de nouvelles technologies sont des évolutions inévitables et nous devons tous trouver des manières plus appropriées d'en tirer parti à l'appui d'un développement durable. Des marchés dynamiques peuvent permettre et faciliter la transition vers des sociétés riches en savoir. A son tour, un capital de savoir plus important peut améliorer la capacité des pays en développement à parvenir à un développement durable dans le cadre de l'économie mondiale en augmentant leur liberté de choix et leur capacité à trouver des créneaux rentables. Les évolutions qui accompagnent la mondialisation renforcent

l'importance d'une coopération technologique effective en tant que processus auquel chacun peut être associé et qui peut bénéficier à tous. Elles renforcent également la nécessité de disposer de conditions-cadres appropriées dans un monde extrêmement concurrentiel mais qui change rapidement.

III. AMÉLIORER LA DIFFUSION D'UNE TECHNOLOGIE APPROPRIÉE

La technologie en soi n'a aucune valeur : sa valeur résulte de l'utilisation bénéfique qui en est faite. La technologie requise pour traiter un problème donné existe bien souvent, mais elle doit être adaptée aux besoins et aux budgets locaux. Il est plus difficile de déterminer comment utiliser au mieux la technologie lorsque des choix inappropriés peuvent avoir des conséquences dommageables. Cette exigence est particulièrement importante lorsque l'objectif est de concilier des développements économiques, environnementaux et sociaux se produisant sur des échelles de temps différentes et avec des degrés d'incertitude variables.

La première exigence est de vouloir améliorer la situation existante en encourageant l'expérimentation qui le permettra. Les approches actuelles peuvent sembler « suffisamment bonnes » mais de nouvelles améliorations, à savoir des approches plus efficaces par rapport à leur coût et une plus grande éco-efficience sont généralement possibles. Les politiques nationales et internationales qui définissent une vision, encouragent l'expérimentation à travers la concurrence et récompensent les réalisations, sont plus susceptibles de permettre ces gains que des politiques punitives ou prohibitives. Si les obstacles aux échanges sont préjudiciables c'est notamment parce qu'ils suppriment l'incitation à trouver de meilleures approches.

Ceux qui ont su élaborer de meilleures approches (par exemple, grâce à leur effort de recherche et de développement) doivent pouvoir compter sur une protection appropriée de leurs droits de propriété intellectuelle pour rentabiliser cet investissement. A moins que leurs droits ne soient clairement définis et dûment respectés, les entreprises ne seraient pas disposées à faire courir un risque à leurs précieux actifs. Cette protection ne doit pas nécessairement être illimitée et il est hautement souhaitable d'encourager une diffusion plus rapide des technologies environnementales, par exemple en recourant largement à l'octroi de licences étendues. Il y a lieu également de revoir le degré de protection que les sociétés assurent au savoir explicite et au savoir tacite, afin de faire face à l'évolution vers des économies plus globales et fondées sur le savoir à une époque où de nombreuses nations en développement n'ont pas véritablement d'expérience en matière de protection de leurs actifs intellectuels.

Il arrive parfois que nous ne sachions pas quelle est la meilleure approche technique à adopter pour atteindre un objectif particulier. Quel est en effet la

meilleure façon d'aider les agriculteurs à sortir plus rapidement d'une économie de subsistance ? Doter les économies émergentes d'infrastructures appropriées en matière d'énergie ? S'attaquer au problème du changement climatique ? Réaliser des projets durables en matière d'urbanisme et de transport ? Protéger les écosystèmes vulnérables sans nuire au développement économique ? Dans chacun de ces cas, des décisions inappropriées peuvent avoir des répercussions à très long terme.

La gestion de cette incertitude requiert une certaine flexibilité des politiques publiques. Il est généralement plus efficace de formuler ces politiques en termes d'objectifs et de récompenser les progrès accomplis sur la voie de la réalisation de ces objectifs que d'imposer une approche. Toutefois, même si elle émane de bonnes intentions, l'application de certaines normes technologiques risque de bloquer la société dans des méthodes de travail inappropriées et probablement peu efficaces.

Les technologies utilisées pour les équipements et les infrastructures seront très probablement adaptées à leur objectif au moment de leur conception. Mais ces équipements peuvent avoir une longue durée de vie (tableau 1), ce qui constitue une contrainte pour les choix futurs portant sur une période plus longue. D'où la nécessité d'être bien conseillé et de faire les bons choix au moment de la conception et de la construction. Lorsqu'un système « pervers » de subventions prolonge des approches obsolètes et inadaptées, des durées de vie déjà longues s'en trouvent prolongées.

L'utilisation de la technologie n'a pas la même valeur pour tous. Ceux qui considèrent que l'adoption d'une technologie comporte des risques mais aussi des avantages, et veulent juger pour elles-mêmes si les avantages justifient de prendre ces risques, ont donc besoin d'éléments d'appréciation transparents et précis. C'est peut-être lorsque les personnes ont une appréciation différente des risques, des valeurs et des avantages d'un pays à l'autre et d'une application à l'autre que les problèmes d'éthique se posent avec le plus d'acuité.

Tableau 1. **Durée de vie moyenne des équipements et infrastructures**

Équipement	Durée de vie moyenne
Équipements électriques	5-20 ans
Chauffage et climatisation des immeubles d'habitation	10-20 ans
Voitures, camions, autobus	10-25 ans
Chauffage et climatisation des immeubles commerciaux	10-30 ans
Installations de production industrielle	10-40 ans
Matériel électrique, transport d'électricité	30-50 ans
Infrastructures urbaines et de transport	40-200 ans

Dans certaines situations, les conséquences de l'incertitude peuvent être suffisamment importantes pour justifier une approche prudente qui limitera l'impact négatif des erreurs. Toutefois, dans la mesure où cela implique également certaines dépenses pour conserver les options ouvertes aussi longtemps que possible, nations et entreprises peuvent avoir le sentiment qu'on leur demande de supporter des coûts qu'elles ne peuvent se permettre. En outre, les traités tels que ceux qui régissent le commerce international ne reflètent pas encore totalement le principe de précaution, même parmi les nations développées. Cela traduit peut-être un certain scepticisme lié au fait que des risques non fondés sont parfois évoqués pour justifier un comportement protectionniste ou la crainte qu'une prudence excessive ne conduise à la paralysie. C'est pourquoi les approches fondées sur le principe de précaution ne seront vraisemblablement couronnées de succès que si elles s'appuient sur une coopération internationale plus effective.

Les biotechnologies agricoles en sont un bon exemple. Les exigences des pays tempérés diffèrent de celles des pays à climat équatorial et les efforts visant à sortir d'une agriculture de subsistance sont souvent entravés par des problèmes d'ordre culturel plutôt que par l'absence de technologie évoluée. Toutefois, les technologies récentes permettent de surmonter plus efficacement certains obstacles (par exemple, l'application de mesures phytosanitaires sûres et efficaces). Réaliser ces opportunités suppose de disposer des moyens de s'attaquer aux aspects universels de la biosécurité, ce qui n'est pas le cas de nombreuses nations en développement. Si elles veulent progresser sur cette voie, elles auront besoin de l'aide internationale, ce qui nécessitera l'adhésion de l'opinion publique quelle que soit l'approche adoptée.

Ces différents points illustrent quelques-uns des problèmes que posent les nouvelles technologies. L'ampleur de la contribution de ces évolutions à un développement global durable dépendra de la manière dont les gouvernements, les entreprises et la communauté internationale sauront gérer ces tensions. Les approches reposant sur une « science saine » ne seront probablement pas adaptées même si ses avantages pour le public peuvent sembler évidents.

Il apparaît donc important de mettre en place des mécanismes effectifs d'assurance dans tous les pays pour mesurer les progrès accomplis et démontrer que les attentes du public en matière de sécurité et de performances sur le plan éthique sont dûment prises en compte tant par le secteur public que par le secteur privé. Lorsqu'un gouvernement impose des normes différentes aux différents acteurs (par exemple, aux entreprises privées et au secteur public), il risque de saper la confiance accordée à ses politiques et d'encourager les personnes à contourner ces normes.

Les entreprises se trouvent elles-mêmes confrontées dans tous les aspects de leurs activités à des exigences de performances supérieures et des mécanismes

d'assurance. Certains aspects des mesures qu'elles doivent prendre sont à classer dans la rubrique *responsabilité sociale de l'entreprise*. Ce qui rend plus intéressant et plus impératif d'appliquer des normes élevées en termes de gestion de la technologie, de performances environnementales, de formation du personnel et de pratiques de travail quel que soit le lieu d'implantation de l'entreprise et d'un bout à l'autre de sa chaîne d'approvisionnement. Parfois, la meilleure approche consiste pour l'entreprise à appliquer les critères internationalement admis en matière de qualité et de performances environnementales quel que soit l'endroit où elle opère. Dans ce type de situations, l'entreprise peut également aider ses partenaires à atteindre ces mêmes normes. Dans d'autres situations, lorsque l'approche optimale n'est pas encore connue, l'application de normes à un stade précoce ne sera pas appropriée.

Pour pouvoir utiliser pleinement et efficacement une technologie, il ne suffit pas de posséder des compétences techniques. Comprendre les exigences du client, gérer la propriété intellectuelle et trouver des moyens de surmonter les obstacles que sont le coût élevé des investissements et les bases d'actifs existantes exigent en effet des compétences au moins tout aussi importantes. Ces compétences pluridisciplinaires font défaut un peu partout et ne seront vraisemblablement pas disponibles dans les pays qui n'encouragent pas la mobilité du capital humain à travers leurs frontières nationales.

Il s'agit là de problèmes particulièrement aigus pour les petites et moyennes entreprises qui jouent un rôle central dans toutes les économies, font preuve de flexibilité dans leur approche et constituent des rouages essentiels de l'innovation et de la croissance future. Nombre de ces entreprises ont des compétences managériales faibles, une connaissance limitée des possibilités techniques existantes et des ressources insuffisantes pour remédier elles-mêmes à la situation. Les pouvoirs publics ont donc ici un rôle essentiel à jouer. Ils peuvent aider les PME en diffusant l'information sur les technologies disponibles, en constituant des groupes de soutien des entreprises au sein des collectivités locales et en dispensant une formation, par le biais par exemple du système universitaire, pour faire la démonstration de méthodes qui marchent et de bonnes pratiques managériales.

Enfin, il n'y a pas de démarcation claire et nette entre la contribution du secteur public et celle du secteur privé à la production des connaissances scientifiques, à l'utilisation et à l'adaptation de la technologie. Ces deux approches sont nécessaires et présentent d'autres avantages en plus de la création de savoir et de moyens d'action. Dans les pays de l'OCDE la proportion de la R-D financée par le secteur privé augmente alors que dans d'autres pays c'est l'inverse qui se produit. Toutefois, pour une nation en développement, concentrer une part trop importante de ses efforts sur la R-D fondamentale (par exemple dans le cadre de son système universitaire) jusqu'à ce que son économie atteigne un stade qui lui permette d'utiliser les résultats de cette R-D constitue généralement une erreur.

Il est préférable qu'elle focalise ses efforts sur l'adaptation de la technologie aux exigences locales, permettant ainsi à l'économie de faire de meilleurs choix technologiques. On observe toutefois des différences importantes dans la composition des dépenses technologiques des différents pays. La Corée, par exemple, dépense trois fois plus en adaptations qu'en achats d'origine tandis qu'en Chine cette proportion n'est que d'un cinquième.

IV. INVESTISSEMENT TECHNOLOGIQUE ET GESTION DU RISQUE

Assurer une croissance économique durable et diffuser la technologie nécessitent des investissements aussi bien que du savoir-faire. C'est vers les projets visibles offrant une rentabilité financière adéquate et présentant peu de risques que les investissements se dirigent le plus facilement. Mais le fait qu'un projet soit potentiellement attractif ne signifie pas qu'il attirera effectivement l'investissement car il y aura également d'autres projets importants d'un point de vue social et qui, par nature, sont anti-économiques. Optimiser l'investissement productif implique de trouver des approches qui maximisent la visibilité du projet tout en minimisant les risques *perçus par l'investisseur*.

Les risques d'un projet recouvrent de nombreux aspects liés au site, au choix des partenaires, à la disponibilité d'une technologie appropriée et à son mode de financement. Le marché peut être trop étroit, la main-d'œuvre insuffisamment qualifiée, le gouvernement instable ou (dans le cas d'une multinationale), les restrictions imposées au rapatriement des profits peuvent être trop contraignantes. Seuls certains aspects de ces risques seront exprimés ouvertement et de manière objective.

Il pourrait être utile de comparer la situation à une sorte d'iceberg dont la partie émergée serait les opportunités d'investissement visibles. La concrétisation de ces opportunités exige peu d'efforts. En revanche, sous la surface, il existe un nombre plus grand de projets moins visibles dont certains peuvent être attractifs mais passer inaperçus alors que d'autres peuvent être essentiels au développement du pays mais trop risqués pour que le secteur privé s'y engage. Entreprendre ce type de projets est un défi que les gouvernements, les entreprises et la communauté internationale doivent relever ensemble.

Les investissements destinés à financer des besoins à court ou à long terme proviennent d'un grand nombre de sources publiques et privées, et comportent différents avantages et inconvénients (encadré 1). Chaque source de financement et chaque moyen d'action sera particulièrement efficace à l'intérieur d'une partie donnée de l'iceberg. C'est pourquoi, nous devons trouver des approches qui :

- i) augmentent le nombre des projets à faible risque, visibles au-dessus de la surface de l'eau ;
- ii) réduisent le risque et améliorent la viabilité des projets « proches

Encadré 1. Flux de capitaux à destination des pays non membres de l'OCDE

L'*investissement direct étranger* (IDE) par le secteur privé sert à financer les ressources humaines, les installations et les équipements sur le long terme. L'accroissement de l'IDE ces dernières années peut être envisagé de diverses façons. On peut, par exemple, y voir à la fois une cause et un effet de la mondialisation. Mais il peut également être une indication de la mise en œuvre de conditions-cadres favorables au marché. L'accroissement de l'IDE incite à penser que l'économie du pays bénéficiaire est considérée comme offrant à l'investissement un environnement durable et que les compétences nécessaires au succès de cet investissement sont effectivement mises en place. Toutefois, cet investissement peut susciter dans le pays bénéficiaire un sentiment de perte de la maîtrise des actifs nationaux. Par ailleurs, la répartition de l'IDE entre les pays est inégale.

L'*aide publique au développement* (APD), dispensée par les gouvernements et certains organismes, recouvre les dons ainsi que l'assistance technique et financière accordée aux pays en développement à des fins diverses. L'APD est un instrument essentiel pour répondre aux besoins immenses des nations les plus pauvres, mais elle a trop souvent été utilisée de manière inefficace. L'aide donne de bons résultats au niveau *microéconomique* lorsque des compétences spécialisées sont également consacrées à la résolution de problèmes spécifiques. Au niveau *macroéconomique*, l'aide n'est susceptible d'être couronnée de succès que lorsque le pays bénéficiaire s'est engagé à appliquer les principes d'une bonne gestion économique. A ce niveau, il semble préférable de dissocier les décisions relatives à l'*octroi de l'aide* de celles relatives aux meilleures façons d'*utiliser cette aide*. Cette distinction élimine à tout le moins une source potentielle de corruption. Elle diminue également le risque de se lancer dans des projets dispendieux et peu rentables, ce qui peut se produire lorsque l'aide est considérée comme une forme de subvention ou utilisée pour financer des technologies qui ne sont pas adaptées aux impératifs locaux. Au niveau microéconomique comme au niveau macro-économique, une aide bien gérée améliorera la capacité et diminuera les risques liés aux investissements futurs. A son tour, une meilleure efficacité incitera vraisemblablement les donateurs à accroître leur aide car ils verront que leur contribution est effectivement bénéfique.

Le *financement par l'emprunt et l'apport de fonds propres* répondent au même objectif dans les nations en développement et dans les nations développées. Or, ces pratiques ont un coût. Dans le cas de l'emprunt, il dépend de la notation (*rating*) de l'investissement, laquelle dépend à son tour du risque perçu du projet, de l'entreprise et de sa situation. Dans les petits pays dont l'économie est moins robuste, les principaux risques sont l'inflation et la volatilité des marchés des capitaux, des valeurs mobilières et des changes. Ces risques sont aggravés (par exemple) par des investissements aberrants. La dotation en capital apporte des fonds de démarrage et constitue le moyen de développer une activité sans avoir un engagement immédiat de remboursement. Toutefois, elle implique également une surveillance des

(voir page suivante)

(suite)

actionnaires qui doivent obtenir un rendement approprié de leur investissement par le biais des dividendes servis ou de l'accroissement du capital. Voir dans la prise de participation au capital une solution peu coûteuse est une erreur.

L'investissement de portefeuille pour l'entreprise ne représente pas en soi un mode de financement des projets utile. Toutefois, en augmentant la confiance accordée à la signature de l'entreprise ou au marché sur lequel elle opère, il peut diminuer le coût du capital pour l'entreprise. Là encore, dans les nations en développement, le risque réside dans la volatilité de cette confiance.

de la surface» et *iii*) s'attaquent aux projets essentiels d'un point de vue social mais peu rentable qui constituent la partie immergée de l'iceberg.

Associer différentes sources d'investissement et différents instruments d'action pour parvenir à une diffusion efficace de la technologie requiert un jugement solidement étayé et une bonne coopération. Il est inévitable, par exemple, que les investisseurs préfèrent les nations stables ayant un cadre juridique effectif et n'étant pas la proie des conflits et de la corruption. C'est aux gouvernements des pays hôtes qu'il appartient essentiellement de créer ces conditions. Les entreprises peuvent les aider dans leurs efforts par des politiques positives tandis que les organisations internationales peuvent contribuer à créer la confiance et à renforcer la stabilité.

L'octroi de subventions constitue généralement une mauvaise approche de la gestion du risque car cette pratique tend à diminuer l'efficacité du marché, à perpétuer les approches obsolètes ou à miser trop tôt sur les secteurs d'avenir. Toutefois, il est des situations dans lesquelles cette pratique peut être nécessaire. Ainsi, l'application précoce de nouvelles technologies est souvent peu rentable. Une stimulation à court terme du marché peut remédier à cette situation sous réserve que la technologie soit clairement appropriée à l'utilisation envisagée. Éclairer la zone grisée qui va de l'octroi injustifié de subventions à une stimulation nécessaire du marché suppose essentiellement de s'assurer de la validité des objectifs, de la transparence du processus de prise de décisions et des moyens d'évaluer les progrès accomplis et de changer de cap si nécessaire.

C'est un domaine dans lequel certains des instruments internationaux les plus récents tels que les mécanismes (flexibilité) du Protocole de Kyoto peuvent s'avérer utiles. L'utilisation la plus appropriée de ces instruments tels que le mécanisme pour un développement propre et les échanges de droits d'émission consiste probablement à accroître la visibilité de projets proches de la surface qui visent aussi des objectifs particuliers (en l'occurrence, la réduction du carbone). Sous réserve

que les gouvernements s'entendent sur les règles, les modalités et les directives, les instruments contribueront alors à réduire le risque de portefeuille global. Il pourrait être particulièrement utile de considérer ces mécanismes comme des *outils de développement* faisant pencher la balance en faveur des investissements qui offrent un bon rapport coût-efficacité et respectent l'environnement.

Pour poursuivre l'analogie avec l'iceberg, le rôle de l'aide publique au développement (APD) est de s'occuper des projets essentiels d'un point de vue social mais les plus profondément immergés de manière à créer des capacités pour l'avenir. Il est largement reconnu que pour accroître son efficacité l'APD doit être plus ciblée. Une solution possible consiste à faire preuve de créativité dans l'utilisation des partenariats internationaux public/privé. L'aide est utilisée pour soutenir les compétences et les efforts du partenaire local et accroître ainsi la probabilité pour que celui-ci soit à même de conduire effectivement le projet à son terme. Ce faisant, elle accroît l'attrait du projet pour l'investisseur international qui y voit un risque moindre plutôt qu'une source de subventions.

Le principal message de cette section est de se focaliser sur la réduction des risques, instrument-clé de la diffusion de la technologie. Le capital permet l'investissement, la technologie suit le capital ; dès lors que les règles du jeu, telles qu'elles sont perçues, changent, les comportements des personnes changent eux aussi. Trouver le meilleur moyen d'enclencher cette dynamique, par exemple en associant différentes sources d'investissement et différents instruments d'action pour harmoniser les valeurs des individus tant à l'échelle mondiale que locale, constitue un test de leadership en matière de coopération économique.

V. DEUX EXEMPLES

Les deux exemples ci-dessous attestent d'approches créatives qui amélioreront le déploiement de technologies susceptibles de soutenir un développement durable. Le premier montre comment il est possible de créer un investissement attractif et néanmoins responsable au plan social dans une situation apparemment très difficile. Le second montre comment les communautés internationales peuvent travailler ensemble à aider une économie émergente à trouver les plates-formes énergétiques les plus appropriées pour servir de base à son développement durable. Ces deux exemples peuvent être considérés comme des exercices de réduction des risques.

Le défi de l'électricité en Afrique du Sud

Sur les 8.6 millions de foyers que compte l'Afrique du Sud, 2.75 millions seulement avaient accès à l'électricité en 1990. En octobre 1998, un programme

d'électrification massive, conduit principalement par Eskom, a permis de multiplier ce chiffre par plus de deux, portant à 67 % le taux d'électrification en fin d'année. En dépit de cet effort colossal, il est peu probable que l'extension du réseau permette un jour d'alimenter en électricité les petites communautés rurales isolées. Dans ces conditions, le concept de la maison solaire assorti d'une infrastructure d'appui offre une solution viable.

Une coentreprise constituée par Shell et Eskom vise à offrir à 50 000 foyers, qui pour la plupart ont très peu de chances d'être un jour raccordés au réseau national, un accès à l'électricité pour l'éclairage, la télévision et la radio. Cette entreprise est décrite comme un projet type pour des marchés analogues de par le monde ; elle fait la démonstration des avantages d'une collaboration étroite avec d'autres organisations pour fournir aux clients une solution en matière d'énergie électrique. Ce projet apporte une solution commercialement viable à un problème essentiel au plan social qui est l'accès à l'électricité des personnes vivant en milieu rural. Au niveau local, il offre des opportunités considérables à travers la création d'emplois, l'enseignement, les loisirs et une offre d'énergie électrique, supérieure en termes de qualité, de santé et de sécurité.

Le système de maison solaire coûtera au client, qui s'éclaire actuellement à la chandelle et à la paraffine, environ 8 dollars par mois, soit approximativement le montant qu'il dépense aujourd'hui en combustibles moins efficaces. Ce système est constitué d'un panneau solaire, d'une batterie à contrôle de charge, d'un dispositif de sécurité et d'un compteur. Les panneaux solaires sont fournis par les Pays-Bas. Des cartes magnétiques sont utilisées pour stocker le crédit d'énergie prépayé sur lequel on tire au fur et à mesure de l'utilisation. C'est la première fois qu'un prépaiement par carte magnétique est utilisé pour un système de maison solaire ; il permet aux personnes de s'équiper sans avoir à réaliser un investissement immédiat important en matériel qu'elles ne pourraient pas se permettre. La redevance mensuelle est stockée sur une carte magnétique que les clients peuvent acheter auprès de distributeurs locaux et qui, une fois insérée dans l'unité, le fera fonctionner pendant trente jours.

Des travailleurs basés dans ces communautés dispenseront aux clients une formation sur l'énergie solaire, leurs responsabilités sur le plan du fonctionnement et l'engagement financier qu'ils prennent en souscrivant à ces systèmes de maison solaire. La coentreprise fournira également l'infrastructure nécessaire à la commercialisation du produit dans le cadre d'un réseau localisé, réceptif et flexible. Des succursales régionales s'occuperont du financement, de la comptabilité, de la formation en matière d'installation, de maintenance et de commercialisation. Des entreprises locales détenues et exploitées par la collectivité assureront la commercialisation, l'installation et la maintenance. Des points de vente détenus et exploités par la collectivité seront pour les clients le premier endroit à contacter concernant le système, les cartes magnétiques ou pour poser toutes autres questions.

Une technologie énergétique pour la Chine

Le développement et la croissance économique rapide de la Chine, conjugués à l'énorme population de ce pays ont entraîné un accroissement rapide de la demande d'énergie électrique. La Chine est également le plus gros producteur et consommateur mondial de charbon qui constitue actuellement sa principale source d'énergie. Satisfaire cette demande d'énergie sans aggraver encore les dommages déjà sérieux causés à l'environnement restera pour les dirigeants et les scientifiques chinois le défi des années à venir.

Le Département Énergie et Changement à l'échelle planétaire de ABB Corporate Research, a lancé, conjointement avec AGS (Alliance for Global Sustainability), des universités de renommée mondiale et des institutions chinoises, un programme d'investigations de deux ans sur la technologie énergétique et les niveaux d'émission dans le secteur électrique chinois. Assurer à la Chine un approvisionnement énergétique durable constitue l'axe essentiel d'une stratégie globale visant à promouvoir le développement tout en atténuant les problèmes de pollution et les effets potentiellement désastreux des émissions de gaz à effet de serre.

Prenant la Chine comme étude de cas, ce programme a pour objectif d'élaborer une méthodologie applicable à l'échelle planétaire pour analyser l'impact réel de la production d'énergie électrique, compte tenu des technologies en matière d'énergie et de leur impact sur l'environnement. Afin de limiter le champ de l'étude, on a choisi une région : la Province de Shandong (qui compte environ 90 millions d'habitants). Cette région a été choisie en raison de son réseau indépendant et de ses approvisionnements diversifiés en énergie. Mais la conception de la méthodologie doit être suffisamment générale pour pouvoir s'appliquer à d'autres provinces chinoises et à d'autres pays du monde.

Pour y parvenir, le CETP (*China Energy Technology Project* – Projet de technologie énergétique pour la Chine) espère ouvrir la voie à une coopération effective entre l'industrie et les organismes universitaires et entre les institutions européennes, américaines et chinoises. Un comité directeur est responsable de la réalisation du CETP. Ses membres sont des représentants du BCSD (Conseil mondial des entreprises pour un développement durable) et du Conseil chinois ainsi que de représentants d'ABB et de l'AGS. Les partenaires chinois, qui sont les principales parties prenantes et les principaux fournisseurs de données, ont un rôle décisif à jouer dans le développement du programme. L'outil à développer englobera la collecte de données et le développement de bases de données, une prévision de la demande, l'établissement de modèles énergétiques et économiques, une simulation du secteur électrique, une évaluation du cycle de vie, des études d'impact sur l'environnement, une évaluation des risques, des analyses d'intégration et un soutien à la décision. Le système sera optimisé pour les paramètres-clés (par exemple, le coût ou les émissions de dioxyde de carbone) et examinera également les

arbitrages qu'il faudra rendre en raison de préférences différentes, notamment des choix technologiques.

VI. CONCLUSIONS

Une croissance économique durable exige une innovation continue pour assurer une meilleure qualité de vie aux générations actuelles et futures. La technologie est l'un des principaux moteurs de cette innovation. Toutefois, pour saisir les opportunités de progrès économique, environnemental et social qu'offre la technologie, les personnes doivent savoir ce qui est possible et ce qui entrave le progrès. Elles doivent également être capables et désireuses de prendre des mesures et s'assurer un montant suffisant d'investissements. Pour les nations en développement, il s'agit là d'énormes obstacles à surmonter. Elles se trouvent engagées dans un cercle vicieux dans lequel l'investissement étranger est influencé par la perception de risques importants, des ressources limitées et des marchés étroits.

Cet article a passé en revue les différentes façons dont le secteur privé international contribue à lever ces obstacles et la manière dont cette contribution pourrait être accrue. Dans la mesure où l'investissement privé se concentre sur les projets commercialement attractifs comportant un niveau de risque acceptable, la priorité pour toutes les parties prenantes est de trouver le moyen d'accroître la visibilité et de réduire le risque des investissements souhaités, de relever le niveau de compétences pour utiliser efficacement la technologie et de trouver des moyens de réduire l'incertitude. Quelques suggestions, illustrées par des exemples, sont faites quant à la manière dont des partenariats créatifs entre secteur privé et secteur public et une utilisation imaginative des instruments de la politique internationale peuvent aider à la réalisation de ces objectifs.

Les avancées dans ce domaine supposent que soient réunies certaines conditions fondamentales, notamment les suivantes :

- Des économies bâties autour de sociétés stables, dotées d'un cadre juridique efficace et n'étant pas la proie des conflits et de la corruption.
- L'existence d'un nombre suffisant de projets économiquement attractifs qui requièrent l'utilisation des technologies en question.
- Les moyens d'obtenir ou de développer les compétences humaines requises pour réaliser ces projets.

En conséquence, les populations doivent partager la conviction que l'adoption de ces technologies les aidera à mieux vivre. Ce qui signifie :

- Qu'elles doivent être préparées, par leur éducation, à comprendre les risques et les avantages que comportent les technologies modernes.

- Qu'elles doivent définir, à travers les lois et autres conditions-cadres créés par leurs gouvernements, les types de choix qu'elles souhaitent promouvoir et encourager à l'intérieur du marché.
- Que des mécanismes adéquats d'assurance doivent permettre de contrôler que les progrès accomplis sont conformes à leurs attentes.

Bien que ces problèmes relèvent principalement de la compétence des gouvernements, conformément aux souhaits des opinions publiques, le secteur privé international apporte également sa contribution par sa présence durable à l'intérieur d'un système de marché efficace. Il s'agit d'une forme de bon sens commercial de plus en plus considérée comme entrant dans la responsabilité sociale de l'entreprise. Ce faisant, le secteur privé contribue largement à la diffusion de la technologie par les investissements qu'il effectue et les compétences qu'il contribue à développer. La principale tâche des organismes d'aide est de s'attaquer aux problèmes essentiels et néanmoins très difficiles des nations les plus pauvres. Cette tâche devrait être liée à l'engagement de la part des gouvernements hôtes de mettre en place des politiques favorisant la stabilité nécessaire pour garantir l'investissement futur et de soutenir leur développement durable grâce à l'amélioration des capacités matérielles et humaines.

BIBLIOGRAPHIE

- BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (BCSD) (1992),
Report on Technology Co-operation.
- CONSEIL MONDIAL DES ENTREPRISES POUR L'ENVIRONNEMENT (WICE) (1994),
Report on Technology Partnerships.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) (1998),
Technology Co-operation for Sustainable Development.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) (1999),
Corporate Social Responsibility: Interim Report.

LA RESPONSABILITÉ DES ENTREPRISES ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Table des matières

I. Introduction.....	202
II. Entreprises et environnement : facteurs de durabilité.....	203
III. Obstacles a la durabilité des entreprises.....	206
IV. Codes de conduite des entreprises.....	207
V. La responsabilité de l'entreprise et la diffusion des informations.....	212
VI. Conclusions.....	214
Bibliographie.....	216

I. INTRODUCTION

La notion de développement durable renvoie à la qualité du développement économique ainsi qu'à sa rapidité ou à son niveau. Après le Sommet « Planète Terre » tenu à Rio en 1992, de nombreux gouvernements ont fait du développement durable une priorité nationale dans l'élaboration de leur politique. Certains secteurs de l'industrie ont emboîté le pas. L'Article 30 d'Action 21 précise que la gestion de l'environnement devrait revêtir un rang de priorité élevé pour les entreprises. Etant donné que le débat passe de la protection de l'environnement au concept plus large de développement durable, certaines sociétés adoptent ce concept et en font une valeur centrale de l'entreprise. Toutefois, le développement durable est un objectif beaucoup plus complexe que la protection de l'environnement. Et faire « de l'or avec du vert » peut-être une entreprise coûteuse et se heurter à de nombreux obstacles d'ordre financier, social et même gouvernemental tout au long du processus (WBCSD, 1997).

Un des buts principaux du développement durable est de concilier les objectifs de la politique sociale et les intérêts divergents du secteur privé (PNUE, 1998*a*). Les entreprises les plus averties se sont employées à fournir des produits et des services de grande qualité, en procurant un rendement raisonnable à leurs actionnaires et en maintenant un milieu de travail satisfaisant pour les salariés. Avec les progrès de la mondialisation, l'importance croissante du gouvernement d'entreprise (OCDE, 1999*b*), l'apparition de consommateurs plus « conscients » et l'influence grandissante des groupes de pressions, l'entreprise doit satisfaire de plus en plus de partenaires, à savoir tous ceux qui sont touchés par leurs produits et leurs services dans une zone géographique en expansion. Les pouvoirs nationaux, régionaux et locaux, les organisations d'employeurs et de salariés, les associations de clients et de citoyens affichent de plus en plus d'exigences à l'égard des entreprises, exigences qui vont au-delà de leur fonction principale : produire des biens et des services

Les gouvernements, l'industrie et les partenaires sociaux finissent par reconnaître que les performances environnementales font partie intégrante des objectifs d'ensemble de la gestion d'une entreprise. Pour que les politiques de l'environnement soient efficacement mises en œuvre et que les engagements pris à l'échelle mondiale soient effectivement honorés, il faudra qu'un plus grand nombre d'entreprises améliorent leurs performances environnementales. Toutefois, c'est là une

condition préalable nécessaire mais non suffisante pour progresser vers un développement durable, lequel exigera l'intégration des objectifs socio-environnementaux dans les objectifs d'ensemble de l'entreprise. Les gouvernements devront mettre en place des cadres d'action, des infrastructures et des mécanismes appropriés pour rassembler et diffuser des données fiables qui rendront les coûts et les avantages pour l'environnement plus transparents et qui sensibiliseront les consommateurs. De cette manière, les consommateurs et la collectivité dans son ensemble pourront encourager l'entreprise à jouer un rôle de partenaire actif dans le développement durable et dégager des avantages nets.

Le présent article passe en revue diverses mesures actuellement prises par des sociétés et des entreprises face aux demandes croissantes qui leur sont adressées pour qu'elles adoptent un comportement plus *responsable à l'égard de la société* (WBCSD, 1999). Il signale notamment la multiplication, au plan régional, national et international, des codes de conduite et des principes destinés aux entreprises de divers secteurs et groupes industriels, et évalue leur aptitude à renforcer l'élan imprimé en faveur de la durabilité.

II. ENTREPRISES ET ENVIRONNEMENT : FACTEURS DE DURABILITÉ

La législation et les réglementations relatives à l'environnement exercent de fortes pressions sur les entreprises pour qu'elles améliorent leurs performances environnementales. Elles ont en fait un rôle moteur très important dans le comportement de ces dernières, au même titre que les valeurs de l'entreprise et les questions de coûts et de compétitivité. Dans le secteur industriel, les options offertes aux responsables pour améliorer leurs performances environnementales sont notamment les suivantes : techniques de lutte contre la pollution et de gestion des déchets, adoption de technologies non polluantes et de méthodes de production plus propres, recours à d'autres matières premières et à d'autres modes d'utilisation de l'énergie, éducation et formation des responsables et du personnel et conduite d'audits d'environnement. La réalisation des objectifs de durabilité nécessite une prise de conscience, la formation des responsables et du personnel, des innovations techniques et sociales, le transfert de technologies et la mise en place de nouveaux services et infrastructures.

Les avantages au niveau de la concurrence et des coûts également jouent désormais un rôle moteur dans l'action des entreprises en faveur de l'environnement. Pollution et déchets ont pour corollaire des procédés inefficaces et improductifs. De nombreuses entreprises sont à l'heure actuelle plus conscientes de l'importance de transformer leurs avoirs inactifs en éléments générateurs de recettes. Dans certaines conceptions des cycles de vie, les déchets sont perçus comme une ressource potentielle. En effet, les déchets d'une entreprise peuvent servir de

matières premières à un autre secteur, accroissant ainsi la productivité des deux branches d'activité et de l'économie dans son ensemble. L'élargissement du concept de durabilité aux économies et à la réalisation de bénéfices grâce à la réduction au minimum et à la commercialisation des déchets, à l'efficacité de la gestion et à l'association de la politique environnementale aux politiques sanitaires, sécuritaires et économiques a de fortes chances de mobiliser l'entreprise. Par exemple, l'*éco-conception* – la conception dans une perspective écologique et économique – désigne une pratique qui intègre les considérations environnementales dans les études de produits et de procédés et les méthodes de commercialisation. Les entreprises écologiques cherchent à réduire l'impact des produits à toutes les phases de leur cycle de vie et à établir un éco-équilibre entre la qualité et la quantité tout en réalisant des économies et des gains d'efficacité.

L'amélioration de l'éco-efficience – l'efficacité avec laquelle les ressources écologiques sont utilisées pour répondre aux besoins de l'être humain – est un des moyens qui permettra au secteur industriel de dissocier l'activité économique du rejet de polluants et de l'utilisation de ressources. Le Conseil des entreprises pour le développement durable (devenu le Conseil mondial des entreprises pour le développement durable ou WBCSD) a adopté en 1992, dans son rapport au Sommet « Planète Terre » de Rio, le concept d'éco-efficience en tant que concept de l'entreprise. Il indiquait que l'éco-efficience consistait à fournir des biens et services à des prix compétitifs, qui satisfont les besoins de l'être humain et qui contribuent à la qualité de la vie, tout en ramenant progressivement les impacts écologiques et l'intensité de ressources sur l'ensemble du cycle de vie à un niveau au moins compatible avec la capacité de charge estimée de la terre. Le WBCSD a posé les premiers jalons d'une stratégie d'entreprise visant à dégager une plus grande valeur pour un moindre impact, estimant que l'éco-efficience créait une passerelle indispensable entre le « développement durable » au niveau macro-économique et le « comportement des entreprises » au niveau microéconomique (WBCSD, 1997).

Des études réalisées par l'OCDE tendent à montrer que des améliorations de l'efficacité des ressources d'un facteur 10 étaient à la fois nécessaires et réalisables dans les trente années à venir (OCDE, 1998). Les critères d'éco-efficience retenus par le WBCSD sont notamment les suivants : réduire au minimum l'intensité de matières et d'énergie des biens et des services ; réduire au minimum le rejet des déchets et des produits toxiques ; accroître le cycle de vie des matériaux ; et optimiser l'utilisation des ressources renouvelables. Différentes entreprises ont cherché à élaborer des indicateurs et des objectifs pour parvenir à l'éco-efficience (par exemple, Eco-Compass de DOW/Europe) ; à apporter des changements fondamentaux aux procédés de production (« la réduction des déchets est toujours rentable ») ; à innover au niveau des produits (par exemple, « l'éco-téléviseur », le bureau sans papier) ; à modifier la relation producteur-consommateur (*Programme*

de récupération concluant de Xerox) ; et à appliquer les concepts liés à la responsabilité élargie des producteurs (par exemple, dans l'industrie automobile).

Des groupements de centres d'excellence industriels sont indispensables pour favoriser le partage des responsabilités, la mise en commun des objectifs et de nouveaux comportements dans le secteur privé. Ces groupements permettent souvent d'établir des liens solides entre la recherche et la production, les universités ou l'enseignement supérieur et l'industrie, comme c'est le cas du système interne de gestion de l'environnement aux Pays-Bas. En Irlande, le *Clean Technology Center* (Centre pour les technologies non polluantes), créé en 1991 sous forme d'un partenariat entre le *Cork Regional Technical College* et dix grandes entreprises de l'industrie chimique et pharmaceutique, est considéré comme un pôle d'innovation écologique. Le Centre s'emploie à promouvoir l'adoption de techniques qui réduisent au minimum les déchets et une application plus large des technologies propres et des procédés de production moins polluants. Le *Cork Regional Technical College* s'est occupé des problèmes d'environnement et a pris en compte la nécessité de former des diplômés ayant les compétences voulues pour le secteur industriel. Celui-ci a facilité l'accès à l'information et aux compétences. Enfin, la collectivité s'est employée à donner confiance en la gestion de l'environnement dans la région, tout en aidant les entreprises à se maintenir en activité et en attirant de nouvelles sociétés.

La participation active des citoyens est une condition *sine qua non* du développement durable, et de nombreuses entreprises réagissent aux préoccupations écologiques exprimées de façon plus systématique par le public en donnant d'elles-mêmes une image plus écologique. Les « consommateurs verts » peuvent demander aux entreprises de concevoir leur contribution au développement durable et d'en donner la preuve. Les médias disposent des moyens de sensibiliser l'opinion en faveur du développement durable et de créer de nouvelles voies de communication entre les scientifiques, les hommes politiques, les chefs d'entreprises et le public. Ils peuvent exercer de fortes pressions sur les entreprises pour qu'elles améliorent leurs performances et, indirectement, récompenser ou pénaliser les bonnes et les mauvaises pratiques, respectivement. Toutefois, dans certains cas, les médias peuvent aussi répandre de fausses informations. Il faut également des structures et des institutions de nature à établir un lien constructif entre la science et une meilleure information, d'une part, et les médias et l'attention des consommateurs, d'autre part.

L'image des sociétés et la réputation des marques de fabrique assument ainsi un rôle moteur plus important dans la durabilité des entreprises. Dans de nombreux pays, des groupes de pression et les médias peuvent créer un climat de confiance à l'égard des entreprises écologiquement viables (PNUE, 1998c). A l'autre bout de l'échelle, les sociétés qui n'ont pas déclaré leur engagement en faveur d'un développement durable peuvent se heurter au boycottage des

consommateurs, échouer à attirer des investisseurs et des salariés et rencontrer des obstacles auprès des sources de financement et des assureurs. On peut penser qu'en prenant position en faveur du développement durable, les sociétés adoptent une approche préventive qui leur permet de se conformer rapidement aux réglementations écologiques, et également d'améliorer leur image auprès d'une certaine fraction du public.

III. OBSTACLES A LA DURABILITÉ DES ENTREPRISES

Les principaux obstacles qui empêchent les entreprises de progresser vers un développement durable sont associés aux défaillances du marché et des pouvoirs publics et aux dysfonctionnements systémiques. Les défaillances du marché découlent, avant tout, du prix des ressources et d'autres facteurs de production qui excluent les externalités (par exemple, le coût total pour la société d'une réduction des ressources en air pur ou en eau propre). En matière d'environnement, les prix devraient mieux refléter l'ensemble des coûts et avantages de diverses activités pour la société, et les forces du marché devraient intervenir là où elles n'existent pas actuellement. Afin d'améliorer les mécanismes de fixation des prix dans la perspective d'un développement durable, il faut définir un dosage de mesures efficaces comprenant notamment une réforme des subventions, des instruments économiques, des accords souscrits volontairement, l'éco-étiquetage et des systèmes de certification, ainsi qu'une réforme des structures réglementaires et institutionnelles et des mécanismes d'appui horizontal (recherche, éducation et technologie) (OCDE, 1999a). Une coopération internationale est également nécessaire pour réduire les distorsions des prix à l'échelle mondiale (par exemple, exonérations fiscales pour l'utilisation d'énergie dans les transports internationaux). Les politiques gouvernementales risquent ainsi d'aggraver les défaillances du marché en s'abstenant de corriger – ou en faussant davantage – le mode de fixation des prix pour les biens et services liés à l'environnement.

Les défaillances du marché peuvent aussi être le résultat d'asymétries dans l'information et les incitations. Le manque d'information sur les stratégies et tactiques de durabilité, les pratiques et techniques exemplaires, l'utilisation durable des ressources naturelles, une production non polluante, l'impact sur l'environnement des produits et des pratiques ou les outils de gestion de la durabilité sont souvent les causes principales de l'inaction des responsables. Toutefois, même quand cette information est disponible, le passage à la prise de conscience, à la connaissance, à la planification et à l'action peut se heurter à de multiples obstacles financiers et socioculturels. En matière d'information, l'absence de réseaux et de relations appropriés entre les acteurs économiques de la société – en particu-

lier entre services public et privé – est un exemple de dysfonctionnement systémique qui contribue au sous-investissement dans le développement durable.

La plupart des entreprises reçoivent des informations d'ordre écologique de diverses sources (employeurs et syndicats, organismes de réglementation, services publics, universités et sociétés de conseil). Malgré cette grande diversité, ou peut-être à cause d'elle, les entreprises peuvent estimer avoir besoin d'un plus grand nombre de données spécifiques sur l'intégration des objectifs environnementaux et socio-économiques et sur les outils de gestion de la durabilité. Dans un premier temps, il leur faut, à la lumière de cette information, repenser leurs priorités et leurs approches en matière de gestion et créer une culture d'entreprise où s'inscrivent les principes et les valeurs liés à la protection de l'environnement. La formation des dirigeants et du personnel revêt une importance fondamentale si l'on veut que les informations disponibles débouchent sur une prise de conscience et visent tous les aspects du processus de décision au niveau de l'entreprise.

La sensibilisation à l'environnement, toutefois, ne joue peut-être pas toujours un rôle utile, face aux droits acquis ou à une pénurie de ressources financières et techniques, en particulier en cas de récession économique dans certaines régions et à certaines périodes. Les pratiques exemplaires sont importantes pour convaincre les entreprises que les ressources financières mises au service du développement durable représentent un investissement productif et non une dépense coûteuse et inutile. Le renforcement des capacités et une gestion rentable, efficace et équitable des ressources sont des outils importants au niveau de l'entreprise sur la voie du développement durable.

IV. CODES DE CONDUITE DES ENTREPRISES

Les codes de conduite des entreprises dans la perspective d'un développement durable sont des principes directeurs qui définissent le comportement éthique des entreprises en les incitant à prendre en compte des considérations socio-environnementales dans le cadre de leurs activités. Ils s'inscrivent souvent dans une stratégie globale visant à promouvoir la responsabilité des entreprises. L'adhésion d'une entreprise à la cause du développement durable par le biais de codes de conduite est un concept qui est encouragé au même titre que celui des droits de l'homme, des droits des salariés, de la participation de la collectivité, des relations entre fournisseurs, du suivi et des droits des parties prenantes (WBCSD, 1999 ; PNUE, 1999). Il existe un grand nombre de codes de conduite facultatifs, établis par des organismes gouvernementaux nationaux et internationaux, par des associations professionnelles et par les entreprises elles-mêmes. Les codes plus anciens sont axés sur les performances environnementales tandis que les plus récents abordent le concept plus intégré de développement durable. Ces

codes varient sensiblement, allant des déclarations de caractère général et des références symboliques à des actions plus ciblées et des repères concrets. On trouvera au tableau 1 des exemples de codes de conduite des entreprises portant sur les performances environnementales et la durabilité. En outre, des codes sur la protection de l'environnement ont été élaborés par des centaines de groupes d'entreprises et de grandes sociétés dans les pays de l'OCDE (Adams, 1999).

Récemment, l'OCDE a réalisé un inventaire des codes de conduite des entreprises au plan international, national et sectoriel qui a montré que l'action en faveur de l'environnement (à savoir une utilisation durable des ressources naturelles, la gestion des déchets, les économies d'énergie, la réduction des risques et la protection de la biosphère) correspondait à l'un des cinq types de comportement définis de façon générale dans ces codes. Les problèmes d'environnement étaient abordés dans plus de la moitié d'entre eux. Les autres domaines avaient trait aux pratiques commerciales loyales, au respect de la légalité, aux conditions équitables d'emploi et aux droits du travailleur et à l'entreprise citoyenne. Conformément à la description donnée dans l'inventaire, ces codes de conduite étaient le fait d'un engagement volontaire pris par des entités commerciales et industrielles qui y trouvaient des normes et des principes pour mener leurs activités. Dans certains cas, l'adhésion était une condition préalable de la qualité de membre d'une association professionnelle ou de la reconnaissance d'une étiquette écologique. La majorité de ces codes se fondaient sur un suivi interne.

Tableau 1. Exemples de codes de conduite des entreprises

	Internationaux	Nationaux
Publics		
Ensemble du secteur industriel	Action 21 : chapitre 30 Les principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales	
Niveau sectoriel	Déclaration du PNUE à l'intention des institutions financières Déclaration du PNUE à l'intention des compagnies d'assurance	
Privés		
Ensemble du secteur industriel	Charte des entreprises pour le développement durable de la CCI	Principes de la CERES (États-Unis) Charte pour l'environnement Keidanren (Japon)
Niveau sectoriel	Charte pour l'environnement du Conseil international des métaux et de l'environnement Programme de gestion responsable (industrie des produits chimiques) <i>Green Globe</i> (industrie du tourisme)	Code de gestion environnementale à l'intention de l'industrie des minéraux (Australie)

Dans le domaine de l'environnement, le code international intergouvernemental le plus important est l'Action 21 qui constitue un plan de développement durable et qui a été adopté par les gouvernements lors du Sommet « Planète Terre » en 1992, après des consultations approfondies avec des représentants d'entreprises et d'organisations non gouvernementales (ONG). Il a donné une forte impulsion aux déclarations formulées en faveur de la durabilité à tous les niveaux. Le chapitre 30 d'Action 21 souligne la nécessité du renforcement du rôle du commerce et de l'industrie et indique deux domaines d'activité prioritaires. La plupart des déclarations de principe formulées par le secteur des entreprises après 1992, tant sur le plan individuel que collectif, national et international, font écho aux principes et priorités énoncés dans l'Action 21.

Parmi les autres exemples de codes de conduite élaborés au plan international intergouvernemental et appliqués volontairement par les entreprises, on citera *Les Principes directeurs de l'OCDE à l'intention des entreprises multinationales* adoptés en 1976 en tant qu'instrument non contraignant, et qui actuellement font l'objet d'un quatrième processus de réexamen et de révision. Le présent réexamen permettra notamment de passer en revue les codes de conduite existants en vue de mettre en évidence les principaux domaines sur lesquels pourraient porter les Principes directeurs révisés. Une enquête de référence réalisée en 1991 par la CNUCED fait apparaître que 43 % de 170 entreprises multinationales, principalement des grandes sociétés implantées en Amérique du Nord et en Europe, avaient publié des déclarations sur l'environnement pour orienter leurs activités internationales ; 60 % de ces sociétés opéraient dans le secteur des industries extractives (CNUCED, 1993).

Les codes élaborés par des organisations intergouvernementales à l'intention de secteurs particuliers comprennent notamment les *Déclarations du PNUE* sur l'environnement et le développement durable, destinées au secteur financier et aux compagnies d'assurance. La déclaration intéressant le secteur financier, révisée en 1997 et adoptée par plus de 100 sociétés, et la déclaration sur les assurances de 1995, signée par 75 sociétés, représentent une démarche volontaire importante sur le plan international. Ces deux codes comprennent un préambule, des principes généraux sur le développement durable, des principes directeurs pour la gestion de l'environnement et des orientations pour la sensibilisation du public et la communication. La déclaration destinée au secteur des assurances reconnaît que le développement économique devrait être compatible avec la protection de l'humanité et un environnement salubre. Selon le code, le développement durable est un aspect fondamental d'une gestion saine des entreprises. Par ailleurs, un secteur des assurances efficace et anticipatif apporte une contribution majeure au processus grâce à son interaction avec d'autres secteurs économiques et consommateurs. Le code donne à entendre que la meilleure façon d'instaurer un développement durable est de permettre aux marchés de travailler dans un cadre approprié de réglementations et d'instruments économiques avantageux. La déclaration du

PNUE destinée aux institutions financières part du principe que le développement durable relève de la responsabilité collective des gouvernements, des entreprises et des particuliers. Les deux secteurs considérés font apparaître la nécessité d'effectuer périodiquement des analyses internes de l'environnement (PNUE, 1997b).

S'agissant des codes élaborés par des associations industrielles internationales, la *Charte des entreprises pour le développement durable* de la Chambre de commerce internationale (CCI), lancée en 1991 à la deuxième conférence mondiale de l'industrie sur la gestion de l'environnement à Rotterdam, est peut-être la plus connue. Elle a été approuvée par plus de 2000 entreprises représentant divers secteurs industriels. La Charte souligne qu'il doit y avoir convergence et non conflit entre le développement économique et la protection de l'environnement. Elle renferme 16 principes généraux et invite les entreprises à formuler des principes plus spécifiques (CCI, 1992). Ces 16 principes font de la gestion de l'environnement une priorité de l'entreprise et préconisent une action intégrée et un processus d'amélioration. Plus précisément, ils soulignent la nécessité de former le personnel, d'évaluer au préalable l'impact sur l'environnement, de fournir des produits et des services écologiques, de conseiller les consommateurs, de concevoir et de mettre en place des installations et activités dans une perspective écologique, d'adopter des mesures préventives, d'élaborer des plans de préparation aux situations d'urgence, de transférer les technologies, et de respecter les objectifs et de diffuser des informations. La promotion de l'adoption de ces principes par les entrepreneurs et les fournisseurs figure également au nombre des principes généraux énoncés dans la Charte de la CCI.

Des codes de conduite internationaux ont également été établis par des sociétés dans des secteurs industriels particuliers. Il s'agit notamment du *Programme de gestion responsable* de l'industrie chimique et de la *Charte pour l'environnement* du Conseil international des métaux et de l'environnement. Des initiatives intéressantes ont également été prises par le secteur des voyages et du tourisme qui reconnaît désormais qu'il ne peut se maintenir que s'il se développe de façon durable. La pureté de l'air et de l'eau et un site pittoresque sont au cœur de ce secteur et il faut mettre en œuvre de nouvelles stratégies pour conserver les ressources qui attirent les touristes.

En 1995, l'Organisation mondiale du tourisme et le Conseil de la Terre ont publié un rapport conjoint intitulé *Action 21 pour l'industrie des voyages et du tourisme – vers un développement durable*. Ce rapport préconise d'établir un équilibre entre les initiatives privées, les instruments économiques et les réglementations, de traduire en actions locales les principes généraux et d'établir de nouveaux partenariats publics-privés afin de pouvoir progresser sensiblement et de façon constructive. Le Programme *Green Globe* du Conseil mondial du tourisme et des voyages (CMTV) encourage les sociétés à s'engager dans un cycle vertueux d'amélioration et de responsabilisation permanente au service du développement durable.

Des codes sur le tourisme ont été publiés par un grand nombre d'organisations comme les conseils nationaux du tourisme, les associations régionales d'agents de voyage et de voyagistes, et les organismes de protection de l'environnement (par exemple Legambiente). Ils renferment diverses déclarations telles que *Tourists' Eco-decalogue*, *Green Claims Code*, *Responsible Traveller Guidelines* et d'autres principes visant à assurer un développement équilibré du tourisme.

A l'échelon national, une déclaration visant le secteur industriel a été publiée par la *Coalition for Environmentally Responsible Economies* (CERES), créée en 1989 par 15 grands groupes américains de défense de l'environnement et par divers investisseurs et fonds de pension publics socialement responsables. Les signataires proclament leur responsabilité à l'égard de l'avenir de la Terre et leur intention de mener toutes les activités de l'entreprise en tant que gestionnaires responsables de l'environnement. La déclaration renferme dix principes et précise que les sociétés qui approuvent la déclaration s'engagent à aller volontairement au-delà des dispositions de la loi et à mettre constamment à jour leurs pratiques à la lumière des progrès de la science et de la technologie. Les principes sont centrés sur la gestion de la durabilité et visent les domaines suivants : protection de la biosphère, utilisation durable des ressources, réduction et évacuation des déchets, économies d'énergie, réduction des risques, produits et services écologiques, remise en état de l'environnement, fourniture d'informations et importance accordée à la gestion (CERES, 1998a, 1998b). De même, la Fédération japonaise des organismes économiques (*Keidanren*) a publié des codes de conduite sur l'environnement dont les *Principes directeurs sur l'environnement pour les entreprises japonaises opérant à l'étranger*.

Parmi les codes nationaux élaborés par un secteur industriel particulier, on peut citer le *Minerals Industry Code for Environmental Management* de l'Australie (Code de gestion environnementale à l'intention de l'industrie des minéraux) de 1996. Ce code a été établi après qu'eut été reconnue la nécessité de parvenir à l'excellence en protection de l'environnement et d'être ouvert et responsable à l'égard de la collectivité. Les signataires s'engagent à répondre aux préoccupations de la collectivité par des consultations, la présentation de résultats confirmés et des améliorations permanentes. Ils s'engagent notamment à gérer les activités de manière compatible avec les principes du développement durable, à développer une culture responsable du point de vue écologique, à consulter la collectivité, à appliquer des techniques de gestion des risques, à intégrer la gestion de l'environnement dans toutes leurs activités, à fixer des objectifs de performance environnementale, à veiller à ce que les sites déclassés soient remis en état et à faire rapport sur l'application du code par l'entreprise.

Pour résumer, les principes essentiels formulés dans la plupart des codes de conduite pour faire en sorte que les entreprises adoptent un comportement écologiquement viable, sont exposés dans l'encadré 1.

Encadré 1. Principes essentiels des codes de conduite

Pour œuvrer en faveur du développement durable dans leurs programmes et pratiques, les entreprises devraient :

- Définir des politiques de portée mondiale en vue de progresser vers le développement durable.
- Intégrer la gestion financière, économique et sociale à titre de priorité de l'entreprise.
- Adopter des politiques et pratiques à l'échelle de l'entreprise pour atteindre des objectifs socio-économiques et environnementaux intégrés.
- Encourager ces politiques tout au long de leurs chaînes d'approvisionnement.
- Veiller à une utilisation durable des ressources naturelles et à une production non polluante.
- Mettre en œuvre des méthodes de gestion des risques et de prévention des accidents.
- Adopter des stratégies fondées sur le cycle de vie des produits et des services.
- Promouvoir la diffusion des travaux de recherche, innovations et technologies pour progresser vers un développement durable.
- Dispenser un enseignement et une formation aux dirigeants et au personnel dans le domaine du développement durable.
- Évaluer leurs performances en termes de durabilité et leur contribution globale au développement durable.
- Réaliser des audits externes des performances environnementales.
- Publier leur rapport sur la durabilité et favoriser l'ouverture et le dialogue avec les parties prenantes.

V. LA RESPONSABILITÉ DE L'ENTREPRISE ET LA DIFFUSION DES INFORMATIONS

Si les codes de conduite constituent des déclarations de principe, il est difficile d'évaluer leur efficacité et leurs effets réels sur le comportement des entreprises. Il faut examiner la manière dont les principes s'inscrivent dans les pratiques quotidiennes des entreprises et mettre en lumière les décalages entre les intentions et les actes, et les ajustements qui sont apportés. La responsabilité, l'évaluation et la diffusion publique d'informations sont autant d'éléments nécessaires pour améliorer les performances des entreprises en termes de durabilité. Toutefois, la diffusion d'informations laisse à désirer. La nature volontaire, non contraignante, de la plupart des codes de conduite est liée à l'absence d'audit

indépendant, même si en général les codes prévoient la nécessité d'un suivi, d'une évaluation et d'une notification. Toutes les organisations qui travaillent sur des codes de conduite et sur la diffusion d'informations conviennent que des indicateurs et des repères communs sont indispensables pour évaluer les performances environnementales des entreprises.

Un nombre croissant d'entreprises ont choisi volontairement de diffuser leurs informations à la fois sous forme de rapports d'entreprise sur l'environnement et de chapitres spéciaux dans les rapports annuels d'entreprise. Toutefois, le tableau est loin d'être complet. La CERES signale un décalage entre la quantité et la qualité des informations fournies en ce qui concerne le respect des codes de conduite par les entreprises. Cela est dû, en partie, aux différents modes de présentation et paramètres employés par chaque entreprise, qui rendent les comparaisons difficiles. Les rapports personnalisés risquent de troubler plutôt que d'éclairer les partenaires.

Toutefois, des efforts prometteurs sont faits pour harmoniser l'information diffusée auprès du public, grâce à des données et paramètres uniformisés. Des initiatives louables ont été prises dans le cadre de la CERES, de l'industrie chimique européenne, du programme *Green Accounts* du gouvernement danois, de l'*Investor Responsibility Research Centre* (IRRC), de l'Association allemande pour la gestion environnementale dans les banques et les compagnies d'assurance (Vfu), du *World Resources Institute*, du WBCSD et des principes directeurs non contraignants sur la diffusion d'informations établis par le Gouvernement néerlandais. Le cabinet de consultant SustainAbility, en collaboration avec le PNUE, a organisé des enquêtes de référence dans lesquelles le développement durable est un des cinq thèmes retenus pour classer les entreprises, parallèlement aux méthodes de gestion, aux inventaires des entrées/sorties, aux méthodes financières et aux partenariats (PNUE, 1999).

Action 21 renferme des dispositions concernant la notification d'informations sur l'état de l'environnement, y compris sur la diffusion publique de données sur les émissions (PNUE, 1994). Parmi les codes de conduite, les principes de la CERES sont peut-être ceux qui mettent le plus l'accent sur l'application de mesures de suivi et la diffusion publique d'informations sur les progrès accomplis. Les entreprises s'engagent à établir chaque année un rapport CERES et à évaluer les atouts et les faiblesses de leurs stratégies de gestion de l'environnement. Ces rapports aident les parties prenantes et les investisseurs à participer plus pleinement à la fixation des objectifs des entreprises et à évaluer dans quelle mesure celles-ci adhèrent aux normes énoncées dans leurs déclarations. Le rapport CERES, qui est un document normalisé et détaillé élaboré en 1990 et révisé chaque année, a été une initiative majeure pour encourager les entreprises à jouer la transparence en matière d'environnement, et ce par une diffusion publique harmonisée de l'information.

En outre, la CERES a lancé en 1997 la *Global Reporting Initiative* (GRI) qui vise à jeter les bases d'un mécanisme mondial d'établissement de rapports sur la durabilité des entreprises, qui soit normalisé et fondé sur le volontariat et la participation des divers acteurs. Cette initiative a pour objet de mettre à profit l'intérêt croissant pour la diffusion d'informations, selon un processus intégré, équilibré et efficace qui englobe une grande diversité de conceptions et de compétences. Elle cherche à développer dans le monde un intérêt pour la notification normalisée d'informations et à créer une plate-forme internationale pour suivre, recommander et améliorer sans cesse le processus. Elle tend à élever le mécanisme de notification d'informations sur la durabilité au niveau du mécanisme de notification financier en assurant un flux régulier d'informations cohérentes, comparables et vérifiables, recouvrant tous les secteurs d'activité et toutes les régions. Les outils mis en place comprennent un ensemble de paramètres de base applicables à toutes les entreprises, des ensembles de paramètres par secteur et un mode de présentation uniforme pour communiquer l'information. La CERES admet que beaucoup restent à faire pour que cette initiative soit reconnue sur le plan universel mais elle estime que les retombées en termes de résultat et de durabilité des entreprises pourraient être considérables.

VI. CONCLUSIONS

La prolifération des codes de conduite destinés aux entreprises est une évolution positive qui montre que le secteur industriel est désireux de contribuer effectivement au développement durable. De nombreuses entreprises finissent par comprendre que le *statu quo* n'est plus possible. Toutefois, on ne voit pas clairement si ces codes de conduite indiquent un réel engagement en faveur du développement durable, au-delà d'une campagne de relations publiques. On ne sait pas non plus dans quelle mesure les principes sont traduits en acte et s'ils reflètent une véritable adhésion à la durabilité.

Actuellement, le suivi et l'évaluation du niveau d'application des codes et de leur réelle influence sur le comportement des entreprises restent une gageure. Le suivi des résultats, la diffusion publique d'informations et des évaluations comparatives sont essentiels pour déterminer la *valeur ajoutée d'une entreprise en termes de durabilité*. L'élaboration de codes de conduite et la diffusion publique d'informations concernant leur application sont les deux faces d'une même pièce. La cohérence entre les intentions et les actes est un indicateur important de la fiabilité des entreprises et un point de départ pour encourager le dialogue public. Toutefois, les intentions et les rapports ne sont pas toujours liés. Les informations diffusées n'aident peut-être pas toujours à évaluer le « degré de réalisation » des objectifs et buts déclarés. Les échecs et les mauvaises pratiques ne sont presque jamais

signalés, alors que leur notification pourrait donner des éclaircissements sur les problèmes et obstacles rencontrés pour appliquer les codes.

Enfin, le pouvoir symbolique des codes de conduite aux fins de la gestion de l'environnement et du développement durable ne devrait pas être sous-estimé. Ils représentent un nouveau vocabulaire pour articuler l'éthique des entreprises, introduire des pratiques novatrices et opérer un changement de paradigme. Ils peuvent donner une nouvelle impulsion au secteur privé afin qu'il assume une plus grande responsabilité à l'égard du développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, J. (1999),
« Foreign Direct Investment and the Environment: The Role of Voluntary Corporate Environmental Management », dans *Foreign Direct Investment and the Environment*, OCDE, Paris.
- CERES (1998*b*),
Green Metrics, Boston.
- CHAMBRE DE COMMERCE INTERNATIONALE (CCI) (1992),
Charte des entreprises pour le développement durable, Paris.
- CNUCED (1993),
Environmental Management in Trans-national Corporations: Report on the Benchmark Corporate Environmental Survey, Genève.
- COALITION FOR ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ECONOMIES (CERES) (1998*a*),
Corporate CERES Reports, Boston.
- OCDE (1998),
Eco-efficience, OCDE, Paris.
- OCDE (1999*a*),
Le projet triennal de l'OCDE sur le développement durable : Rapport d'étape, OCDE, Paris.
- OCDE (1999*b*),
Principes de gouvernement d'entreprise de l'OCDE, OCDE, Paris.
- PNUE (1997*a*),
Engaging Stakeholders: The 1997 Benchmark Survey. The Third International Progress Report on Company Environmental Reporting, PNUE/SustainAbility, Londres.
- PNUE (1997*b*),
Voluntary Industry Codes of Conduct for the Environment, Rapport technique n° 40, Paris.
- PNUE (1998*a*),
Engaging Stakeholders: The CEO Agenda, PNUE/SustainAbility, Londres.
- PNUE (1998*b*),
Engaging Stakeholders. The Non-Reporting Report, PNUE/SustainAbility, Londres.
- PNUE (1998*c*),
Sustainable Business: Economic Development and Environmentally Sound Technologies, Regency Corporation Ltd., Londres.
- PNUE (1999),
The Social Reporting Report, PNUE/SustainAbility, Londres.
- PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT (PNUE) (1994),
Company Environmental Reporting: A Measure of the Progress of Business and Industry Towards Sustainable Development, Rapport technique n° 24, Paris.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) (1997),
Cleaner Production and Eco-efficiency, Genève.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD) (1999),
Meeting Changing Expectations: Corporate Social Responsibility, Genève.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI) (1998),
The Next Bottom Line. Making Sustainable Development Tangible, Washington, DC.

NOTIFICATION PAR L'INDUSTRIE DES POLLUANTS DE L'ENVIRONNEMENT

Table des matières

I. Introduction.....	220
II. Inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes.....	221
III. Coûts et avantages des notifications	222
IV. La conception d'un système de notification.....	225
V. Exemples nationaux.....	229
VI. Conclusions	234
Bibliographie	236

I. INTRODUCTION

En cette ère de technologie de l'information, les données et l'information revêtent une importance sans précédent dans le fonctionnement d'une économie qui a pris une dimension mondiale. S'ils ont accès aux bonnes données, les pouvoirs publics, les industriels et l'homme de la rue disposent d'un outil leur permettant d'influer sur la croissance économique, le produit intérieur brut, les déséquilibres dans les échanges, la viabilité financière et l'état de l'environnement. C'est précisément à cause de l'importance vitale de ces données que les pouvoirs publics sont de plus en plus nombreux à élaborer des systèmes offrant une meilleure qualité d'information concernant l'environnement. A l'avenir, pour être en mesure d'arrêter et de mettre en œuvre des politiques dans ce domaine, il leur faudra connaître leur environnement national ; ils auront besoin pour cela d'un instrument leur permettant de mesurer de manière rigoureuse et systématique les changements affectant l'état de l'environnement.

Pour ce faire, de nombreuses administrations collectent déjà des données sur diverses émissions affectant les différents milieux de l'environnement comme l'eau, l'air ou la terre.

Parmi les outils de plus en plus utilisés par les pouvoirs publics pour collecter des données *intégrées* sur les rejets chimiques dans l'atmosphère, l'eau et la terre, il en est un, dénommé « inventaire des émissions et des transferts de matières polluantes » (IETMP), grâce auquel les administrations, les industriels et le public peuvent avoir connaissance des émissions et des transferts de substances chimiques et autres agents polluants dans l'environnement.

Ces dernières années, l'intérêt pour les IETMP a rapidement pris une dimension planétaire. A l'origine des travaux sur les IETMP menés à l'échelon international, se trouve le chapitre 19 d'Action 21, document de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED). Ce chapitre, qui traite de la gestion écologiquement rationnelle des substances chimiques toxiques, appelle les pouvoirs publics à mettre au point et à améliorer les bases de données dont ils disposent sur les produits chimiques, dont les inventaires d'émissions. Le Principe 10 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, qui date également du sommet de 1992 de la CNUED, affirme que la meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient, que chaque individu doit avoir dûment

accès aux informations relatives à l'environnement, et que les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci.

Si, par le passé, les pouvoirs publics arrêtaient des politiques de l'environnement ponctuelles, en réponse à tel incident ou telle crise, ils disposent avec les IETMP d'un outil de nouvelle génération. Les administrations, les industriels et le public peuvent mettre à profit les données sur les émissions de polluants pour surveiller et évaluer les charges pour l'environnement que constituent des substances chimiques dont ils craignent la toxicité éventuelle. Tous trois peuvent utiliser les résultats de ces inventaires pour déceler des problèmes écologiques potentiels et prendre des mesures avant que la situation ne devienne critique, mais aussi pour améliorer les rendements, surveiller les résultats d'une politique de l'environnement et réduire les volumes de déchets. Les pouvoirs publics ont besoin de connaître l'état de l'environnement de leur pays et de disposer d'un instrument leur permettant de mesurer les changements qui l'affectent de manière rigoureuse et systématique. Pour ce faire, il leur faut des données, indiquant les volumes d'émission et de transfert de substances prioritaires par installation d'origine. Bien conçu, un IETMP peut fournir ces données essentielles sur l'état de l'environnement et, au bout du compte, permettre de le gérer de manière plus rationnelle.

II. INVENTAIRES DES ÉMISSIONS ET DES TRANSFERTS DE MATIÈRES POLLUANTES

Un IETMP est un inventaire des polluants rejetés dans l'atmosphère, l'eau ou la terre et des déchets transportés de leur lieu de production jusqu'à des installations de traitement et d'élimination. Les installations qui rejettent une ou plusieurs des substances chimiques figurant sur cette liste rendent compte périodiquement (en règle générale, une fois par an) de la nature et du volume de leurs rejets ainsi que du milieu dans lequel ces rejets ont été déversés.

Ce système a pour principal objectif de recueillir et de collationner des données sur les substances chimiques potentiellement nocives et sur les transferts de déchets dans tous les milieux de l'environnement : atmosphère, eau et terre, suivant leur origine. Il permet de centraliser les données dont les pouvoirs publics ont absolument besoin pour prévenir la pollution et gérer les produits chimiques. Grâce à ces informations, ceux-ci peuvent déterminer des priorités afin de réduire, voire d'éliminer, les rejets dont le potentiel de nocivité est le plus élevé.

Les IETMP varient en fonction des besoins, de la situation, des objectifs en matière d'environnement et des priorités de chaque pays. Tous les systèmes en place ont des finalités et opèrent en fonction d'objectifs différents. Par conséquent, leur conception et leur mode de fonctionnement varie. Il n'existe pas de taille ou

de conception unique, valable pour tous étant donné que chaque pays, chaque culture et chaque situation a sa spécificité. Adapté aux priorités nationales en matière d'environnement, un IETMP est un moyen de retracer dans le temps le parcours des polluants depuis leur production, en passant par leur rejet et jusqu'à leur destination finale.

Bien que spécifiques à chaque pays dans leur conception, les IETMP nationaux présentent des aspects communs, des caractéristiques récurrentes qui en modèlent la structure, à savoir :

- Une liste des substances potentiellement nocives regroupant les caractéristiques des produits chimiques.
- La notification des émissions et des rejets, comportant des données intégrées ou relatives à plusieurs milieux (atmosphère, eau, terre).
- La notification des données par source.
- Une certaine périodicité de ces notifications (généralement annuelle).
- La mise à disposition de ces informations auprès du public, habituellement site par site.

En résumé, un IETMP est donc une base de données sur l'environnement ou un inventaire des rejets potentiellement nocifs dans l'atmosphère, l'eau et le sol, ainsi que des déchets transportés jusqu'à des installations de traitement et d'élimination. Outre les notifications d'émissions d'origine fixe ou ponctuelle, certaines versions d'IETMP recensent aussi les rejets diffus, dont ceux provenant des transports et de l'agriculture. Ces inventaires ont entre autres caractéristiques essentielles le fait que les données et informations qu'ils contiennent sont mises à la disposition du public. Aux termes d'Action 21, « ces données devraient être mises à la disposition des autorités nationales compétentes, des organismes internationaux et des autres parties concernées qui s'occupent de l'évaluation des dangers et des risques, et, dans toute la mesure du possible, à la disposition du public, tout en tenant compte du droit légitime au secret industriel ».

III. COÛTS ET AVANTAGES DES NOTIFICATIONS

La mise en place d'un système intégré de notification des substances polluantes entraîne un certain nombre d'avantages, mais elle a aussi un coût. Pouvoirs publics, secteur privé et secteur public font tous des usages différents de ce système et n'en tirent pas les mêmes avantages. Ceux-ci sont fortement tributaires de la finalité, des objectifs, de la conception et du fonctionnement de chaque système pris individuellement. Quoi qu'il en soit, les avantages offerts par un IETMP ont effectivement un coût. Comme on peut s'y attendre, c'est au démarrage du premier cycle de notification que ces coûts sont le plus élevés ; en effet : i) les organes

déclarants doivent commencer par déterminer les données à recenser ; ii) les pouvoirs publics doivent recueillir, collationner, structurer et diffuser les informations ; et iii) le public doit apprendre à accéder aux données produites par le système d'IETMP.

L'expérience des systèmes d'IETMP acquise par les pays Membres de l'OCDE montre que c'est à l'occasion des premier et deuxième cycles de notification que les pouvoirs publics et les sociétés déclarantes engagent les frais les plus élevés. Après cette mise de fonds initiale, les coûts de recueil, de communication et de collationnement des informations baissent considérablement. Pour l'industrie, les coûts initiaux sont plus faibles, ce qui s'explique par le fait que désormais, de nombreuses entreprises recueillent des données sur les émissions et les transferts, ou autres informations analogues, dans le cadre de leurs programmes de management environnemental. Comme, au niveau international, les entreprises sont de plus en plus nombreuses à collecter ce type de données pour identifier les déchets et les pertes de matières premières, peu à peu leurs employés savent mieux de quel type d'informations ils ont besoin pour calculer les émissions et les transferts de polluants, ce qui fait baisser les coûts de formation et de recyclage lors de la mise en place d'un programme d'IETMP.

Par ailleurs, des enquêtes effectuées récemment montrent que les coûts de mise en œuvre des nouveaux systèmes IETMP sont généralement plus faibles que ne l'ont été ceux du premier système national, inauguré aux États-Unis en 1988. Ceci s'explique par le fait que, le plus souvent, les entreprises ont déjà mis en place un système de management environnemental et automatisé la collecte des données dont elles ont besoin pour évaluer les émissions de polluants, ce qui contribue à faire baisser les coûts de notification des données recensées dans les IETMP.

Les avantages sont multiples. Les données des IETMP permettent aux pouvoirs publics de suivre les progrès accomplis grâce à leurs politiques de lutte contre la pollution ou de réduction des émissions de substances chimiques, et de dégager des tendances dans le temps. Les résultats obtenus permettent de calculer l'efficacité des mesures de protection de l'environnement et indiquent sur quels aspects doivent porter les ajustements à effectuer ou les nouvelles mesures à adopter. En outre, ces données peuvent servir à assurer un suivi des objectifs et des engagements pris dans le cadre de conventions ou d'accords internationaux de protection de l'environnement, ou de l'application de stratégies ou de plans nationaux définissant des priorités écologiques. Qui plus est, les données des IETMP peuvent :

- Aider à désigner des secteurs dans lesquels les technologies assurant une production moins polluante devront être introduites en priorité.

- Fournir des données importantes pour les travaux d'aménagement du territoire et de délivrance de permis à des sources potentielles de pollution.
- Fournir des indicateurs permettant de surveiller les performances de l'industrie et des pouvoirs publics en matière de respect de l'environnement.
- Donner des informations sur les rejets accidentels tels que les déversements ou les émissions dues à un incendie dans une usine, qui pourront être utilisées pour formuler des plans d'urgence.
- Illustrer les résultats de telle ou telle politique des pouvoirs publics ou de l'industrie en matière d'environnement.
- Contribuer à orienter la recherche et le développement vers la prévention de la pollution, le recyclage ainsi que les technologies de récupération et de réutilisation.

S'agissant de l'industrie, la collecte et la notification de données sur les émissions et les transferts aident les entreprises à déterminer les pertes de matières premières que représentent les déchets, c'est-à-dire la perte de revenu. A son tour, un IETMP peut encourager à faire une utilisation plus efficace des substances chimiques, c'est-à-dire de faire un meilleur usage et/ou de récupérer des matières et/ou d'autres produits d'alimentation pour la production. Une meilleure efficacité se traduit par une réduction des émissions et/ou des transferts avec le temps, ce qui induit automatiquement un accroissement des bénéfices. Concernant les normes industrielles, de nombreuses entreprises ont confirmé qu'un IETMP pouvait servir d'étalon de référence pour les notifications de rejets dans l'environnement effectuées au titre de la norme ISO 14 000 et, éventuellement, pour déterminer le cadre général d'un système de notification intégré sur la pollution. Avec un tel système, les établissements déclarants seront sans doute incités à améliorer leurs fonctions d'audit interne et à définir des mesures de performance en conséquence. Et, dans le cas des établissements industriels ayant déjà mis en œuvre des systèmes d'audit, de suivi et de notification certifiés ISO 14 000, l'IETMP renforcera considérablement l'aptitude à collecter des données et à procéder aux notifications en améliorant le coût-efficacité de l'opération.

Les données extraites d'un IETMP peuvent inciter le secteur privé, notamment les petites et moyennes entreprises (PME), à élaborer des programmes de détection de fuites et à mettre en place des procédures garantissant de bonnes pratiques de gestion. Ces inventaires offrent une autre possibilité ; en effet, on y trouve des listes des entreprises déclarantes, dans lesquelles les fournisseurs de technologie peuvent trouver des clients potentiels, ce qui permet d'adapter plus rapidement et de manière plus efficace l'offre à la demande de technologies moins polluantes. Un IETMP peut aussi compléter des programmes volontaristes de l'industrie tels que l'« Initiative en faveur d'un comportement responsable ». Ces données sur les émissions et les transferts de matières polluantes peuvent aussi

servir de référence et être utilisées pour mettre au point une méthode de suivi des tendances des matières polluantes considérées comme d'importance prioritaire. Enfin, ces informations peuvent être converties en indicateurs de performances dans le cadre d'un code des bonnes pratiques de gestion pour la prévention de la pollution.

La collecte et le collationnement de données d'IETMP sont un moyen de combiner les efforts de plusieurs entreprises et de comparer les résultats obtenus soit avec ceux d'autres entreprises, soit avec ceux du même secteur ou groupe de fabrication de manière à mettre au jour les disparités entre données et à déterminer des possibilités de production moins polluante. Un IETMP donne au secteur privé l'occasion de montrer l'exemple : en effet, la divulgation d'informations sur les émissions et les transferts peut modifier la perception que le public a des activités d'une société et le faire changer d'attitude à son égard. Par ailleurs, ces inventaires permettent aux employés d'une entreprise et au public en général de s'informer sur les émissions et les transferts de matières polluantes dans leur environnement local.

S'agissant du public, l'accès et la diffusion des données d'IETMP ont pour avantage de permettre aux individus de participer aux décisions sur l'environnement en toute connaissance de cause et de mieux connaître l'état de leur environnement local. Souvent, l'exploitation d'un système d'IETMP révèle des avantages imprévus. Ainsi, par exemple, en analysant attentivement des données d'IETMP, il est possible de se faire une idée de certains aspects de l'état écologique d'une installation mise en vente. Pour leur part, les investisseurs utilisent de plus en plus des données d'IETMP pour en savoir davantage sur le comportement – sur le plan de l'environnement – d'une société dans laquelle ils envisagent de placer leurs capitaux. A cet égard, les entreprises sont de plus sensibilisées à la pénalité financière à laquelle elles s'exposent faute de respecter l'environnement. Dans le même ordre d'idées, cette prise de conscience peut les conduire à faire des efforts pour réduire les émissions et les transferts.

Dans bien des cas, il n'est pas si facile de convertir directement les avantages potentiels d'un IETMP en unités monétaires ou autres quantités directement mesurables, telles que la prévention des risques écologiques ou sanitaires, la promotion d'activités commerciales par le développement de technologies de production et la mise au point de produits moins polluants, ou l'incitation des pouvoirs publics à prendre des mesures plus efficaces pour protéger l'environnement. Même si elles sont difficiles à quantifier, ces actions ne doivent pas être négligées au moment de se prononcer sur l'intérêt que présente un système d'IETMP.

IV. LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE NOTIFICATION

En 1993, l'OCDE a décidé d'élaborer un manuel à l'intention des pouvoirs publics qui envisageaient d'établir un IETMP. Le texte de base de ce manuel a été

rédigé dans le cadre d'une série d'ateliers auxquels ont participé des représentants des pouvoirs publics, de l'industrie et d'organisations non gouvernementales. Publié en février 1996, ce manuel, intitulé *Inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes – Manuel à l'intention des pouvoirs publics*, énonce les principes d'élaboration d'un IETMP et présente des options permettant de mettre en œuvre un système efficace (OCDE, 1996a). La section suivante met en évidence les points saillants de ce manuel.

Avant de se lancer dans la conception d'un inventaire des émissions et des transferts de matières polluantes, il convient d'examiner les objectifs de la politique menée au plan national et de les harmoniser avec les besoins locaux et régionaux. Il faut ensuite définir une finalité et des objectifs et s'assurer que le système est comparable et compatible avec d'autres systèmes d'inventaire de données en exploitation (par exemple, les systèmes d'information géographique).

Le mode de conception d'un système d'IETMP détermine les avantages que l'on peut en attendre. Comme il s'agit d'un système national, il importe de respecter impérativement les principes suivants pour créer un cadre fonctionnel :

- Les systèmes de notification doivent recenser un nombre suffisant de substances potentiellement nocives pour les humains et/ou pour l'environnement dans lequel elles sont rejetées ou transférées.
- Ces systèmes doivent faire intervenir à la fois le secteur public et le secteur privé en tant que de besoin : un IETMP doit recenser les installations ou activités susceptibles de rejeter et/ou de transférer les substances en question et, le cas échéant, identifier les sources de pollution diffuse.
- Les mécanismes de notification – volontaire ou obligatoire – dont le but est de recueillir des données d'entrée dans le système doivent être pensés avec le souci de répondre au mieux aux besoins et aux objectifs nationaux.
- Il convient de prendre en compte le caractère exhaustif de tout système conçu pour atteindre les objectifs fixés par une politique de l'environnement ; en d'autres termes, la décision d'y inclure ou pas les émissions provenant de sources de pollution diffuse doit se fonder sur la situation propre au pays et sur la nécessité de recueillir ce type de données.
- Tout système de notification doit être soumis à évaluation et être suffisamment souple pour que les pouvoirs publics puissent le modifier en fonction des résultats de ces évaluations ou de l'évolution des besoins des parties directement concernées ou simplement intéressées.
- La totalité du processus de création, de mise en œuvre et d'exploitation du système de notification doit être transparente et objective.

- Pour éviter les doubles emplois, les systèmes de notification doivent s'intégrer autant que faire se peut dans des sources d'information existantes comme les licences et les permis d'exploitation.

Les éléments clés de la conception d'un IETMP sont indiqués dans l'encadré 1. Lors de la préparation du *Manuel à l'intention des pouvoirs publics*, un ensemble d'éléments de données communs ont été dégagés ; ils constituent le pivot sur lequel s'articule la fonction de traitement et de gestion des données. Ce sont les éléments constitutifs de tout système national de notification. Leur importance est stratégique pour les pouvoirs publics désireux d'obtenir des données qu'ils puissent comparer à celles d'autres systèmes nationaux (par exemple, au sein d'une zone d'échanges économiques telle que l'ALENA ou l'Union européenne). Naturellement, les pouvoirs publics y ajouteront d'autres éléments en tant que de besoin pour pouvoir atteindre les objectifs fixés par leur propre programme national d'IETMP. La liste des éléments de données-communs figure dans l'encadré 2.

Encadré 1. **Éléments clés de la conception d'un IETMP**

1. Fixer des buts et des objectifs précis.
2. Se concerter avec les parties intéressées ou touchées (parties prenantes).
3. Dresser une liste gérable des matières polluantes et des produits chimiques potentiellement dangereux.
4. Définir le champ d'application du système : qui sont les déclarants ? A qui les notifications sont-elles destinées ? Quelle est leur périodicité, etc.
5. Définir les informations qui doivent figurer dans les notifications, par exemple : les données provenant de sources de pollution ponctuelle et/ou diffuse, le nom et les coordonnées d'une installation, un descriptif géographique de l'installation, sa latitude et sa longitude, etc.
6. Analyser les besoins actuels en matière de notification afin de déterminer comment s'en servir pour atteindre les objectifs d'IETMP.
7. Définir les modalités de traitement des demandes de préservation du secret industriel.
8. Élaborer une ou plusieurs méthodes de vérification des données.
9. Définir les besoins en ressources.
10. Mettre au point un système d'examen du programme, c'est-à-dire faciliter les mises à jour et les modifications à mesure de son extension et de ses progrès.
11. Formuler une stratégie de diffusion de l'information.

Encadré 2. Ensemble d'éléments de données communs

1. Nom et adresse de l'installation déclarante (et adresse postale, le cas échéant).
2. Latitude et longitude de cette installation.
3. Code d'identification de l'activité : par ex. code CTI ou code CITI à 4 caractères.
4. Nom et code identifiant des produits chimiques : tous les pays possédant un IETMP utilisent le numéro de fichier CAS (Service des résumés analytiques de chimie).
5. Expression en unités préalablement convenues de : quantité émise, quantité transférée, et quantité totale des émissions et des transferts.
6. Période couverte par la notification.
7. Nécessité de remplacer les données relevant du secret industriel par des données génériques.

Il n'est pas rare que, dans un pays, les PME représentent de 80 à 90 % de la totalité des entreprises industrielles. A titre d'exemple, dans l'Union européenne, plus de 90 % des entreprises emploient moins de 50 personnes. Chaque jour, à l'occasion de leurs activités, des PME rejettent dans l'environnement des volumes considérables de matières polluantes potentiellement dangereuses. Or, le plus souvent, il leur manque le savoir-faire en matière de financement, de choix technologique ou de gestion. Si l'une des finalités du système est d'obtenir un profil national exact des matières polluantes concernées, il est particulièrement important de collecter des données d'IETMP sur les activités des PME.

Les pays qui ont déjà mis en place des systèmes d'IETMP ont mis au point diverses méthodes pour gérer les données des PME à différents niveaux. Par exemple, les États-Unis et le Canada ont tous deux fixé un seuil de notification basé sur la taille de l'entreprise : toute société qui emploie au moins dix personnes est tenue de notifier ses données d'IETMP. Le Royaume-Uni demande aux PME de notifier leurs données dès lors qu'elles se classent dans une catégorie particulière de procédé ou de production. Tenant compte des besoins propres à ces types d'entreprises, certains pays ont mis en place un formulaire unique et ne demandent, par exemple, de notification que sur une partie des éléments de données qui y figurent.

Les seuils sont, pour les pouvoirs publics, un mécanisme permettant de déterminer quels doivent être les déclarants. Concrètement, c'est à partir de ces seuils que sont déterminées les obligations de notification. Ils peuvent être fixés en fonction du nombre d'employés, du chiffre d'affaires (ventes par unité dans le temps), des intrants (quantités traitées), des volumes de fabrication, etc. Lorsqu'ils fixent

ces seuils, les pouvoirs publics doivent prendre en compte la nécessité de trouver le juste équilibre entre les avantages qu'il y a à recevoir une notification d'une PME d'une part, et les coûts pour les déclarants et les autorités d'autre part. Toutefois, si les concepteurs d'un IETMP décident de limiter le nombre de PME tenues d'établir des notifications, il conviendra d'encourager les autres entreprises à transmettre volontairement des estimations de leurs émissions, qui seront incluses dans les résultats de l'inventaire.

V. EXEMPLES NATIONAUX

Les systèmes de notification revêtent généralement une dimension nationale et sont formulés en fonction des besoins, des objectifs et des priorités du pays qui les crée. Ces objectifs pouvant être nationaux, parfois régionaux, voire locaux, il n'existe pas deux systèmes semblables même s'ils présentent de nombreuses caractéristiques analogues. Dans la présente section, nous allons résumer les principales caractéristiques des systèmes de notification des États-Unis, du Canada, du Royaume-Uni, des Pays-Bas, de l'Irlande, de la France et de l'Union européenne.

Aux États-Unis, le *Toxic Release Inventory* (TRI) a été créé aux lendemains de la catastrophe de Bhopal, en Inde, survenue en 1984 (il s'agissait d'un rejet accidentel de produits chimiques) et d'un important rejet ultérieur provoqué par une entreprise du même groupe, implantée aux États-Unis. Cet inventaire a pour but de donner aux citoyens des informations sur les produits chimiques potentiellement dangereux, utilisés et émis par les sites de leur région. La première notification permise par ce système date de 1988. L'objectif primordial est de préserver le « droit de savoir » de la collectivité. Actuellement, les installations qui relèvent de ce programme sont tenues de déclarer chaque année les émissions dans l'atmosphère, l'eau et la terre ainsi que les transferts de déchets hors de leur site en vue d'une élimination, d'un traitement, d'un recyclage ou de récupération d'énergie, ainsi que leur action en faveur de la lutte contre la pollution.

Depuis son lancement en 1986, dans le cadre de la loi sur la planification d'urgence et le droit de savoir de la collectivité, le TRI a considérablement évolué. Au départ, il ne couvrait que les établissements manufacturiers et ne recensait que 320 produits chimiques et catégories de polluants. Les obligations de notification se limitaient aux émissions et aux transferts de substances chimiques à l'extérieur du site. Ces obligations ont changé depuis l'adoption de la loi sur la prévention de la pollution de 1990, qui établit une hiérarchie dans la gestion des déchets, la prévention se classant en tête, suivie du recyclage. A partir des notifications de 1995, le nombre de produits chimiques et de catégories de polluants couverts par le TRI a doublé pour atteindre environ 630. Des travaux sont en cours afin de renforcer la compatibilité du TRI avec l'Inventaire national des rejets de polluants du Canada,

créé en 1992, et avec le *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes* du Mexique, en cours d'élaboration. La Commission de coopération environnementale, instituée dans le cadre de l'Accord de libre-échange nord-américain, publie régulièrement ses rapports intitulés *Taking Stock* au sujet des émissions et des transferts de polluants dans la région.

Dans son « Plan vert » de 1990, le *Canada* s'engageait à élaborer une base de données nationale sur les polluants dangereux rejetés par l'industrie et les transports. Un Comité consultatif multipartite composé de représentants d'associations industrielles, de groupes syndicaux, d'organisations non gouvernementales et de ministères fédéraux et provinciaux a élaboré un Inventaire national des rejets de polluants (INRP) qui a commencé à être exploité en 1993. De structure analogue à celle du TRI des États-Unis, cet inventaire est un outil qui doit servir à détecter des problèmes potentiels d'environnement et à encourager les réductions volontaires d'émissions de polluants potentiellement dangereux. Il est conçu pour harmoniser davantage les exigences de notification de pollution à tous les niveaux des pouvoirs publics et pour tous les milieux environnementaux.

Actuellement, l'inventaire comporte une liste de 246 substances pour lesquelles les installations sont tenues de communiquer chaque année des données sur les émissions et les transferts à Environnement Canada. Cette instance encourage les déclarants à transmettre leurs données par voie électronique. Le seuil d'obligation de notification est le suivant : toute installation comptant dix employés à plein temps ou plus qui fabrique, traite ou utilise d'une façon quelconque une substance faisant partie de l'INRP, en quantités égales ou supérieures à 10 tonnes métriques. Toutefois, aucun secteur industriel particulier n'est tenu d'établir de notification et certaines activités comme l'exploitation minière, la vente au détail et l'agriculture en sont dispensées. Les données recueillies pour l'INRP sont regroupées dans un rapport annuel qui reprend les données sous des thèmes et dans des rubriques particulières. Le rapport annuel ainsi que les données brutes sont disponibles sur Internet.

Depuis les années 70, les *Pays-Bas* font œuvre de pionniers dans l'utilisation d'engagements contractuels passés avec des secteurs spécifiques de l'industrie en vue de réduire les émissions de matières polluantes. Aux termes de ces engagements contractés volontairement, des secteurs industriels conviennent de réduire leurs émissions à des niveaux prédéterminés avant une certaine date cible. Pour s'assurer que les entreprises en question honorent leurs engagements, un suivi des mesures qu'elles prennent est assuré par le biais d'un inventaire des émissions. En utilisant cette méthode, les autorités néerlandaises ont mis au point deux systèmes parallèles : l'Inventaire des émissions individuelles et l'Inventaire des émissions collectives. Le premier couvre les rejets dans l'atmosphère, l'eau (et, depuis 1998, les déchets) de grandes installations industrielles – qui représentent environ

700 grandes entreprises polluantes, soit 30 pour cent du total. Actuellement, la surveillance porte sur quelque 170 substances.

L'Inventaire des émissions collectives constitue un moyen plus général d'enquêter sur les émissions d'autres origines. Il recense les données sur les émissions provenant de petites entreprises et des données sur les émissions diffuses provenant de la circulation routière et d'autres sources non fixes, des ménages et des sources liées à l'utilisation des terres telles que l'agriculture. Ces deux inventaires sont fusionnés pour obtenir un tableau des rejets de polluants dans le pays.

En 1997, le gouvernement néerlandais a présenté un projet de loi visant à rendre obligatoire pour environ 327 sociétés la notification de certaines émissions, à partir d'une liste agréée des 130 substances les plus polluantes. L'adoption d'un tel système a quatre principaux objectifs : i) rationaliser les notifications ; ii) encourager la mise en place de systèmes de management environnemental ; iii) renforcer l'obligation de transparence des entreprises ; et iv) améliorer la qualité des données. Deux critères déterminent l'application détaillée de ces obligations de notification : il s'agit de recenser les installations susceptibles d'avoir des effets nocifs sur l'environnement (les seuils devant être fixés par décret gouvernemental une fois la loi votée), et celles auxquelles des permis seront accordés. Le ministère de l'Environnement envisage de rendre les informations sur les émissions accessibles via Internet.

Au *Royaume-Uni*, les pouvoirs publics se sont donné les moyens de remplir un engagement formulé dans un manifeste datant de 1997, selon lequel ils permettraient au public d'avoir accès aux informations sur l'environnement. Le 12 mai 1999, après deux ans de consultation approfondie auprès d'industriels et de groupes de défense de l'environnement, le Royaume-Uni a inauguré un Inventaire des origines et des rejets, document révisé et largement étoffé. Cet « inventaire des pollutions », comme on le nomme, contient des informations détaillées sur les émissions provenant de grands sites industriels d'Angleterre et du pays de Galles. Il est prévu d'étendre son champ d'application à des entreprises industrielles plus petites dans un proche avenir, puis de couvrir tous les sites bénéficiant d'un permis aux termes de la législation nationale y afférente.

L'inventaire des pollutions recense des substances et groupes de substances susceptibles d'être rejetés dans l'atmosphère, l'eau, la terre ou parmi les déchets. A bien des égards, il s'agit de l'un des IETMP intégrés les plus modernes. Il contient des données sur plus de 150 substances différentes, issues de plus de 2 000 procédés industriels réglementés par la Directive de l'UE sur la prévention et le contrôle intégré de la pollution (IPPC). Les seuils d'obligation de notification sont fixés de manière que 90 à 95 % de la totalité des émissions industrielles soient déclarés. Les données sont constituées d'un panache de résultats de surveillance

permanente en bout de chaîne, de coefficients d'émission, d'échantillons localisés et d'estimations.

En Irlande, la loi sur la protection de l'environnement de 1992 et son décret d'application SI 85 de 1994 exigent que l'exploitation de certaines installations industrielles soit soumise à un permis dit de « contrôle intégré de pollution », délivré par l'*Environment Protection Agency* (EPA). La liste des installations devant se faire délivrer ce permis reflète étroitement celle des activités énumérées à l'annexe I de la Directive IPPC. Depuis l'entrée en vigueur de cette obligation, en décembre 1995, l'EPA a délivré 371 licences. Au lieu d'une liste de substances, l'Agence utilise une liste de 32 groupes de familles chimiques (par exemple, les solvants halogénés), inspirée de la législation de l'Union européenne sur les substances dangereuses et les déchets nocifs. Les données concernant les émissions sont notifiées pour les différents milieux, dont l'atmosphère et l'eau, ainsi que les déchets. Les informations sont présentées de manière à prendre en compte toutes les matières premières utilisées dans le processus industriel source d'émission.

Au mois de juin 1999, la Diète japonaise a voté une loi portant création du cadre d'un système d'IETMP au Japon. Les réglementations concernant la mise en œuvre de cet inventaire sont en cours d'élaboration. Elles spécifieront quels sont les produits chimiques à notifier, les industries déclarantes, les seuils, etc. La première notification d'IETMP, qui sera publiée en 2002, contiendra des données sur les émissions et les transferts ayant eu lieu en 2001.

En France, le ministère de l'Environnement produit chaque année un rapport sur les émissions, compilé à partir des informations fournies par les autorités régionales chargées d'accorder des permis à certaines installations au titre de la loi de juillet 1976, relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Institué en 1984, ce rapport annuel englobe les principaux rejets dans l'atmosphère et dans l'eau. Le ministère a l'intention d'élargir le système dans un proche avenir afin de couvrir également les émissions de déchets. Les exploitants d'installations produisant ou traitant plus de 10 tonnes de substances figurant sur la liste sont tenus d'établir des notifications annuelles d'émissions. Ces informations sont ensuite reprises dans un inventaire établi par les collectivités régionales. D'autres exploitants dont les installations nécessitent un permis au titre de la loi de 1976 ne sont tenus d'établir une notification que tous les quatre ans, encore que la périodicité de ces notifications dépende des exigences fixées au niveau régional pour l'octroi de permis. Ce système n'est pas à proprement parler un IETMP mais une ébauche de ce qui pourrait en devenir un.

Quant à l'Union européenne, des représentants des 15 États membres et de la Commission européenne se sont réunis en septembre 1999 afin d'examiner les détails d'un Inventaire européen des émissions polluantes. Cette réunion avait comme objectif de chercher à trouver un accord sur une liste statutaire de polluants

et une liste correspondante, également statutaire, des secteurs sources de pollution dans lesquels les exploitants seront tenus de notifier régulièrement leurs émissions. En soi, le fait de devoir notifier des émissions pour chacun des différents milieux de l'environnement n'a rien de nouveau, mais, dans les débats actuels, on s'efforce d'aller beaucoup plus loin, à savoir de créer un Inventaire européen intégré des émissions polluantes qui constituera, pour les décideurs, un outil efficace de gestion de l'environnement leur permettant d'élaborer la politique future de l'UE dans ce domaine. Cet inventaire permettra à la Commission et aux États membres de surveiller les réductions d'émission dans l'ensemble de l'Europe et les aidera à veiller au respect des obligations internationales en matière de réduction des émissions. En outre, il permettra d'établir des comparaisons entre secteurs industriels et entre pays.

La Commission fera paraître un inventaire des principales émissions et sources de pollution, offrant ainsi à l'opinion publique un moyen de s'informer quasiment inexistant à l'heure actuelle, du moins sous une forme intégrée. Après quelques glissements dans le calendrier fixé, c'est en 2001 que la première notification d'émissions devrait intervenir.

En tant que signataires de la Convention d'Aarhus, la plupart des pays d'Europe occidentale se sont déjà engagés à élaborer des inventaires d'émissions. L'article 5 de cette convention, qui s'est tenue les 24 et 25 juin 1998, contient des dispositions particulières concernant les IETMP, stipulant que « chaque Partie prend des mesures pour mettre en place progressivement, compte tenu, le cas échéant, des processus internationaux, un système cohérent de portée nationale consistant à inventorier et à enregistrer les données relatives à la pollution dans une base de données informatisée structurée et accessible au public, ces données étant recueillies au moyen de formules de déclaration normalisées ».

En 1996, à l'OCDE, a été approuvé un Acte du Conseil sur « la mise en œuvre des inventaires d'émissions et de transferts de matières polluantes » [C(96)41/FINAL] (OCDE, 1996b). La recommandation invitait les pays Membres à « [prendre] des mesures afin d'établir, en tant que de besoin, de mettre en œuvre et de mettre à disposition du public un système d'inventaires d'émissions et de transferts de matières polluantes (IETMP) sur la base des principes et informations énumérés dans l'*Inventaire des émissions et des transferts de matières polluantes (IETMP) – Manuel à l'intention des pouvoirs publics* » (OCDE, 1996a). Le vif intérêt soulevé par ces inventaires a conduit l'OCDE à lancer un programme d'ouverture sur l'extérieur pour contribuer à la mise en pratique du manuel et à sensibiliser les pays n'appartenant pas à l'Organisation au concept et aux avantages offerts par ce système. A cet effet, l'OCDE a organisé, de pair avec l'Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche (UNITAR) et le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), trois ateliers régionaux sur ce thème à l'intention de régions économiques

clés : l'un en Asie, un autre à Prague, à l'intention des représentants des PECO et des NEI de l'ex-Union soviétique, et le troisième au Mexique.

Le programme actuellement mené au sein de l'OCDE est axé sur la mise au point d'instruments pratiques destinés à aider les pays Membres dans leurs activités de mise au point ou de modification d'un système d'IETMP.

VI. CONCLUSIONS

Pour être efficace, une politique de l'environnement requiert l'accumulation de connaissances suffisantes sur les polluants rejetés dans l'atmosphère, l'eau et la terre, et transférés hors des sites pour être éliminés. Dès lors qu'ils ne disposent que d'une information partielle, les pouvoirs publics se trouvent mal préparés pour élaborer des programmes précis en toute connaissance de cause. Pour pouvoir arrêter et mettre en œuvre des politiques de l'environnement pour l'avenir, il leur faut savoir quel est l'état actuel de l'environnement dans leur pays, et disposer d'un instrument leur permettant de mesurer de manière rigoureuse et systématique les changements qui l'affectent. Dans un deuxième temps, pour appréhender pleinement l'impact des polluants, il est nécessaire de disposer de données sur leur identité, sur les volumes rejetés ou transférés, sur les risques potentiels qu'ils entraînent, et sur leur origine, dont la situation géographique exacte des sources de pollution. Un inventaire des émissions et des transferts de matières polluantes est un système d'information répondant à ces critères, en ce sens qu'il fournit les données essentielles sur l'état de l'environnement. A ce titre, il peut constituer un outil indispensable pour gérer l'environnement de manière plus saine et intensifier les efforts déployés au niveau national et mondial en faveur du développement durable.

Toute politique de l'environnement doit avoir pour finalité de protéger les êtres humains et l'environnement contre des risques potentiels. Cette démarche doit être opérée dans un souci de rentabilité, mais aussi donner à toutes les parties affectées ou intéressées la possibilité de participer à la sélection des actions envisageables. Un système de notification des substances polluantes est un outil qui peut se révéler efficace pour déterminer les domaines d'intervention et fixer les priorités en matière de réduction des risques, dans la mesure où il apporte des informations sur la charge de pollution qu'il serait difficile d'obtenir par d'autres moyens. Ces informations peuvent jeter un nouvel éclairage sur la répartition des polluants prioritaires, ce qui incitera les pouvoirs publics à fixer les priorités et à prendre des décisions concernant l'environnement avec une précision accrue.

Ces toutes dernières années, les ministres de l'Environnement des pays de l'OCDE ont évoqué la nécessité de fixer des horizons de planification à plus long terme, et d'intensifier la sensibilisation aux objectifs de la collectivité pour les 10,

20 ou 50 prochaines années. La mise en place d'un programme de suivi indiquant les progrès accomplis par rapport aux objectifs est tout aussi importante que la formulation d'un plan à plus long terme. Un système de notification constitue un outil efficace pour mesurer les résultats obtenus et les progrès accomplis, et déterminer aussi bien les réussites que les lacunes particulières. A cet égard, il est nécessaire de recenser des données sur les rejets de certains polluants et de constituer une base de référence. Les données recueillies avec le temps pourront être regroupées et évaluées par rapport à cette base. Les résultats obtenus serviront à éclaircir et à rendre plus transparente la situation en matière de pollution et les progrès enregistrés par rapport aux cibles ou objectifs des politiques arrêtées par les pouvoirs publics.

BIBLIOGRAPHIE

- FONDS MONDIAL POUR LA NATURE (1995),
The Right-to-Know: The Promise of Low-cost Public Inventories of Toxic Chemicals.
- NATIONS UNIES (1994),
Action 21, Programme d'action des Nations Unies découlant de la Conférence de Rio.
- OCDE (1996a),
Inventaire des émissions et des transferts de matières polluantes (IETMP) – Manuel à l'intention des pouvoirs publics, OCDE, Paris.
- OCDE (1996b),
Recommandation (adoptée par le Conseil) sur la mise en œuvre des inventaires d'émissions et de transferts de matières polluantes, C(96)41/FINAL, OCDE, Paris.

POLITIQUE A L'ÉGARD DES CONSOMMATEURS ET CONSOMMATION ÉCOLOGIQUEMENT VIABLE

Table des matières

I. Introduction.....	238
II. Sensibilisation des consommateurs aux questions d'environnement.....	239
III. Informer et éduquer les consommateurs.....	241
IV. Publicité et environnement.....	244
V. Les consommateurs et le recyclage.....	247
VI. Conclusions.....	249
Bibliographie.....	251

Cet article, qui s'appuie sur une enquête réalisée par les délégués du Comité de l'OCDE sur la politique à l'égard des consommateurs intitulée *La politique à l'égard des consommateurs : son rôle dans l'élaboration de modes de consommation écologiquement viables*, a été rédigé par Ilkka Cantell, ministère du Commerce et de l'Industrie, Finlande, et Mats Ericsson, ministère des Finances, Suède.

I. INTRODUCTION

De l'avis général, la réalisation d'objectifs de développement durable passera nécessairement par un changement d'attitudes sociales et de culture, notamment si l'on veut progresser vers des modes de consommation écologiquement plus viables. La plupart des gens s'en remettent aux pouvoirs publics pour qu'ils mènent l'action visant à faciliter ce changement. La tâche pourrait toutefois s'avérer difficile, car les organismes gouvernementaux n'ont pas toujours les connaissances ni l'autorité morale nécessaires pour déterminer la meilleure façon de résoudre les problèmes liés à une consommation écologiquement viable et pour encourager effectivement un changement des types de comportement du grand public. Toute tentative en ce sens mettra les pouvoirs publics en concurrence avec de nombreuses autres institutions qui font l'opinion, tels le secteur de la publicité, les médias, les établissements d'enseignement et les entreprises. Néanmoins, les pouvoirs publics pourraient faire porter davantage leurs efforts sur la fourniture aux consommateurs d'informations concernant : *i*) les effets sur l'environnement de leur comportement et de leurs choix de produits ; *ii*) les avantages potentiels pour l'environnement d'autres modes de consommation ; et *iii*) des cas dans lesquels les pouvoirs publics et le secteur privé ont, par leurs actions, déjà réalisé des progrès.

Déterminer la valeur et l'avantage que comporte la mise à la disposition des consommateurs de ces informations pour qu'ils les utilisent dans leurs décisions d'achat, telle a été la démarche suivie par le Comité de l'OCDE sur la politique à l'égard des consommateurs. Les travaux de l'OCDE sur les modes de production et de consommation écologiquement viables ont commencé en 1993, lorsque le Conseil réuni au niveau des Ministres a demandé que l'OCDE examine les liens entre les modes de consommation et de production et le développement durable. Un certain nombre d'actions ont été entreprises en réponse à cette demande, notamment plusieurs séminaires d'experts, une contribution à la Table ronde ministérielle sur les modes de consommation viables tenue à Oslo, Norvège (février 1995), et à la Commission du développement durable des Nations Unies (CDD), ainsi que l'organisation d'un atelier de l'OCDE sur le thème « Production et consommation écologiquement viables : définition des concepts », qui a eu lieu à Rosendal, Norvège (juillet 1995).

Le Comité de la politique à l'égard des consommateurs a souhaité contribuer concrètement à ce débat en exposant ce qui a été fait et ce qui pourrait l'être pour

éduquer les consommateurs sur les modes de consommation écologiquement viables et les encourager à s'impliquer personnellement dans la gestion de l'environnement et des ressources lorsqu'ils prennent des décisions d'achat. Parmi les informations pertinentes à ce sujet, citons des études sur les attitudes des consommateurs à l'égard des problèmes d'environnement en général, des campagnes d'information et d'éducation visant à accélérer la prise de conscience des consommateurs et à commencer à les faire changer de comportement, l'intégration d'arguments écologiques dans le marketing des produits, l'étiquetage écologique, le rôle et la participation des consommateurs dans le tri et l'élimination des déchets, des études concernant la durée de vie des produits et l'évolution vers une économie fondée sur les services, et enfin les aspects environnementaux de l'essai de produits.

Le Comité a décidé de se concentrer sur les questions relatives aux activités essentielles de la politique à l'égard des consommateurs et de l'information des consommateurs. Un *Questionnaire sur la politique à l'égard des consommateurs : son rôle dans l'élaboration de modes de consommation écologiquement viables* a été distribué à tous les pays Membres de l'OCDE en juillet 1996. Le présent rapport résume le contenu des réponses à ce questionnaire et donne un aperçu des activités actuelles en direction des consommateurs dans le domaine de la consommation écologiquement viable.

II. SENSIBILISATION DES CONSOMMATEURS AUX QUESTIONS D'ENVIRONNEMENT

Comme indiqué dans de précédentes études et enquêtes sur ce sujet (cf. Bibliographie), les consommateurs sont déjà nombreux à considérer les questions d'environnement comme importantes. Mais s'ils ont davantage conscience des effets de la consommation sur l'environnement, il reste encore beaucoup à faire pour élargir et approfondir le niveau de connaissance et de prise de conscience. Aujourd'hui, les consommateurs peuvent, par exemple, choisir consciemment un produit spécifique parce qu'il porte moins atteinte à l'environnement qu'un autre, mais ils ignorent souvent complètement d'autres facteurs environnementaux liés à leur achat, tels que l'incidence de l'utilisation d'une voiture particulière pour aller faire ses courses ou les effets sur l'environnement du transport de marchandises, etc. On peut aussi facilement oublier l'impact environnemental de certains produits et emballages pendant toute la durée de leur cycle de vie, car le consommateur ne prend souvent en compte que ce qu'il perçoit immédiatement, et ce sont parfois des détails de moindre importance.

Si en théorie beaucoup de gens sont prêts à adopter une attitude plus responsable à l'égard de l'environnement, en réalité ils ne font que fort peu de choses pour modifier leurs modes de consommation. On notera également que, du fait

d'un certain nombre de facteurs extérieurs, les consommateurs peuvent avoir des difficultés à changer de comportement, notamment par manque d'accès aux informations nécessaires pour faire les bons choix et par manque de programmes de recyclage disponibles ou adéquats.

Les consommateurs sont de plus en plus nombreux à vouloir choisir des produits respectueux de l'environnement. Des études montrent qu'ils souhaitent avoir des informations, notamment sur l'environnement en général, sur les économies d'énergie, les modes de consommation écologiquement responsables, ainsi que des suggestions sur la façon dont ils peuvent changer leurs habitudes d'achat. Cependant, le manque d'information sur les produits est l'obstacle le plus souvent cité à l'achat de produits plus respectueux de l'environnement. Beaucoup de consommateurs ont aussi l'impression qu'ils sont trop occupés pour passer plus de temps dans un magasin d'alimentation à comparer un produit avec un autre afin de déterminer lequel des deux est le plus écologique, tout en prenant en compte le prix, la qualité et le risque lié au choix d'un produit nouveau que l'on n'a pas essayé.

Malgré ces difficultés, beaucoup de consommateurs se disent prêts à payer pour protéger l'environnement, trier leurs déchets pour le recyclage et faire leurs courses de façon écologiquement viable. Comme preuve de la sensibilisation croissante des consommateurs, une étude effectuée au Canada en février 1997 a révélé que 77 % des personnes interrogées ont répondu « oui » quand on leur a demandé si au cours des deux dernières années ils avaient choisi un produit plutôt qu'un autre parce que son emballage, sa composition ou sa publicité en faisait un produit respectueux de l'environnement.

De tels résultats donnent à penser que l'on peut encourager les consommateurs à acheter davantage de produits portant un étiquetage écologique, grâce à des campagnes de publicité et par les médias, bref en améliorant le marketing. Par les médias, les consommateurs pourraient généralement être informés, lorsqu'ils prennent leurs décisions d'achat, qu'il existe des produits qui sont moins préjudiciables à l'environnement que d'autres ; ils pourraient donc être encouragés à les choisir. L'Union européenne a élaboré un programme d'étiquetage écologique, les pays nordiques ont un système commun dans ce domaine, et de nombreux autres pays Membres de l'OCDE ont aussi des systèmes nationaux d'éco-étiquetage. Le fait de sensibiliser davantage les consommateurs et de contribuer à influencer leur comportement pourrait encourager les fabricants à mettre au point des produits et des méthodes de production susceptibles de réduire la charge qui pèse sur l'environnement.

Il reste encore beaucoup à faire pour sensibiliser davantage les consommateurs aux produits éco-étiquetés et pour promouvoir les choix écologiquement viables. Bien que certains programmes d'éco-étiquetage s'accompagnent de normes

de qualité, les consommateurs peuvent se demander si ces produits sont d'aussi bonne qualité que les autres. Un détergent respectueux de l'environnement qui nettoie mal fait plus de mal que de bien en décourageant les consommateurs et peut les amener à croire que l'étiquette « écologique » signifie « inférieur ». Les fabricants de produits plus écologiques devraient être encouragés à centrer leur attention sur la production de biens de qualité et à fournir aux consommateurs des assurances sur cette qualité. Les décisions d'achat des consommateurs peuvent aussi être influencées en faisant en sorte que les produits porteurs d'une étiquette écologique soient plus visibles et plus fréquemment disponibles dans les magasins.

De nombreuses études nationales ont aussi été menées pour tenter de trouver le meilleur moyen de lancer et de pérenniser des programmes de recyclage. Les attitudes individuelles sont cruciales pour le succès d'un programme de recyclage efficace et s'inscrivant dans la durée. Il importe que les individus soient prêts à participer pleinement aux programmes de recyclage en triant leurs déchets pour que les divers systèmes de recyclage puissent fonctionner efficacement. Les études ont révélé que les générations plus âgées se préoccupent davantage de l'environnement que les jeunes, tant dans leurs actes que dans leurs attitudes. Une autre constatation a été faite : en moyenne les femmes sont plus soucieuses de l'environnement que les hommes. De nombreuses études démographiques montrent que ceux qui ont le plus de chances de comprendre pleinement les tenants et les aboutissants des programmes de recyclage tendent à être les adultes actifs, jeunes et d'âge moyen, ayant un bon niveau d'instruction et se situant dans les tranches supérieures de revenu.

De nombreuses personnes semblent penser que les questions d'environnement concernant les emballages et le recyclage se limitent au tri et à l'élimination des déchets. Les consommateurs ont tendance à ne pas voir que les choix qu'ils effectuent au moment de leur achat et leurs modes de consommation en général sont déterminants à cet égard. Relativement peu d'études ont été menées pour déterminer comment la prise en compte des effets environnementaux peut influencer sur les décisions d'achat, ce qui indiquerait que l'importance des choix des consommateurs n'a pas été pleinement reconnue. Les pouvoirs publics pourraient aussi contribuer à influencer les choix tant des consommateurs que des entreprises en ayant recours à des accords volontaires passés avec des branches d'activité ; on peut penser aux taxes différentielles, par exemple, qui favorisent les produits verts et pénalisent ceux qui portent préjudice à l'environnement.

III. INFORMER ET ÉDUIQUER LES CONSOMMATEURS

Les pays de l'OCDE ont entrepris de multiples campagnes d'information et d'éducation des consommateurs pour améliorer leur compréhension et leurs

connaissances en ce qui concerne les choix de produits écologiques et autres comportements. Ces campagnes peuvent être regroupées en trois grandes catégories : i) le choix de produits et leur utilisation ; ii) les modes de consommation ; et iii) le traitement des déchets (encadré 1).

Encadré 1. **Campagnes visant à sensibiliser les consommateurs à l'environnement**

Autriche. Mode de vie écologique (1996) ; Incidence du comportement des consommateurs sur l'environnement, Concours européen du jeune consommateur (1996).

Canada. Action 21, Programme d'information, d'éducation et d'assistance (1995) ; Projet d'indicateurs de la Mission terre ; Consommateurs et environnement – site Stratégies de Industrie Canada (1997).

Corée. Engagement des consommateurs pour une consommation viable, organisation de consommateurs.

Danemark. Recycler ou courir (1994) ; L'environnement et le lavage des vêtements (1995) ; Agenda local 21 (1995) ; Consommation et environnement (1996).

Finlande. Campagne Eco-acheteur (1995).

Japon. Réseau « Achetez vert » (1996).

Mexique. Éducation à la consommation (1994) ; Campagne permanente de la Commission de l'électricité sur les économies d'énergie ; Campagne permanente de la ville de Mexico sur les économies de combustibles.

Norvège. L'éco-étiquetage nordique ; Brochure nordique sur la consommation écologiquement viable, rédigée à l'intention des écoles secondaires.

Suède. L'éco-étiquetage nordique (le Cygne) ; Les bons choix pour l'environnement ; Semaine « Achetez vert », tous les automnes.

Suisse. Sauvons la planète (1996) ; Campagne nationale pour l'élimination des déchets (1995) ; jardiner sainement pour un environnement de qualité (1994).

De nombreuses campagnes patronnées par l'État ont été lancées pour promouvoir les choix et l'utilisation de produits écologiques. Au Danemark, les campagnes « Recycler ou courir » et « Environnement et lavage des vêtements » s'adressaient aux écoliers. Elles avaient pour but de changer la façon dont les enfants vivent leur quotidien et de modifier leurs modes de consommation en leur apprenant à faire des choix plus écologiques. En Finlande, une brochure intitulée « Eco-acheteur » et une campagne d'éducation organisée en parallèle visaient tous les consommateurs, de même que le réseau « Achetez vert » au Japon. La brochure et les deux campagnes s'adressaient aux consommateurs qui veulent faire des achats

respectueux de l'environnement, mais qui rencontrent beaucoup de difficultés en pratique. Elles cherchaient aussi, plus spécifiquement, à créer une plus forte demande de produits et de services écologiques. La campagne nordique d'étiquetage écologique (le Cygne) a été lancée pour aider les consommateurs à identifier les produits plus respectueux de l'environnement.

En outre, beaucoup de pays de la Communauté européenne ont participé au Concours européen du jeune consommateur dont le thème était l'incidence du comportement des consommateurs sur l'environnement. Le concours était ouvert aux élèves du second degré et visait à les encourager à trouver des moyens de mieux prendre soin des ressources naturelles de la planète.

En ce qui concerne les campagnes visant à influencer les *modes de consommation*, la campagne danoise « Consommation et environnement » et l'édition norvégienne d'une brochure sur la consommation écologiquement viable visaient à enseigner aux écoliers comment réduire les pressions exercées sur l'environnement et les encourager à changer d'attitude de façon à contribuer à une consommation ne portant pas atteinte à l'environnement, dans le secteur privé comme dans le secteur public. En Autriche, la campagne intitulée « Mode de vie écologique » s'adressait à tous les consommateurs et visait à fournir un complément d'information sur les questions relatives aux consommateurs, en insistant particulièrement sur les économies d'énergie.

Les campagnes permanentes, « Action locale 21 » au Danemark et en Suède, « Éducation à la consommation » au Mexique et la campagne ponctuelle « Sauvons la planète » en Suisse s'adressaient à l'ensemble des consommateurs. Leur but était d'éduquer les citoyens, de les aider à prendre davantage conscience de l'environnement et d'encourager les fabricants à mettre au point des produits plus respectueux de ce dernier. « Sauvons la planète » était destinée à protéger/préserver la diversité des climats et des espèces, et à promouvoir des modes de consommation viables. Une campagne analogue est actuellement menée au Canada.

Les diverses campagnes de *traitement des déchets* actuellement en cours ne s'adressent pas à des groupes de consommateurs particuliers. L'objectif de la « Campagne nationale pour l'élimination des déchets » en Suisse était d'économiser à la fois des ressources naturelles et de l'argent, et d'informer le public sur des méthodes efficaces de gestion et de tri des déchets. Des campagnes d'information sur le tri des déchets ménagers ont aussi été menées en Suède, et le Mexique mène une campagne analogue d'encouragement permanente.

De nombreuses initiatives du secteur privé et des initiatives communes public/privé fournissent aux consommateurs des informations sur les produits écologiques. Ainsi, les Japonais ont lancé une campagne « Achetez vert » pour protéger l'environnement en faisant prendre davantage conscience aux consommateurs des effets environnementaux des produits. Les consommateurs peuvent trouver des

informations complémentaires en consultant les publications « Rapport sur l'environnement » et « Plan pour des activités écologiques ».

L'Association des organisations suisses de recyclage a publié un guide décrivant les efforts déployés par les industries manufacturières et les détaillants pour assurer une utilisation écologiquement viable des produits. Des accords de recyclage ont été conclus pour l'aluminium, le verre, le papier, le carton, les boîtes en fer blanc, les bouteilles et les produits textiles. La coopération intervient principalement entre les organisations représentant les industries manufacturières et les détaillants. En Finlande, les grandes organisations de vente en gros et au détail (Kesko, Tuko, SOK, Tradeka) ont chacune leur programme pour organiser le recyclage et l'élimination des déchets.

Dans les pays nordiques, les industries manufacturières et le commerce de détail participent aux travaux d'étiquetage écologique en nommant des représentants aux comités d'experts qui définissent les critères à retenir pour différents groupes de produits. Ces critères reçoivent ensuite l'approbation finale de l'organe de coopération nordique qui fixe les règles d'étiquetage écologique dans les pays concernés. Les effets environnementaux de l'éco-étiquetage dépendent en grande partie de la pertinence et de l'intérêt des critères retenus, ainsi que de la part de marché et du positionnement des produits ayant reçu le label écologique, ce qui dépend à son tour de la préférence des consommateurs pour ces produits et de la capacité des producteurs et des fournisseurs à y répondre. Ainsi, pour que l'étiquetage écologique soit un instrument efficace de commercialisation, il faut que l'opinion soit consciente des avantages des produits ainsi étiquetés, et que fabricants et détaillants fournissent aux consommateurs davantage d'informations sur leurs produits éco-étiquetés. Des efforts de coopération similaires sont à l'oeuvre dans d'autres pays Membres de l'OCDE, par exemple dans le programme canadien concernant les choix écologiques.

IV. PUBLICITÉ ET ENVIRONNEMENT

L'information concernant l'impact environnemental des produits est importante pour les consommateurs et il est essentiel que cette information soit précise et fidèle. La responsabilité de l'exactitude des arguments écologiques varie toutefois ; dans certains pays Membres de l'OCDE, le contrôle des arguments environnementaux incombe principalement aux autorités gouvernementales. Dans d'autres, les arguments erronés relèvent plus souvent d'une autoréglementation et sont traités en fonction de la réaction des consommateurs et du marché. Aux États-Unis, par exemple, la protection des consommateurs est associée à la politique de la concurrence et placée sous l'autorité de la *Federal Trade Commission*. Au Japon, les questions concernant les consommateurs sont couvertes par la Loi contre les

primes injustifiées et les publicités mensongères et il n'existe pour l'instant aucune directive volontaire.

Les pays nordiques ont accordé beaucoup d'attention aux questions relatives aux arguments écologiques utilisés en marketing. Leur législation interdit d'utiliser des arguments incorrects ou trompeurs dans la commercialisation et la fabrication. Les principales instances chargées de faire respecter la loi dans les pays nordiques sont les *ombudsmen* de consommateurs et les tribunaux de commerce. Les *ombudsmen* (médiateurs) des pays nordiques auxquels ont recours les consommateurs ont mis au point des directives communes à l'usage des publicitaires et des agences de publicité en ce qui concerne les arguments écologiques utilisés en marketing. Ces *ombudsmen* prodiguent des conseils juridiques aux entreprises sur le marketing qu'il convient de mettre en place, peuvent poursuivre en justice des fabricants ou des distributeurs s'il s'avère qu'ils utilisent des arguments illégaux ou fallacieux. Si une condamnation est prononcée à cet effet, elle peut comporter une amende conditionnelle (c'est-à-dire payable seulement si la commercialisation se poursuit sous la même forme). Si une entreprise de commercialisation conteste une décision de l'*ombudsman* des consommateurs, elle peut demander que l'affaire soit soumise au Conseil du marketing qui décidera si la décision est applicable ou si elle doit être annulée.

Ces dernières années, les *ombudsmen* des pays nordiques ont pris des mesures contre les arguments écologiques tendancieux dans la publicité. Ils ont noté que, s'agissant de commercialisation de produits écologiques, la véracité et la pertinence des informations fournies sont très importantes, notamment dans le cas de produits comme les automobiles qui représentent généralement une lourde charge pour l'environnement. Des expressions telles que « respectueux de l'environnement » ne doivent être utilisées que si une étude approfondie a été faite sur l'impact environnemental de ce produit pendant toute sa durée de vie.

Au Canada, l'*Environmentally Sound Packaging Coalition of Canada* (ESPPC), groupe d'organisations de consommateurs et d'organisations écologiques, a lancé un projet intitulé « La vérité sur l'environnement au niveau de l'étiquetage et de la publicité » dont le but était d'éviter l'utilisation trompeuse d'étiquettes vertes ou écologiques et de publicité abusive. Les principales parties prenantes de ce projet ont été invitées à participer à des ateliers où elles ont examiné et évalué de nouvelles lignes directrices proposées par le gouvernement sous le titre « Principes et lignes directrices pour les représentations concernant l'environnement sur les étiquettes et dans la publicité ». A la suite de ces ateliers, un certain nombre de changements ont été apportés à ces principes et lignes directrices, et le gouvernement a recommandé d'adopter une position plus nette et plus active en réponse aux plaintes de consommateurs.

Au Canada, les principales mesures réglementaires pouvant être utilisées à l'encontre d'arguments écologiques erronés dans la publicité figurent à l'article 7 de la Loi sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation et à l'article 52 de la Loi sur la concurrence. Les principales instances chargées de les faire appliquer sont le Bureau de la concurrence d'Industrie Canada et de l'Agriculture et agro-alimentaire Canada.

Il y a eu un certain nombre d'affaires marquantes en ce qui concerne les arguments publicitaires dans le domaine de l'environnement. En 1988, le CRIOC (Centre de recherche et d'information des organisations de consommateurs) en Belgique, a intenté une action contre Procter & Gamble, fabricants d'un détergent sans phosphate, parce que ce produit pollue l'environnement, bien que prétendant le contraire. Le CRIOC a aussi cité en justice la société Opel qui a trompé les consommateurs en se présentant sur le marché comme étant « respectueuse de l'environnement », déclaration fallacieuse car toutes les voitures polluent.

Au Danemark, une association de maraîchers avait accordé aux produits de ses membres un étiquetage écologique en faisant valoir qu'ils avaient réduit certains traitements par pulvérisation. L'ombudsman des consommateurs a insisté pour que l'étiquette écologique soit supprimée parce que les produits en question avaient fait l'objet de certaines améliorations, mais n'avaient pas été soumis à une analyse écologique sur l'ensemble du cycle de vie.

En 1992, le tribunal finlandais de la concurrence a ordonné à General Motors de cesser, sous peine d'une amende de FIM 200 000, d'utiliser l'expression « pour un environnement plus propre » dans la commercialisation de ses voitures, à moins que cet argument ne soit développé en détail avec suffisamment de preuves à l'appui. Il a considéré que la chanson et les images utilisées dans la publicité avaient une influence injustifiée sur les consommateurs.

Selon l'ombudsman norvégien, pour qu'un produit destiné à être commercialisé soit écologiquement préférable aux autres, il faut qu'il compte parmi les meilleurs produits de sa catégorie sur le marché. Par exemple, il a eu à traiter une affaire où l'expression « respectueux de l'environnement » était utilisée dans la publicité pour des torchons jetables. Dans ce cas particulier, l'ombudsman a estimé que l'avantage écologique devait, à tout moment, être apprécié en fonction de l'offre d'articles analogues. Si un nombre significatif de ces produits satisfont à une norme environnementale plus élevée, on estimera qu'il est abusif de dire qu'un produit est respectueux de l'environnement. L'ombudsman a décidé que le produit devait figurer parmi les trois meilleurs produits de sa catégorie du point de vue de ses effets sur l'environnement.

En 1991, le tribunal suédois de la concurrence a aussi interdit à General Motors d'utiliser l'expression « respectueux de l'environnement » dans une publicité pour

l'Opel Omega. De même que le CRIOC belge, le tribunal a estimé qu'il était manifestement abusif d'utiliser ce terme dans ce contexte.

V. LES CONSOMMATEURS ET LE RECYCLAGE

Il existe tout un éventail de systèmes de recyclage et d'élimination des déchets dans différents pays, qui permettent aux consommateurs soit de recycler ou de trier les déchets, soit de combiner les deux opérations. En Suisse, par exemple, le taux de récupération a augmenté depuis 1990 grâce à un certain nombre de mesures : des sacs à ordures payants, des dispositions pour mieux sensibiliser les consommateurs et une amélioration de l'infrastructure permettant la collecte séparée. Parmi les matériaux récupérés figurent le verre, le papier et le carton. Précédemment, une forte proportion des déchets était encore traitée dans des incinérateurs non équipés d'épurateurs pour les effluents gazeux.

Grâce à une large gamme de mesures incitatives, des tentatives ont été faites avec un certain succès pour accroître le tri des déchets par le grand public dans certaines régions de Finlande et de Suède. Le taux de recyclage est généralement très élevé pour les bouteilles en verre, les boîtes d'aluminium, le carton et le papier. Grâce à un système de consigne qui rend le recyclage commode et économique, le taux de recyclage des bouteilles en verre est maintenant supérieur à 90 % en Finlande et en Suède. Les fabricants des emballages en sont responsables même après qu'ils aient été utilisés, et tous les déchets destinés à être éliminés sont triés par catégories selon qu'ils se prêtent ou non à un traitement ultérieur.

En Norvège, l'essentiel des déchets municipaux va dans des décharges, et la superficie limitée des terrains disponibles a incité à accroître le recyclage. Parmi les matériaux récupérés, citons le papier, le carton, les emballages, les déchets alimentaires, les déchets biologiques, le verre, les pneus, les matières plastiques, les métaux, les textiles et les huiles usées. Il existe aussi un système d'élimination des déchets dangereux.

Au Canada, l'industrie manufacturière et le commerce de détail ont cherché à promouvoir des modes de consommation écologiquement viables en réduisant les déchets résultant de l'utilisation de leurs produits. Les entreprises font aussi quelques efforts pour accroître la durée de vie de leurs produits (par exemple les automobiles). Les industries de pointe cherchent à valoriser davantage leurs produits : au lieu de remplacer le matériel, on peut moderniser les produits en renouvelant le logiciel.

Dans beaucoup de pays, c'est aux autorités locales qu'incombe le ramassage des déchets ; elles assurent la collecte séparée du verre et du papier en installant des réceptacles pour les journaux, le carton et les récipients en verre. Les autorités

locales prennent des dispositions particulières pour éliminer, par exemple, les déchets végétaux, les encombrants, les huiles et les déchets chimiques. En Autriche, les municipalités sont tenues d'assurer la collecte séparée des déchets dangereux au moins deux fois par an. Cependant, le ramassage des déchets n'est pas simplement un service auquel ont droit les citoyens ; ces derniers ont un rôle à jouer et des responsabilités à exercer. Le succès d'un tel système dépend de la participation des consommateurs ; si leur coopération et leur participation sur une base volontaire est éminemment souhaitable, elle n'est pas toujours facile à obtenir. Les autorités locales pourraient envisager de manier « la carotte et le bâton » en invoquant la menace de sanctions en cas de défaut de participation (imposition d'amendes ou de taxes supplémentaires sur les déchets non triés).

Les installations offertes par les producteurs pour la séparation des déchets sont évidemment trop peu nombreuses par rapport à la population desservie, ce qui impose une obligation de transport aux ménages, certains devant prendre leur voiture pour apporter leurs déchets dans des décharges distinctes. En outre, beaucoup de pays semblent avoir du mal à organiser l'élimination des déchets dangereux d'une façon qui convienne aux consommateurs. Au Japon, ces déchets sont collectés par des entreprises agréées. Un autre problème vient du fait qu'un durcissement des obligations relatives à la gestion des déchets entraîne inéluctablement un alourdissement des coûts.

Selon certaines études consacrées aux biens de consommation, la durée de vie des produits n'est pas encore une question prioritaire de la politique à l'égard des consommateurs. En outre, on a peu ou pas d'informations sur la durée de vie en termes techniques des biens de consommation. L'une des études réalisées sur la question fait apparaître que le meilleur moyen d'aider les consommateurs à prolonger la durée de vie des appareils ménagers est de leur fournir un mode d'emploi et des instructions faciles à utiliser. Les manuels doivent être conçus en pensant à l'utilisateur, tant du point de vue du contenu que de la présentation. Les autorités publiques de plusieurs pays ont élaboré des documents d'information destinés aux consommateurs sur la base des résultats de cette étude, et ont invité les fabricants à en tirer les conséquences.

Pour que la durée de vie d'un produit soit considérée comme une caractéristique importante et ait un impact sur le choix du produit au moment de l'achat, les consommateurs doivent pouvoir disposer d'informations fiables sur la durée de vie des biens qui leur sont proposés. C'est la raison pour laquelle les organisations de consommateurs devraient produire un plus grand nombre de publications, contenant des informations sur les essais, et orientant les acheteurs vers des modes de consommation privilégiant les produits ayant une longue durée de vie. Il est cependant évident que ces essais sont onéreux et prennent du temps, et que leurs conclusions sont rapidement dépassées par l'apparition de nouveaux produits.

VI. CONCLUSIONS

Selon des enquêtes sur les attitudes des consommateurs, beaucoup d'entre eux reconnaissent l'importance des questions environnementales et sont prêts à assumer davantage de responsabilité en faveur de l'environnement. Cependant, ils pensent souvent que leur contribution personnelle se limite au tri des déchets et aux modalités de leur élimination ; ils ne voient pas que leur sphère d'influence est plus large. En pratique, même les consommateurs les mieux disposés sont souvent dans l'incapacité de changer leur comportement, peut-être parce qu'ils n'ont pas accès à des programmes de recyclage satisfaisants ou à des informations adéquates sur l'environnement et sur les produits qui pourraient les aider à effectuer des achats en connaissance de cause et à prendre des décisions concernant leur mode de vie.

L'industrie manufacturière a un rôle important à jouer pour influencer les choix des consommateurs et les encourager à acheter et à utiliser des produits plus respectueux de l'environnement. Non seulement elle devrait fournir des informations sur les produits et des notices d'utilisation complètes et efficaces, mais elle devrait être encouragée à produire des biens et services de qualité et à fournir des assurances aux consommateurs à ce sujet. Sensibiliser davantage les consommateurs et agir sur le comportement des consommateurs permettrait d'encourager davantage de producteurs à mettre au point des produits et des méthodes de production capables de réduire la charge qui pèse sur l'environnement.

L'enquête de l'OCDE a montré qu'en général les consommateurs ne sont pas très bien informés sur les problèmes d'environnement et qu'ils ont besoin d'informations complémentaires et plus précises pour pouvoir prendre des décisions d'achat écologiquement viables. Les pouvoirs publics, les entreprises, les associations de consommateurs et de protection de l'environnement devraient coopérer pour fournir aux consommateurs un accès facile à l'information et aux documents pédagogiques sur les questions d'environnement. Des guides sur les produits ou des listes d'équipements devraient permettre aux consommateurs de savoir rapidement quels sont les produits écologiquement les plus satisfaisants qui sont disponibles sur le marché.

Une des stratégies pour mieux sensibiliser l'opinion et encourager les consommateurs à modifier leur façon d'acheter serait d'organiser des campagnes d'information plus concrètes et sectorielles, comme celles menées en Finlande, centrées sur des produits et services spécifiques, plutôt que sur des modes de consommation. Le fait de cibler l'information peut aider à améliorer l'efficacité des campagnes d'information et d'éducation des consommateurs sur l'environnement. Les différents groupes de consommateurs ont des besoins différents en matière d'information sur l'environnement et ils sont susceptibles d'être influencés différemment par l'information. Dans certains cas, les consommateurs peuvent être encouragés à

coopérer pour que l'environnement et la consommation écologiquement viable fassent l'objet d'une prise en charge collective. Par exemple, des familles qui vivent dans un même immeuble ou des groupes d'amis peuvent être encouragés à grouper leurs achats ou à s'organiser pour partager des biens de consommation. Ainsi, plusieurs familles pourraient utiliser en commun des appareils ménagers.

BIBLIOGRAPHIE

Autriche

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT ; BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG ; BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT, SPORT UND KONSUMTENSCHUTZ (1994),
Ernährungsstruktur in Österreich.

DAS BUNDESMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTURELLE ANGELEGENHEITEN IN ZUSAMMENARBEIT MIT DEM ÖSTERREICHISCHEN KOMITEE FÜR UNICEF (1994),
Spannungsfeld Umwelt und Entwicklung.

Canada

ENVIRONMENTALLY SOUND PACKAGING COALITION OF CANADA (1990-91),
Greening the Marketplace. A «Hands-On» Guide for Concerned Individuals, Consumers and Environmental Groups.

ENVIRONMENTALLY SOUND PACKAGING COALITION OF CANADA (1991-92),
Truth in Environmental Labelling and Advertising, Report and Workshop Proceedings.

ENVIRONMENTALLY SOUND PACKAGING COALITION OF CANADA (1994-95),
Putting Consumers First: Green and Fair Economic Instruments.

MILLER, D. (1996),
Whither Environment? Public and Expert Opinion Projected to 2010, Synergestics Syndicated Studies.

Corée

ORGANISATION DE CONSOMMATEURS (1993),
Étude sur les modes de consommation écologiquement viables.

ORGANISATION DE CONSOMMATEURS (1995),
Enquête sur les attitudes des consommateurs à l'égard des produits préjudiciables à l'environnement.

Danemark

ÉTUDES DU COMPORTEMENT DES CONSOMMATEURS À L'ÉGARD DE L'ENVIRONNEMENT (1995).

États-Unis

COUNCIL OF PACKAGING IN THE ENVIRONMENT (1996),
National Consumer Survey.

FEDERAL TRADE COMMISSION (1996),
Consumer's Interpretation of Alternative Environmental Claims.

NATIONAL RECYCLING COALITION AND THE SOCIETY OF THE PLASTICS INDUSTRY (1994),
Plastic Resin Identification Code Research.

Finlande

HEISKANEN, E. (1996),

« Conditions pour l'allongement de la durée de vie des produits », Centre national de recherche des consommateurs, Document de travail 22/1996.

HEISKANEN, E. et P. TIMONEN (1996),

Prise de conscience de l'environnement et comportement des consommateurs : rapport de conclusion. Besoins des consommateurs en matière d'information écologique, Centre national de recherche des consommateurs, Publication 9/1996.

LINKKI (1996),

Programme de recherche sur les habitudes des consommateurs et les économies d'énergie, Rapport de synthèse, Publication 15/1996.

MOISANDER, J. (1996),

Attitudes et consommation écologiquement responsables, Statistiques Finlande, Rapport de recherche 218.

PANTZAR, M. (1996),

« Les consommateurs, poubelles de la société industrielle ou artistes ? » Centre national de recherche des consommateurs, Document de travail 26/1996.

Japon

QUESTIONNAIRE SUR L'ENVIRONNEMENT (1995).

Norvège

INSTITUT NATIONAL POUR LA RECHERCHE AUPRÈS DES CONSOMMATEURS (1993),
Du déchet à la ressource. Information et travail de formation dans le domaine du recyclage.

INSTITUT NATIONAL POUR LA RECHERCHE AUPRÈS DES CONSOMMATEURS (1995),
Recyclage. Attitude et action des consommateurs.

STRANDBAKKEN, P. (1995),

Consommation écologiquement viable, approches théoriques et empiriques du débat sur la consommation écologiquement viable, Institut national pour la recherche pour les consommateurs.

Suède

CONSEIL NATIONAL POUR LES POLITIQUES À L'ÉGARD DU CONSOMMATEUR (1994, 1995, 1996),

Le consommateur et l'environnement.

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(90 1999 25 2 P) ISBN 92-64-26179-6 – n° 51078 2000