



**Document de travail de l'OCDE sur  
les Échanges et l'Environnement  
n° 2006-01**

**Libéralisation des échanges dans le  
domaine des énergies renouvelables  
et des technologies associées :  
biodiesel, énergie solaire thermique  
et énergie géothermique**

Ronald Steenblik  
Direction des échanges de l'OCDE

**OCDE**

Groupe de travail conjoint sur les échanges et l'environnement

**Non classifié**

**COM/ENV/TD(2005)78/FINAL**



Organisation de Coopération et de Développement Economiques  
Organisation for Economic Co-operation and Development

**29-Jun-2006**

**Français - Or. Anglais**

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
DIRECTION DES ECHANGES**

**COM/ENV/TD(2005)78/FINAL  
Non classifié**

## **Groupe de travail conjoint sur les échanges et l'environnement**

### **LIBÉRALISATION DES ÉCHANGES DANS LE DOMAINE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES TECHNOLOGIES ASSOCIÉES : BIODIESEL, ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE**

**Document de travail de l'OCDE sur les échanges et l'environnement n° 2006-01**

**Ronald Steenblik**

**JT03211588**

**Document complet disponible sur OLIS dans son format d'origine  
Complete document available on OLIS in its original format**

**Français - Or. Anglais**



## RÉSUMÉ

Ce document, deuxième de la série des documents de travail de l'OCDE sur les échanges et l'environnement, étudie les conséquences de la libéralisation des échanges sur trois formes d'énergies renouvelables : biodiesel, chauffe-eau solaires thermiques et systèmes géothermiques. L'élimination des droits de douane sur les énergies renouvelables et les biens associés — qui sont de 15 % ou plus sur une base *ad valorem* dans de nombreux pays en développement — allégerait la charge qui pèse sur les consommateurs d'énergie, en particulier dans les zones rurales des pays en développement, là où précisément nombre des technologies liées aux énergies renouvelables apportent, ou sont susceptibles d'apporter, leur plus importante contribution. Les ventes supplémentaires d'équipements profiteraient aux producteurs des pays de l'OCDE, mais aussi à un nombre croissant d'entreprises implantées dans les pays en développement. Dans le cas du biodiesel, les pays en développement ont la capacité de devenir d'importants fournisseurs des pays de l'OCDE. Pour optimiser les avantages tirés de la libéralisation des échanges de biodiesel et de technologies liées aux énergies solaires thermiques et géothermiques, il pourrait cependant se révéler nécessaire d'engager de nouvelles réformes des politiques intérieures des pays importateurs, notamment celles touchant à la tarification des combustibles liquides, à la concurrence dans le secteur de l'électricité et à la protection de l'environnement.

*Classifications JEL* : F14, F18, Q42, Q48, Q56

*Mots-clés* : biens environnementaux, énergie renouvelable, technologies environnementales, échanges, pays en développement

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été préparée par Ronald Steenblik, sous la direction de Dale Andrew (Division des liens en matière de politique commerciale de la Direction des échanges de l'OCDE), et avec la participation de collaborateurs de la Division des politiques globales et structurelles de la Direction de l'environnement de l'OCDE, ainsi que de la Division de la coopération en matière de technologie de l'énergie de l'Agence internationale de l'énergie. Elle a été examinée par le Groupe de travail conjoint sur les échanges et l'environnement (GTCEE) de l'OCDE, qui est convenu de sa déclassification sous la responsabilité du Secrétaire général. L'auteur remercie les délégués du GTCEE des nombreuses observations et propositions utiles qu'ils ont formulées au cours de la préparation de l'étude, ainsi que Lew Foulton, Janet Hall, Peter Tulej et Simonetta Zarrilli des discussions, des remarques et des informations générales précieuses qu'ils ont apportées.

Le rapport est disponible en anglais et en français sur le site web de l'OCDE aux adresses suivantes : <http://www.oecd.org/trade> et <http://www.oecd.org/environment>.

**Copyright OCDE, 2006**

**Les demandes d'autorisation de reproduction ou de traduction totale ou partielle de ce document doivent être adressées aux : Éditions de l'OCDE, 2 rue André Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.**

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	4
BIODIESEL.....	5
CHAUFFE-EAU SOLAIRES.....	15
ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE.....	17
BIBLIOGRAPHIE.....	21

### Tableaux

Tableau 1. Estimation approximative de la production mondiale de biodiesel, 2002-2007 .....	7
Tableau 2. Variation en pourcentage des émissions de polluants atmosphériques pour l'ensemble du cycle de vie (en g/km) du biodiesel.....	10
Tableau 3. Rendements moyens des oléagineux, superficies nécessaires et principaux pays producteurs .....	12
Tableau Annexe 1. Sous-positions du SH dans lesquelles figurent le biodiesel et les produits en relation avec l'exploitation de l'énergie solaire thermique et de l'énergie géothermique.....	23
Tableau Annexe 2. Principaux exportateurs d'énergies renouvelables et de technologies en rapport avec les énergies renouvelables et droits les plus élevés appliqués.....	24

### Encadrés

Encadré 1. Production d'huile de palme et protection de l'environnement : l'exemple d'un producteur brésilien .....	14
Encadré 2. Remplacement des chauffe-eau classiques par des chauffe-eau solaires en Inde .....	17

## **LIBÉRALISATION DES ÉCHANGES DANS LE DOMAINE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES TECHNOLOGIES ASSOCIÉES : BIODIESEL, ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE**

### **Résumé**

Les possibilités de production et d'utilisation du biodiesel, des chauffe-eau solaires et des installations géothermiques suscitent un intérêt considérable dans les pays en développement. Les ressources sur lesquelles s'appuient ces formes d'énergie sont largement présentes sur terre, et leur exploitation fait intervenir des technologies souvent moins complexes que celles qu'exigent d'autres formes d'énergies renouvelables.

Pour étudier ces sources d'énergies et ces technologies au regard de la libéralisation des échanges, il serait utile de connaître l'importance des obstacles qui subsistent et de savoir comment se répartiraient les avantages apportés par l'atténuation de ces obstacles. Comme le premier document de la série (Steenblik, 2005), cette étude s'appuie sur une liste positive des énergies renouvelables et des technologies associées intéressant aussi bien les pays développés que les pays en développement et analyse les avantages (et les coûts) de la libéralisation de certains produits dans différents pays.

L'étude permet de constater que la production de biodiesel (ester méthylique ou éthylique ressemblant au gazole dérivé du pétrole) a beaucoup progressé ces dernières années et que cette expansion rapide devrait se poursuivre jusqu'à la fin de la décennie, lorsque la capacité prévue sera en place. Une grande partie de cette capacité nouvelle est créée dans les pays de l'OCDE, mais plusieurs pays en développement — le Brésil, la Chine, l'Inde et la Malaisie en particulier — sont déterminés à rejoindre les grands producteurs. Les pays en développement disposent souvent d'un choix de produits de départ, en particulier d'huiles de végétaux tropicaux, qui leur permet de produire du biodiesel à des coûts plus bas que d'autres. La libéralisation des droits de douane sur le biodiesel ferait baisser les prix et encouragerait une substitution plus rapide de ce carburant relativement propre au gazole. Cependant, pour que les échanges de biodiesel atteignent tout leur potentiel, il faut aussi apporter de nouvelles modifications aux politiques intérieures afin de protéger l'environnement. En outre, il faudrait dans certains pays supprimer les subventions à la consommation de gazole.

Les chauffe-eau solaires existent depuis des décennies, et des centaines peut-être de petits et de moyens producteurs en fabriquent dans le monde, y compris dans les pays en développement. Le chauffage de l'eau étant le premier ou le deuxième poste de consommation d'énergie des ménages dans la plupart des pays, toute mesure susceptible de faire baisser le coût des chauffe-eau profitera à l'environnement, en substituant une énergie propre tirée du soleil à d'autres sources d'énergie moins inoffensives. C'est dans les pays en développement que les obstacles aux échanges de chauffe-eau solaires sont les plus élevés, y compris dans ceux dont les conditions climatiques sont les plus favorables à leur utilisation.

Les possibilités de développement des ressources géothermiques sont importantes, mais limitées à des régions particulières de la planète. Certains pays en développement, comme les Philippines, ont déjà commencé de développer rapidement leurs sources d'énergie géothermique. La baisse des droits de douane qui pèsent sur les composants des dispositifs nécessaires à leur exploitation aiderait plusieurs autres pays à

exploiter pleinement cette source d'énergie et réduirait ainsi leur dépendance à l'égard de combustibles fossiles plus polluants.

## Biodiesel

### *Le carburant et les produits associés*

Le biodiesel est défini par l'Organisation mondiale des douanes (OMD) comme un « mélange de mono alkyl esters d'acides gras à longue chaîne [C16-18] dérivés d'huiles végétales ou de graisses animales, constituant un carburant domestique renouvelable pour moteurs diesel et répondant à la spécification de la norme ASTM D 6751 »<sup>1</sup>. Il peut être utilisé dans des moteurs standards à allumage par compression (moteurs diesel) sans modification ou après des modifications minimales. Il est biodégradable, non toxique, et pour l'essentiel exempt de soufre, d'hydrocarbures aromatiques (comme le benzène, produit cancérigène), et émet lors de la combustion beaucoup moins de particules que le gazole.

Il est possible de produire du biodiesel à partir de presque toutes les huiles ou matières grasses naturelles. La plus grande partie de la production mondiale de biodiesel provient actuellement d'huiles végétales, essentiellement de colza et de soja. Les autres plantes oléagineuses utilisées pour produire du biodiesel sont le ricin, la noix de coco, le jojoba, le palmier à huile (*Elaeis guineensis*), le jatropha (*Jatropha curcus L.*) et le tournesol — pour la plupart cultivés essentiellement dans des pays en développement. Le biodiesel peut aussi être produit à partir d'huiles de cuisson usagées, d'huile de poisson<sup>2</sup>, et de suif<sup>3</sup> (graisse animale). On a même suggéré de se servir des graisses obtenues par liposuction<sup>4</sup>, dont les États-Unis produisent à eux seuls 100 tonnes environ par an<sup>5</sup>.

La transformation des huiles et des graisses en biodiesel fait intervenir un procédé chimique relativement simple qui utilise des technologies bien connues<sup>6</sup>. Les huiles végétales et les matières grasses animales sont constituées essentiellement de triglycérides, qui sont des esters d'acides gras de glycérine. Sans transformation, ils sont extrêmement visqueux et tendent à laisser des résines — propriétés indésirables pour un carburant.

Le procédé le plus courant pour raffiner les huiles végétales, la transestérification en catalyse basique, consiste à extraire la glycérine des acides gras à l'aide d'un catalyseur comme le sodium ou l'hydroxyde de potassium et de la remplacer par un alcool anhydre, en général du méthanol. Le produit brut obtenu est alors centrifugé et lavé à l'eau pour être débarrassé de ses impuretés. On obtient de l'ester méthylique ou

<sup>1</sup> ASTM est l'abréviation de American Society for Testing and Materials. L'ASTM D6751 est la norme qui donne les spécifications du mélange de base de biodiesel (B100) pour carburants diesel.

<sup>2</sup> Terrence Sing, "Biotech industry goes fishing to find new auto fuel", *Pacific Business News*, 9 avril 2004, <http://www.bizjournals.com/pacific/stories/2004/04/12/focus3.html>.

<sup>3</sup> L'Australie possède deux usines qui traitent le suif ([www.arfuels.com.au](http://www.arfuels.com.au)) ; il en existe aussi plusieurs au Canada, et une installation permettant de traiter 100 000 tonnes par an doit entrer en activité au Brésil en juin 2006.

<sup>4</sup> Opération de chirurgie généralement esthétique constituant à retirer des tissus gras excédentaires de certaines parties du corps, comme les cuisses ou l'abdomen, par aspiration. Aussi appelé *liposuction*.

<sup>5</sup> Brett Schaeffer, "The accidental conservationist", *In These Times*, 3 décembre 2003 [http://www.inthesetimes.com/site/main/article/the\\_accidental\\_conservationist/](http://www.inthesetimes.com/site/main/article/the_accidental_conservationist/)

<sup>6</sup> Deux autres méthodes, généralement plus coûteuses, peuvent aussi être utilisées : (i) l'estérification directe, en catalyse acide de l'huile avec du méthanol (ii) la conversion de l'huile en acides gras dans un premier temps, puis en alkyl esters en catalyse acide.

éthylque (biodiesel), ainsi que, en plus petite quantité, du glycérol (SH 2905.45), sous-produit intéressant qui entre dans la composition de savons, de cosmétiques et de nombreux autres produits.

Il est possible de produire du biodiesel en très petites quantités au moyen d'équipements extrêmement simples de traitement, de conservation et de mélange du produit de base, du réactif, du catalyseur et des produits finaux. Plusieurs entreprises fabriquent aujourd'hui des raffineries modulaires de biodiesel qui peuvent être transportées et installées rapidement. Une entreprise britannique, D1 Oils Plc, par exemple, a mis au point une installation modulaire autonome de transestérification continue montée sur patins (la « D1 20 »), qui peut produire 8 000 tonnes de biodiesel par an à partir d'huiles végétales très diverses. D'un poids légèrement inférieur à 15 tonnes, elle mesure 3.30 mètres de largeur, 10 mètres de longueur et 4 mètres de hauteur, et peut être expédiée à n'importe quel endroit accessible par la route, le chemin de fer ou la mer<sup>7</sup>. Une entreprise argentine, Biofuels S.A. ([www.biofuels-sa.com](http://www.biofuels-sa.com)), commercialise des unités encore plus petites. Ces raffineries pourraient être classées dans la catégorie SH 8479.20 (« Machines pour l'extraction ou la préparation des huiles ou graisses végétales fixes ou animales). On peut citer un autre équipement important, un broyeur, qui pourrait être classé dans la catégorie SH 8479.82 (« Machines à mélanger, malaxer, concasser, broyer, cribler, tamiser, homogénéiser, émulsionner ou brasser »).

### ***Production et commerce***

Les pays de l'OCDE représentent à l'heure actuelle la plus grande partie de la consommation mondiale de biodiesel et 85 % environ de sa production. Dans le monde entier, la demande a été stimulée par des incitations fiscales, des réglementations sur la qualité ou la part des biocarburants dans les combustibles utilisés pour le transport, et par les politiques d'achats publics. L'exemption ou le remboursement de la taxe qui a pour effet de doubler le prix au détail du gazole dans de nombreux pays de l'OCDE est l'incitation à la consommation de biodiesel la plus courante.

De nombreux pays ont fixé la part que devaient représenter les biocarburants en général, ou le biodiesel en particulier, dans la consommation de carburants. En mai 2003, la Commission européenne a publié une directive (2003/30/CE) qui fixe la proportion de biocarburants (éthanol et biodiesel) à atteindre dans le secteur des transports. L'objectif visé pour fin 2005 est une part de 2 % au moins des biocarburants, et de 5.75 % fin 2010. Au Brésil, un mélange à 2 % (baptisé B2) sera obligatoire à partir de 2008 ; le pays compte accroître ensuite progressivement le pourcentage d'utilisation pour atteindre 5 % (B5) en 2013. La Malaisie a décidé qu'un mélange B5 serait vendu et utilisé dans tous les véhicules à partir de 2008, et la Thaïlande s'est fixé comme objectif de porter à 3 % la part du biodiesel en 2011. En février 2004, les Philippines ont décidé que tous les véhicules publics diesel utiliseraient un mélange à 1 % de biodiesel. Plus modestement, de nombreuses municipalités du monde entier exigent de leurs flottes d'autobus qu'elles utilisent un pourcentage minimal de biodiesel.

La construction d'installations de transformation des huiles et des graisses en biodiesel a reçu un soutien public considérable, sous forme de subventions, de prêts gratuits et, dans certains pays, de subventions à l'achat de matière première (ABI, 2005 ; Biofuels Taskforce, 2005). En outre, de nombreux pays de l'OCDE appliquent des taxes indirectes plus faibles sur le biodiesel que sur le gazole, ou versent une incitation pour chaque litre de biodiesel mis sur le marché. Différentes raisons sont avancées par les gouvernements pour justifier ces subventions : maintien de la production agricole et de l'emploi dans le pays, réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, atténuation de la dépendance à l'égard des produits pétroliers

---

<sup>7</sup> "D1 20 Modular Biodiesel Refinery", [http://www.d1plc.com/energy/d1\\_20\\_way.php](http://www.d1plc.com/energy/d1_20_way.php)

importés. Ce document n'a cependant pas pour objet d'examiner l'efficacité des subventions aux biocarburants au regard des objectifs cités<sup>8</sup>.

**Tableau 1. Estimation approximative de la production mondiale de biodiesel, 2002-2007**

(en milliers de tonnes)

Pays	2002	2003	2004	2005 e	2006 prévisions	2007 prévisions	2008 prévisions
Canada	1	3	3	43	76	83	100
Mexique	—	—	—	—	—	—	—
États-Unis	50	67	83	250	336	499	741
<b>Amérique du Nord</b>	<b>51</b>	<b>70</b>	<b>86</b>	<b>292</b>	<b>412</b>	<b>582</b>	<b>824</b>
Autriche	25	32	57				
République tchèque			60				
Danemark	10	41	70				
France	366	357	348				
Allemagne	450	715	1035				
Italie	210	273	320				
Slovaquie			15				
Espagne	0	6	13				
Suède	1	1	1				
Royaume-Uni	3	9	9				
<b>OCDE Europe</b>			<b>1930</b>				
<b>Europe, total</b>	<b>1073</b>	<b>1544</b>	<b>1935</b>	<b>2200</b>	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>5200</b>
Australie	27	27	29	36	187	268	350
Japon	2	2	3	3	3	7	10
Autres	—	—	—	—	—	—	—
<b>OCDE Asie-Pacifique</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>39</b>	<b>190</b>	<b>275</b>	<b>360</b>
Brésil	neg.	neg.	6	176	238	300	700
Chine	neg.	20	45	64	150	337	450
Inde	neg.	neg.	neg.	neg.	8	50	300
Malaisie	—	—	—	—	135	135	180
Philippines	—	—	29	29	58	58	100
Thaïlande	neg.	neg.	neg.	79	100	100	150
Autres	neg.	20	80	348	879	1255	2240
<b>Total monde</b>	<b>1153</b>	<b>1663</b>	<b>2133</b>	<b>2880</b>	<b>4250</b>	<b>5800</b>	<b>8000</b>

Sources : Secrétariat de l'OCDE, à partir de données provenant en partie de : • pour l'Amérique du Nord : National Biodiesel Board ([www.nbb.com](http://www.nbb.com)) ; • pour l'Europe: European Biodiesel Board ([www.ebb-eu.org/stats.php](http://www.ebb-eu.org/stats.php)); diverses autres sources

Les pays d'Europe occupent actuellement la première place pour la production de biodiesel, qui atteint près de 3 millions de tonnes par an ; cependant, l'Australie, le Brésil, l'Inde, la Malaisie et les

<sup>8</sup> Les lecteurs intéressés par la question peuvent se référer à différentes études consacrées à la rentabilité des politiques en faveur des biocarburants par rapport à d'autres solutions envisagées pour réduire la demande de produits pétroliers des moyens de transports et les émissions de gaz à effet de serre qu'ils émettent. Voir par exemple EUCAR, CONCAWE et JRC (2005), Kampman et Boon (2005) et Transportation Research Board (2005).

États-Unis ont réalisé récemment des investissements lourds qui devraient leur permettre de devenir eux aussi de grands producteurs (tableau 1). L'Indonésie, l'un des premiers producteurs mondiaux d'huile de palme (près de 35 % de la production mondiale) pourrait aussi devenir un grand producteur de biodiesel.

Bien que le biodiesel soit aussi facile à transporter que le gazole, les échanges restent pour l'instant modestes au niveau international. Ils sont importants à l'intérieur de l'Europe, car les fournisseurs recherchent les marchés qui offrent la plus grande différence entre le prix du gazole taxes comprises et le prix exempté de taxes du biodiesel. Le Japon importe aussi de petites quantités d'ester méthylique de noix de coco des Philippines. Les volumes échangés devraient cependant s'accroître rapidement, du fait de la demande croissante de carburants pour véhicules dans les pays en développement, des préoccupations relatives à la pollution créée par les transports et des mesures de promotion active des biocarburants adoptées dans les pays de l'OCDE (AIE, 2005 ; Loppacher et Kerr, 2005).

Fediol, fédération européenne de l'industrie des huiles végétales, a récemment fait remarquer que l'huile de palme produite en Asie pourrait couvrir jusqu'à 20 % des besoins en biodiesel de l'Union européenne en 2010<sup>9</sup>. Le Conseil de l'huile de palme de Malaisie a annoncé il y a quelque temps qu'il s'apprêtait à conclure des partenariats à parts égales avec d'autres investisseurs pour créer trois unités de production de biodiesel d'une capacité annuelle de 60 000 tonnes chacune (205 millions de litres au total). Ces installations seront en principe achevées fin 2006 et l'essentiel de leur production sera exportée vers l'Europe<sup>10</sup>.

De nombreux pays d'Afrique et d'Asie présentent à long terme un potentiel considérable de production et de vente de biodiesel fabriqué à partir du jatropha, gros arbuste à croissance rapide et résistant à la sécheresse dont les graines peuvent donner jusqu'à 2 700 kilogrammes d'huile brute à l'hectare. Des projets qui doivent permettre de démontrer les possibilités de production de biodiesel à partir de cette plante sont en cours ou en projet dans dix pays en développement au moins (Afrique du Sud, Burkina Faso, Chine, Ghana, Inde, Lesotho, Madagascar, Malawi, Swaziland et Zambie). La culture du jatropha est particulièrement bien adaptée aux sols trop pauvres et trop arides pour des cultures vivrières<sup>11</sup>, et la plante est aussi fixatrice d'azote. Les premières expériences réalisées en Inde au moyen de technologies simples ont déjà permis d'obtenir du biodiesel qui répond aux normes de qualité de l'UE.

La classification actuelle du biodiesel dans le système harmonisé gêne la collecte de statistiques sur les échanges et les droits de douane qui le concernent. Une décision récente du Comité du système harmonisé de l'OMD (35<sup>ème</sup> session, mars 2005) a confirmé que le biodiesel devait être classé dans la catégorie SH 3824.90, qui regroupe les produits chimiques et préparations des industries chimiques ou des industries connexes (y compris celles consistant en mélanges de produits naturels) non dénommés ou compris ailleurs. Cette décision permet de normaliser la classification du biodiesel dans le monde, mais ne résout pas le problème de son manque de spécificité : le biodiesel partage en effet sa sous-position avec de nombreux autres produits chimiques qui n'ont aucun rapport avec lui. L'édition 2005 de la liste du système harmonisé des États-Unis comprend ainsi dans cette catégorie 25 substances chimiques au niveau à 10 chiffres, aussi diverses que les cristaux cultivés et les « solutions chimiques électrolytiques et anélectrolytiques et autres produits pour cartes à circuit imprimé et agents de finissage des plastiques et métaux ».

<sup>9</sup> "Asian palm oil for euro diesel", 6 mai 2005, [www.greencarcongress.com](http://www.greencarcongress.com).

<sup>10</sup> "Malaysia investing in three palm-oil biodiesel plants", 29 septembre 2005, [www.greencarcongress.com](http://www.greencarcongress.com)

<sup>11</sup> Selon certaines estimations, il existe par exemple en Inde de 50 à 130 millions d'hectares de terres agricoles marginales et dégradées (<http://www.ecoworld.org/Home/Articles2.cfm?TID=353>).

Les droits de douane qui s'appliquent actuellement au biodiesel sont plus faibles que ceux qui touchent d'autres produits d'énergies renouvelables. Seuls 13 pays ont mis en place des taux *ad valorem* supérieurs à 10 %. C'est l'Inde qui applique les droits les plus élevés (30 %), suivie des Maldives (25 %) et du Ghana (20 %). Cependant, près de 40 pays ont consolidé leurs droits de douane à des taux *ad valorem* de 20 % ou plus. Certains pays, comme l'Australie, appliquent aussi un taux spécifique (en fonction du volume) aux importations.

Les droits de douane qui s'appliquent actuellement aux appareils d'extraction d'huile (SH 8479.20) et de broyage (SH 8479.82) sont inférieurs ou égaux à 7 % dans les pays de l'OCDE mais supérieurs ou égaux à 15 % dans dix pays en développement. Les droits consolidés sont beaucoup plus élevés puisqu'ils dépassent 15 % dans plus de 50 pays, y compris plusieurs pays de l'OCDE. Le Mozambique et le Rwanda ont fixé à 100 % les droits consolidés sur ces équipements, même si les droits appliqués sont seulement de 5 %, voire nuls.

### ***Conséquences pour l'environnement***

De nombreuses études ont été réalisées sur les effets environnementaux qu'aurait la substitution des biocarburants, en particulier du biodiesel, aux combustibles fossiles. Les conséquences seraient de plusieurs types : effets sur les émissions de polluants et de gaz à effet de serre, sur les flux de déchets et sur les ressources utilisées pour cultiver les produits entrant dans la composition des biocarburants.

Ce sont sans doute les effets sur les émissions de polluants atmosphériques qui ont été étudiés de la façon la plus approfondie. Cependant, les résultats diffèrent d'une étude à l'autre, en fonction semble-t-il du nombre de variables, de la qualité des carburants comparés, du moteur utilisé lors de l'essai et des conditions atmosphériques (voir par exemple National Traffic Safety and Environment Laboratory, 2004). Le tableau 2, fourni uniquement à titre d'exemple, indique les variations des émissions de polluants atmosphériques, pour l'ensemble du cycle de vie, qui résultent du remplacement à 100 % du gazole à basse teneur en soufre (de qualités diverses) par du biodiesel, compte tenu des différences d'efficacité énergétique. Les émissions indiquées proviennent essentiellement du transport, de l'entreposage et d'une combustion incomplète du biodiesel. Les baisses observées diffèrent légèrement selon le type de biodiesel et la qualité du gazole qui sont comparés, mais on peut tirer deux conclusions générales : les émissions de monoxyde de carbone, de carbone organique volatile et de particules baissent avec du biodiesel, alors que les émissions d'oxydes d'azote augmentent (jusqu'à 30 % si l'on compare du biodiesel de colza à du gazole à basse teneur en soufre). Comme le biodiesel (quelle qu'en soit l'origine) ne contient que des traces de soufre, les émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) sont elles aussi fortement réduites. En raison de la plus basse teneur en soufre du biodiesel et de ses autres avantages, notamment de son plus grand pouvoir lubrifiant, les moteurs qui l'utilisent fonctionnent plus longtemps.

**Tableau 2. Variation en pourcentage des émissions de polluants atmosphériques pour l'ensemble du cycle de vie (en g/km) du biodiesel « 100 % bio » par rapport au gazole à basse, très basse et ultra basse teneur en soufre<sup>1</sup>**

Type de gazole servant à la comparaison, polluant	Biodiesel de colza	Biodiesel de suif	Biodiesel de déchets d'huile de cuisson usagée	Gazole à basse teneur en soufre (BTS)	Gazole à très basse teneur en soufre (TBTS)	Gazole à ultra basse teneur en soufre (UBTS)
<b>Comparaison avec BTS</b>						
Monoxyde de carbone (CO)	-27	-37	-47	—	-	-2
Oxydes d'azote (NOx)	+6	+5	-5	—	-9	+18
Carbone organique volatile (COV)	-32	-35	-50	—	-8	+13
Particules (PM)	-32	-33	-39	—	-20	+24
<b>Comparaison avec TBTS</b>						
Monoxyde de carbone (CO)	-27	-37	-47	+	—	-1
Oxydes d'azote (NOx)	+17	+15	+4	+10	—	+10
Carbone organique volatile (COV)	-26	-29	-45	+9	—	-5
Particules (PM)	-15	-16	-23	+25	—	-5
<b>Comparaison avec UBTS</b>						
Monoxyde de carbone (CO)	-26	-36	-46	+2	+1	—
Oxydes d'azote (NOx)	+30	+28	+16	+22	+11	—
Carbone organique volatile (COV)	-22	-26	-42	+15	+5	—
Particules (PM)	-11	-12	-20	+31	+5	—

1. D'après des mesures réalisées sur un camion non articulé (« camion porteur »).

Source : Biofuels Taskforce (2005), p. 83, d'après T Beer, D Olaru, M Van der Schoot, T Grant, B Keating, S Hatfield Dodds, C Smith, M Azzi, P Potterton, D Mitchell, Q Reynolds, J Winternitz, S Kierce, A Dickson, C Short, T Levantis et E Heyhoe E, *Appropriateness of a 350 million litre biofuels target*, CSIRO, ABARE, et BTRE Report to the Australian Government. Department of Industry Tourism and Resources, Canberra, décembre 2003.

Les réductions des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sur l'ensemble du cycle de vie dépendent du produit de base employé pour produire le biodiesel, des modes de production et des hypothèses concernant les autres utilisations possibles des terres sur lesquelles est cultivé ce produit, en particulier s'il s'agissait auparavant d'exploitations forestières. Un rapport récent de l'AIE (2005, tableau 3.6), établi à partir d'études concernant de l'ester méthylique de colza et de soja, rend compte de réductions des émissions de gaz à effet de serre « du puits à la roue » comprises entre 44 % et 63 % par kilomètre, par rapport au gazole. L'étude plus récente de la chaîne du carburant « du puits à la roue » (Well to Wheel) effectuée par la Commission européenne (EUCAR, CONCAWE et CCR, 2005) conclut que les économies d'énergies fossiles et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) résultant de l'utilisation de biocarburants classiques comme le biodiesel sont en grande partie fonction des procédés de fabrication et de la destination des produits dérivés. L'équilibre des GES est particulièrement incertain en raison des émissions de protoxyde d'azote associées à la culture de plantes à hydrocarbures, lesquelles dépendent dans une large mesure du taux d'engrais azoté appliqué. Les plantes fixatrices d'azote, y compris les légumineuses comme le soja, et d'autres plantes comme le jatropha et le jojoba, sont moins problématiques à cet égard.

Du point de vue de la gestion des déchets, la production de biodiesel à partir d'huile de cuisson usagée ou de suif de basse qualité est intéressant pour l'environnement, car elle permet de se débarrasser de ces produits plus proprement que par les méthodes habituelles. On produit chaque année dans le monde des milliards de litres d'huile et de saindoux pour frire des aliments, et la plus grande partie des huiles et matières grasses usagées est déversée dans les égouts, ce qui fait monter le coût de traitement des effluents

ou pollue les cours d'eau<sup>12</sup>. Il serait difficile et coûteux de collecter toute cette huile auprès des ménages, mais la collecte et le recyclage des huiles de cuisson usagées des restaurants des zones urbaines sont déjà courants dans de nombreuses villes du monde, en particulier dans les pays de l'OCDE.

On peut supposer que les effets marginaux de la libéralisation des échanges sur l'environnement à court et à moyen terme ne seraient pas très prononcés. A moyen terme, la demande de biodiesel dépendra sans doute des politiques publiques, en particulier de la fiscalité et des lois qui fixeront la part minimale de biocarburant liquide dans les carburants utilisés pour les transports. Si les prix mondiaux (hors taxes) du gazole restent élevés ou augmentent, et que le biodiesel relativement bon marché produit par les pays en développement peut soutenir la concurrence du biodiesel produit dans les pays développés, la consommation totale de biodiesel pourra dépasser les objectifs chiffrés fixés par l'UE, avec les conséquences positives qui en résulteront sur le plan des émissions de polluants atmosphériques et de dioxyde de carbone.

Les effets d'une augmentation modeste des échanges sur les superficies utilisées dépendront des oléagineux utilisés comme matière première. Certains espaces auparavant boisés seront peut-être déboisés, mais on peut aussi envisager une réorganisation de la production globale d'oléagineux, consistant à affecter davantage d'oléagineux tropicaux à la production de carburant plutôt qu'à des usages alimentaires. Pour chaque hectare de colza réaffecté, il faudrait planter une superficie légèrement inférieure de ricin, deux tiers d'hectare de jatropha ou 0.2 hectare de palmiers à huile. On commence maintenant à planter du ricin et du jatropha dans des zones semi-arides sur des terrains dégradés. Ces deux végétaux s'adaptent bien aux climats semi-arides et il suffit de quelques millimètres de précipitations par an pour obtenir des rendements raisonnables.

Les effets sur l'environnement du transport maritime de biodiesel seraient probablement modérés eux aussi. Tout transport comporte un risque d'accident et de déversement dans la mer de grandes quantités de carburant. Cependant, les dommages seraient moins graves que ceux d'une pollution au gazole, d'une part parce que le biodiesel est moins toxique pour les organismes vivants et d'autre part parce qu'il se dégrade deux fois plus vite dans l'environnement (Zhang *et al.*, 1998 ; Zhou *et al.*, 2003). Il est intéressant à cet égard que la France classe le biodiesel parmi les produits alimentaires dans sa réglementation sur le transport de matières dangereuses (von Wedel, 1999). Néanmoins, un déversement important serait grave pour les oiseaux de mer et d'autres animaux si le biodiesel se rapprochait des côtes, comme le serait un déversement d'huile végétale pure. Le transport par mer produirait des émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> — de l'ordre de 1 % à 2 % du CO<sub>2</sub> contenu dans le carburant — qui seraient cependant facilement compensées compte tenu des émissions plus faibles de CO<sub>2</sub> pendant le cycle de vie du carburant importé par rapport au biodiesel national avec lequel il se trouve en concurrence. Il se produirait aussi des émissions supplémentaires de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) mais la plupart se produiraient en mer et seraient dispersées sous forme de précipitations avant d'atteindre la terre.

A long terme, le remplacement du gazole par le biodiesel présente d'énormes potentialités. La production mondiale de biodiesel est actuellement de 100 millions de tonnes par an, alors qu'on s'attend à ce que les besoins en diesel dépassent 1500 millions de tonnes en 2020. Bien qu'on puisse transformer en biodiesel davantage d'huile de cuisson, de suif et d'huile de poisson de récupération, la production de biodiesel à grande échelle nécessiterait la mise en culture d'importantes superficies de terres, et il faudrait transformer en terres agricoles des terrains auparavant non cultivés, ce qui risque de libérer dans l'atmosphère le carbone emprisonné dans le sol.

---

<sup>12</sup> Les huiles végétales et les graisses animales sont biodégradables dans l'eau mais le processus biologique utilise de l'oxygène qui, sinon, serait utilisée par les organismes aquatiques.

La superficie requise totale dépendrait à la fois du volume de la demande à laquelle ne peuvent répondre les ressources en suif et en huile recyclés, et du rendement d'huile par hectare. Les rendements varient fortement selon les produits (tableau 2), mais aussi en fonction de la variété utilisée, du climat, de la fertilité naturelle du sol, et des intrants tels que pesticides et engrais. Ils peuvent aussi évoluer avec le temps, grâce aux améliorations apportées par le progrès technique. Compte tenu des rendements globaux actuels, la quantité d'huile produite par hectare de colza est sept fois plus élevée que celle que permet de produire un hectare de maïs, et le rendement d'un hectare de palmier à huile est cinq fois plus élevé que celui d'un hectare de colza. Par conséquent, pour répondre à un accroissement annuel d'un milliard de litres de la consommation de biodiesel (sans tenir compte de l'éventuelle augmentation des volumes de biodiesel nécessaires à la production), il faudrait planter 2 150 km<sup>2</sup> environ de palmiers à huile, 10 700 km<sup>2</sup> de colza, ou 74 200 km<sup>2</sup> de maïs. Cette dernière superficie correspond approximativement à celle du Panama. Pour remplacer tout le gazole consommé en 2000 par du biodiesel d'origine végétale, il faudrait disposer d'une superficie 1000 fois supérieure. Même si le biodiesel était produit entièrement à partir d'huile de palme, la culture des palmiers occuperait 2.15 millions de km<sup>2</sup>, ce qui correspond à peu près à la superficie de l'Arabie saoudite. Or la consommation de gazole en 2020 sera, selon les estimations, supérieure de 50 % au moins à celle de 2000.

**Tableau 3. Rendements moyens des oléagineux, superficies nécessaires et principaux pays producteurs**

Produit	Production en litres d'huile par hectare	Superficie nécessaire pour remplacer 10 <sup>9</sup> litres de gazole, en km <sup>2</sup>	Principaux pays producteurs en 2004
Maïs	172	74 252	États-Unis, Chine, UE, Brésil, Mexique
Coton	325		Chine, Inde, États-Unis, Pakistan, Ouzbékistan, Brésil
Chanvre	363	35 183	Canada
Soja	446	28 635	États-Unis, Brésil, Argentine, Chine, Inde, Paraguay
Lin	478	26 718	Canada, Chine, États-Unis, UE
Sésame	696	18 350	Inde, Chine, Soudan
Carthame	779	16 395	Inde, Mexique, Éthiopie, Australie
Abrasin	940	13 587	
Tournesol	952	13 415	Fédération de Russie, Ukraine, Argentine, UE, Inde
Arachide	1 059	12 060	Chine, Inde, Nigeria, Myanmar (Birmanie), États-Unis
Oeillette	1 163	10 981	Afghanistan, Turquie
Colza	1 190	10 732	UE, Chine, Canada, Inde, Australie
Olive	1 212	10 537	UE, Syrie, Turquie, Tunisie, Maroc
Ricin	1 413	9 038	Brésil
Jojoba	1 818	7 025	États-Unis, Mexique, Argentine, Israël
Jatropha	1 892	6 750	Cultivé dans presque tous les pays tropicaux et subtropicaux
Noix de macadamia	2 246	5 686	Australie
Noix du Brésil	2 392	5 339	Brésil
Avocat	2 638	4 841	Mexique, États-Unis, Afrique du Sud, Chili, Espagne, Israël
Copra	2 689	4 749	Philippines, Indonésie, Inde, Vietnam, Mexique
Palmier à huile	5 950	2 146	Malaisie, Indonésie, Nigeria, Thaïlande, Colombie

Sources : • **rendements** : site web de « Journey to Forever » ([http://journeytoforever.org/biodiesel\\_yield.html#ascend](http://journeytoforever.org/biodiesel_yield.html#ascend))  
 • **producteurs des oléagineux les plus courants** : Foreign Agricultural Service des États-Unis ([www.fas.usda.gov/psd/](http://www.fas.usda.gov/psd/));  
 • **producteurs d'oléagineux de moindre importance** : sources diverses.

Cependant, les rendements ne sont pas les seuls facteurs qui influent sur les conséquences pour l'environnement de la réaffectation de terres à la production d'oléagineux destinés à être transformés en biodiesel. Certains oléagineux, comme le maïs et le colza, exigent beaucoup d'eau et d'apports de produits chimiques. L'eau utilisée pour l'agriculture est souvent largement subventionnée, ou tirée de nappes aquifères, ou les deux. D'autres végétaux, comme le jojoba et jatropha, demandent relativement peu d'intrants, et peuvent même stopper l'érosion et contribuer à l'amélioration de la qualité du sol à long terme. Les pratiques de culture et de récolte entrent en jeu également. Toutes choses égales par ailleurs (pente, précipitations, type de sol), il est plus difficile de contrôler l'érosion du sol lorsqu'on plante, cultive

et récolte des cultures annuelles de plein champ que des plantes pluriannuelles dont la récolte se fait sur des arbres ou des arbustes. Les effets de l'évolution ou de la disparition des habitats sont susceptibles de varier considérablement, en proportion des modifications apportées aux pratiques – remplacement de cultures mixtes de faible intensité par une monoculture intensive, ou de forêts tropicales par des plantations exploitées. Cependant, il est important aussi de reconnaître que ce problème ne se pose pas uniquement pour les cultures nouvelles nécessaires à la production de biocarburants. Dans la mesure où les politiques publiques de soutien en vigueur incitent à poursuivre l'exploitation des terres agricoles, et où l'élimination du soutien se traduirait probablement par la conversion des terres à des cultures moins intensives ou à l'exploitation forestière, il existe un coût d'opportunité associé au maintien de ces politiques, car le niveau de biodiversité qui en résulte est plus faible qu'il ne le serait en l'absence de telles politiques.

La production d'huile de palme suscite des préoccupations, en particulier parce que son développement risque de se faire aux dépens des forêts tropicales ou des herbages permanents. Plusieurs publications récentes (Brown et Jacobson, 2005, par exemple) et divers sites web mettent en garde contre les conséquences que peut avoir la création de plantations de palmiers à huile par déboisement de forêts tropicales ou de forêts marécageuses

(voir [www.rainforestweb.org/Rainforest\\_Destruction/Agribusiness/Palm\\_Oil/](http://www.rainforestweb.org/Rainforest_Destruction/Agribusiness/Palm_Oil/) ou [www.wrm.org.uy/plantations/palm.html](http://www.wrm.org.uy/plantations/palm.html) par exemple).

Cependant, même ceux qui critiquent la culture de palmiers à huile reconnaissent que :

Comme pour toute production végétale, ce n'est pas la culture du palmier à huile qui pose des problèmes mais le modèle industriel dans lequel elle s'inscrit. De nombreux exemples — en particulier en Afrique — montrent qu'on peut cultiver et exploiter ce palmier en respectant l'environnement, et s'en servir pour répondre durablement et équitablement aux besoins des populations locales.

Les entreprises qui exploitent des plantations de palmiers à huile sont bien conscientes des préoccupations environnementales que suscite cette culture, et certaines s'efforcent d'en tenir compte (encadré 1). Cependant, certains observateurs de l'expansion de ce secteur dans les pays en développement (par exemple Hunt *et al.*, 2006, p. 70) pensent qu'il ne faut pas tabler a priori sur un comportement responsable à l'égard de l'environnement des producteurs de biocarburants, et qu'il faut par conséquent disposer d'une manière ou d'une autre d'un système de certification de la conformité à certaines normes environnementales. Il pourrait être envisagé de répondre à certaines de ces préoccupations au moyen d'un système de certification volontaire, aux effets relativement modestes sur les échanges, bien que les dispositifs volontaires puissent eux aussi avoir des conséquences inattendues sur le plan de l'accès au marché (OCDE, 2005).

Le Plan d'action de la Commission européenne dans le domaine de la biomasse (CE, 2005) va plus loin en prévoyant explicitement d'envisager l'obligation « mise en œuvre à travers un système de certificats, de ne compter au titre de la réalisation des objectifs [fixés au niveau national en ce qui concerne la part de marché des biocarburants sur l'ensemble du marché des carburants de l'UE], que les biocarburants produits à base de plantes dont la culture se conforme à des normes minimales de viabilité écologique » et en ajoutant : « Le système de certificats devrait s'appliquer de manière non discriminatoire à tous les biocarburants, qu'ils soient issus de la production nationale ou de l'importation ». Un tel dispositif, même s'il n'est pas directement lié aux échanges, aurait certainement une incidence sur les importations, car il serait plus difficile aux fournisseurs non certifiés de trouver des acheteurs. Il faudrait résoudre plusieurs problèmes de certification par rapport aux normes de viabilité pour faciliter les échanges. qui fixerait les normes, et sur la base de quels critères internationaux ? Quel serait l'organe chargé d'accréditer les organismes de certification ? Les entreprises ou les professionnels autorisés à fournir des services de certification ou d'inspection dans un pays seraient-ils accrédités pour les offrir dans d'autres pays ?

**Encadré 1. Production d'huile de palme et protection de l'environnement :  
l'exemple d'un producteur brésilien**

Agropalma, une entreprise brésilienne, investit dans la production de biodiesel au moyen de partenariats avec de petits exploitants agricoles, essentiellement en Amazonie. Dans le cadre d'un de ces programmes, dans l'État du Pará, 150 familles environ cultivent des palmiers à huile. Le projet est soutenu par le gouvernement de l'État du Pará, l'institut national de recherche agricole (Embrapa) et la Banque d'Amazonie (BASA).

Le modèle productif de base est le suivant. Chaque famille reçoit 12 hectares. Agropalma fournit les plants, crée les infrastructures initiales et enseigne les techniques de culture du palmier. Elle s'efforce d'utiliser des méthodes biologiques pour lutter contre les ravageurs et les maladies, en réduisant autant que possible l'application de produits chimiques. Lorsque les arbres portent des fruits, elle achète toute la récolte à des prix fondés sur les cours mondiaux. Comme il faut 36 mois avant que le palmier ne produise ses premiers fruits, la BASA prête un salaire mensuel minimal de 130 USD aux agriculteurs pour qu'ils puissent vivre sur l'exploitation et acquérir les intrants nécessaires. Les agriculteurs doivent ensuite rembourser la valeur totale du prêt (après un délai de grâce de sept ans) et les intérêts, dont le taux est fixé à 4 % par an.

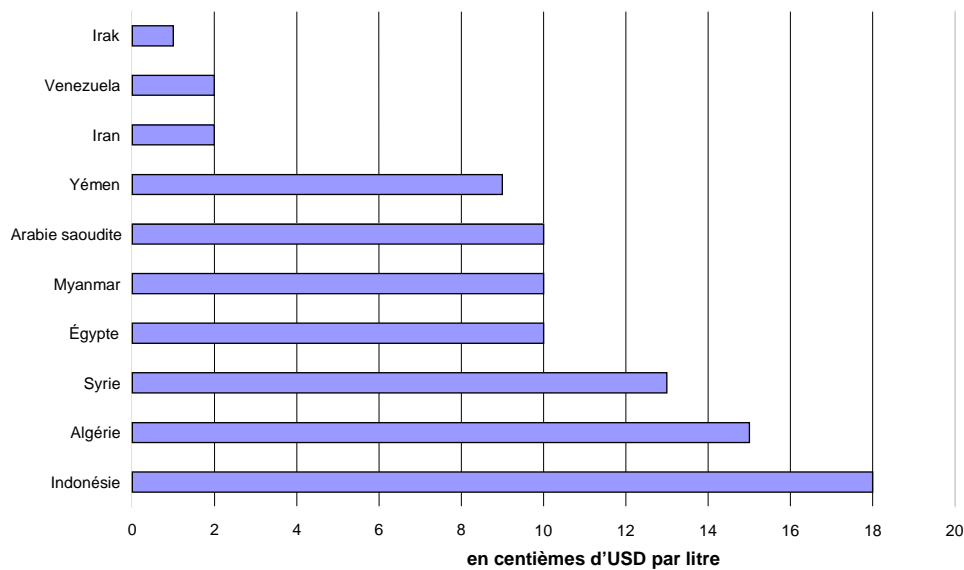
Les terres que détient Agropalma couvrent 82 000 hectares, dont 50 000 hectares sont des zones de préservation de l'environnement : la végétation d'origine y est maintenue et la chasse et la pêche y sont interdites, de façon à protéger l'écosystème. Les nouveaux palmiers sont plantés en priorité dans des zones dégradées. Les forêts riveraines, qui protègent des cours d'eau, ont été entièrement préservées. Les implantations futures, qu'elles soient le fait d'Agropalma ou d'autres parties, seront limitées aux zones déjà très dégradées.

Tous les déchets résultant de la production des fruits sont utilisés, de même que ceux qui résultent de l'extraction de l'huile de palme et de l'huile de palmiste. Les régimes vides peuvent servir d'engrais dans les zones de production d'huile biologique certifiée. Les fibres obtenues après pressage des fruits sont utilisées comme combustible dans les chaudières à vapeur, qui entraînent des générateurs à turbine électrique ; on utilise aussi une partie de la vapeur résiduelle pour la stérilisation et le traitement de la chaleur dans le processus d'extraction de l'huile. Les effluents sont utilisés pour fertiliser et irriguer la palmeraie, ils n'atteignent jamais les rivières ou les ruisseaux.

Source : Cláudia Abreu, "Biodiesel, the social fuel", *Arab-Brazil News Agency*, 1<sup>er</sup> novembre 2005 : ([www.anba.com.br/ingles/especial.php?id=250](http://www.anba.com.br/ingles/especial.php?id=250)) et site web d'Agropalma : <http://www.agropalma.com.br/en/default.aspx?PortalID=14&TabId=9>

### **Mesures complémentaires**

La libéralisation des droits de douane sur le biodiesel permettrait aussi de le rendre plus concurrentiel sur le plan des coûts par rapport au gazole, en particulier dans les pays dans lesquels le prix de détail du gazole est aligné sur les prix mondiaux, ou plus élevé, en raison des taxes indirectes. Cependant, 40 pays réglementent encore le prix de détail du gazole, en le fixant dans certains cas à un niveau très inférieur au prix du marché. D'après Metschies (2005), il y avait parmi eux, en novembre 2004, plusieurs économies relativement importantes, comme l'Égypte, l'Indonésie, l'Iran et le Venezuela. Le graphique 1 indique les pays dans lesquels le prix intérieur de détail du gazole était même inférieur au prix du pétrole brut sur le marché mondial (0.27 USD par litre à cette époque) dans les dix pays les plus peuplés.

**Graphique 1. Prix de détail du gazole dans plusieurs pays en novembre 2004**

Source : Metschies (2005), p. 63

Il est politiquement difficile de modifier le prix du gazole, comme peuvent en témoigner les pays qui l'ont fait (le Yémen, par exemple, où le prix du gazole a doublé depuis novembre 2004, comme l'indique Metschies dans la même étude). Il existe pourtant de bonnes raisons d'aligner les prix intérieurs sur les prix mondiaux, indépendamment des effets des prix bas sur les carburants renouvelables en concurrence avec le gazole. La nécessité de s'assurer que les prix des produits pétroliers se substituant au gazole ne créent pas d'obstacles aux échanges de carburants renouvelables constitue un argument de plus en faveur de la réforme des prix intérieurs.

## Chauffe-eau solaires

### *La ressource et les produits connexes*

Les pays en développement sont présents également sur le marché des *chauffe-eau solaires*, classés dans la catégorie SH 8419.19. Utiliser le soleil pour chauffer ou préchauffer l'eau est à la fois très efficace et économique dans les régions qui bénéficient d'une forte insolation — c'est-à-dire les régions situées entre 35 degrés de latitude sud et 35 degrés de latitude nord. Cependant, selon les conditions climatiques et le coût des autres sources d'énergie, cette solution peut aussi se trouver en concurrence avec d'autres méthodes de chauffage de l'eau en dehors de cette zone.

En général, un chauffe-eau solaire familial est composé d'un ou de plusieurs capteurs, d'un réservoir de stockage bien isolé et, selon le système, d'une pompe électrique. Les technologies de l'élément distinctif, le capteur, varient du simple au complexe. Dans les *capteurs plats*, les plus courants, des tubes de plastique ou de cuivre passent dans un boîtier isolé à l'épreuve des intempéries. Les capteurs à *tubes sous vide* sont faits de rangées de tubes parallèles transparents en verre. Les capteurs à *concentration* destinés à des applications résidentielles ou commerciales sont généralement des réflecteurs paraboliques utilisant des miroirs pour concentrer l'énergie du soleil sur un tube absorbeur (appelé récepteur) qui contient un fluide caloporteur.

Le potentiel de croissance du chauffage solaire de l'eau est important, en particulier dans les pays ensoleillés toute l'année. En Israël, par exemple, tous les nouveaux logements doivent être équipés de chauffe-eau solaires, et plus de 90 % des habitations de Chypre en sont dotées<sup>13</sup>.

### ***Production et commerce***

Il existe des centaines de producteurs de chauffe-eau solaires dans le monde. Pratiquement tous les pays membres de l'OCDE en fabriquent, y compris le Mexique et la Turquie. Dans le reste du monde, 32 pays au moins produisent des chauffe-eau solaires : l'Afrique du Sud, l'Arabie saoudite, l'Argentine, l'Arménie, la Barbade, le Brésil, la Bulgarie, le Chili, la Chine, la Croatie, Cuba, Chypre, la Dominique, l'Égypte, les Émirats arabes unis, Hong Kong, l'Inde, l'Indonésie, l'Iran, Israël, la Jordanie, la Lituanie, la Macédoine, la Malaisie, le Maroc, le Népal, le Pakistan, les Philippines, la Russie, Singapour, le Sri Lanka et la Thaïlande.

Dans les pays de l'OCDE, les chauffe-eau solaires sont généralement utilisés avec des systèmes d'appoint, électriques ou au gaz. Dans d'autres régions, en revanche, ils constituent souvent la seule source d'eau chaude, et sont reliés à des réservoirs de stockage isolés.

Il est surprenant de constater que les droits de douane qui s'appliquent aux chauffe-eau solaires sont supérieurs à 20 % dans plus de 40 pays membres de l'OMC, caractérisés pour la plupart par des climats ensoleillés et des populations rurales dispersées, ce qui semblerait favoriser l'exploitation de cette technologie. Les taux consolidés dépassent 20 % dans plus de 50 membres de l'OMC, dont plusieurs pays membres de l'OCDE.

### ***Conséquences pour l'environnement***

Sur le plan de l'environnement, le développement des chauffe-eau solaires aura pour conséquence principale la réaffectation du carburant qui aurait été consommé directement pour chauffer l'eau ou faire fonctionner une centrale électrique. Cette énergie n'est pas négligeable. Dans les pays industriels tempérés à haut revenu, le chauffage de l'eau est en général le deuxième poste de consommation d'énergie des ménages, après le chauffage ou la climatisation des locaux. Au Canada, par exemple, le chauffage de l'eau représente 20 % environ de la consommation totale d'énergie des ménages (Ressources naturelles Canada, 2005). Les pays à revenu intermédiaire consomment moins d'énergie par habitant pour le chauffage de l'eau, mais la part que celui-ci représente dans la consommation d'énergie des ménages peut être beaucoup plus élevée, et il occupe en général la première place parmi les utilisations finales de l'énergie. Dans les ménages les plus pauvres, en particulier les ménages ruraux des pays en développement, l'eau chaude est souvent produite au moyen de chauffe-eau à bois (encadré 2) ou sur des feux à ciel ouvert.

Les autres impacts des chauffe-eau solaires sur l'environnement sont minimes. Les chauffe-eau solaires sont généralement installés sur les toits des bâtiments, de sorte que les besoins en terrains supplémentaires sont faibles ; les principales incidences sont d'ordre esthétique.

<sup>13</sup>

[http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/renewable\\_energy\\_basics/how-solar-energy-works.html](http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy_basics/how-solar-energy-works.html)

### **Encadré 2. Remplacement des chauffe-eau classiques par des chauffe-eau solaires en Inde**

Chaque année, le district d'Anand de l'État du Gujarat, en Inde, s'équipe à lui seul de 15 000 nouveaux chauffe-eau à bois. Quatre à six autres districts du Gujarat comptent un nombre similaire de chauffe-eau à bois. Les ménages possèdent en général des systèmes de chauffage au bois de 40 litres, qui coûtent approximativement 75 USD et fournissent de l'eau chaude pour cinq personnes environ. Les familles plus importantes peuvent avoir des systèmes d'une capacité de 100 litres, d'un coût de 130 USD environ. Les femmes doivent ramasser ou acheter le bois nécessaire, et sa combustion est responsable d'une pollution intérieure élevée. Une consommation quotidienne de bois de 6 kg correspond à un coût mensuel de 4 USD. Les chauffe-eau solaires, dont les coûts d'investissement sont plus élevés, offrent généralement une capacité plus grande, de 100 litres au moins par jour. Les systèmes solaires les plus petits coûtent environ 375 USD, soit trois fois le prix d'un chauffe-eau au bois. Ils permettent cependant d'économiser le prix du combustible et de réduire la pollution intérieure.

En 2002, en partie grâce au soutien financier du GEF-SGP (Global Environment Facility - Small Grants Programme), l'institut de recherche sur les énergies renouvelables de l'université Sardar Patel (SPRERI) a réalisé une enquête auprès de plus de 55 producteurs industriels de chauffe-eau au bois. Des informations ont été collectées sur les modes d'utilisation, les coûts, les ventes et l'entretien de ces chauffe-eau. Le SPRERI a présenté les chauffe-eau solaires aux producteurs dans le cadre d'une réunion interactive. Il a en outre recensé les utilisateurs de chauffe-eau et leurs besoins, et assuré le suivi des données sur l'efficacité thermique des chauffe-eau à bois et la pollution créée par leur utilisation. NRG Technologies et Steel Hacks Industries ont fourni deux systèmes solaires sur lesquels le SPRERI a réalisé des expériences pour déterminer s'ils pouvaient répondre aux besoins des utilisateurs. Une réunion interactive avec les utilisateurs a permis de mettre au point un système d'incitations adapté pour promouvoir l'utilisation des chauffe-eau solaires. Douze producteurs fournissent maintenant des chauffe-eau solaires, et 50 chauffe-eau solaires ont été installés auprès d'utilisateurs qui ont pris en charge 75 % des coûts.

Chaque ménage consommait auparavant de 5 à 7 kg de bois par jour pour chauffer l'eau. L'installation d'un chauffe-eau solaire lui permet d'économiser le prix du bois et de réduire les émissions de dioxyde de carbone. Pendant deux mois de l'année environ, l'énergie solaire n'est pas suffisante pour chauffer l'eau ; on utilise alors l'électricité ou du GPL (gaz de pétrole liquéfié).

Source : [http://sgp.undp.org/download/SGP\\_India2.pdf](http://sgp.undp.org/download/SGP_India2.pdf)

### **Mesures complémentaires**

Le subventionnement des prix de l'électricité et du gaz naturel, principales sources d'énergie utilisées pour chauffer l'eau, empêche les chauffe-eau solaires de pénétrer certains marchés. Il est politiquement difficile d'aligner les prix sur les coûts de livraison, en particulier si les clients sont habitués depuis plusieurs décennies aux prix subventionnés. Pourtant, il est important de prendre des mesures pour éviter les investissements susceptibles d'être réalisés dans les logements et les infrastructures connexes si l'illusion d'une viabilité à long terme de la ressource subsiste.

### **Énergie géothermique**

#### **Source d'énergie et technologies utilisées**

L'énergie géothermique provient de l'exploitation de la chaleur qui existe sous la surface de la terre. On emploie de nombreuses méthodes pour l'obtenir et la transformer en chaleur utile ou en électricité. Les sources chaudes ou brûlantes sont exploitées depuis la préhistoire, essentiellement pour le bain, la cuisson des aliments ou le lavage des vêtements. Aujourd'hui, on se sert de l'eau chauffée par géothermie de nombreuses manières, pour le chauffage et la transformation de la chaleur, et dans les réseaux de chauffage urbain de plusieurs villes de Chine, des États-Unis, de France, de Hongrie, d'Islande, d'Italie, du Japon, de Pologne, de Roumanie, de Russie, de Suède et de Turquie. L'énergie géothermique sert à produire de l'électricité depuis 1904, date de la mise en exploitation de la première centrale à Larderello (Italie). Il existe maintenant dans le monde plusieurs centrales de taille commerciale qui produisent de l'électricité à

partir de sources de vapeur souterraines. L'exploitation des « roches chaudes sèches » se trouve encore en phase de développement et de démonstration.

Une autre application géothermique faisant intervenir des pompes à chaleur consiste à se servir de la masse thermique des trois premiers mètres de la surface terrestre. A cette profondeur, la terre conserve une température presque constante (de 10° à 16°C dans les climats tempérés, par exemple), de sorte qu'elle est plus chaude que l'air en hiver, et plus fraîche en été. Les pompes à chaleur géothermiques utilisent cette différence de chaleur pour réchauffer ou rafraîchir les bâtiments. Contrairement aux ressources géothermiques à haute température, relativement rares, la ressource que constitue un sol chaud à faible profondeur est répandue partout dans le monde.

La valeur de toute ressource géothermique à haute température utilisant la vapeur dépend de la température, de la pression, de la profondeur et de la distance à laquelle se trouvent les utilisateurs potentiels. Dans la région de l'OCDE, cette forme d'énergie géothermique est déjà exploitée au Canada, aux États-Unis, en Islande, en Italie, au Japon, au Mexique et en Nouvelle-Zélande. Dans le reste du monde, on connaît des zones comportant des ressources commercialement exploitables dans près de 50 pays :

- ceinture andine volcanique (Argentine, Bolivie, Chili, Colombie, Équateur, Pérou et Venezuela) ;
- ceinture volcanique d'Amérique centrale (parties du Costa Rica, d'El Salvador, du Guatemala, du Honduras, du Nicaragua et du Panama) ;
- îles des petites Antilles dans les Caraïbes orientales ;
- sud-est de la Méditerranée (Algérie, Israël, Jordanie et Tunisie par exemple) ;
- grand rift est-africain (en particulier Djibouti, l'Éthiopie, le Kenya, le Malawi, l'Ouganda, la Tanzanie et la Zambie) ;
- ceinture géothermique de l'Himalaya (qui, sur 150 km de large et 3000 km de long, traverse une partie de la province chinoise du Yunnan, l'Inde, le Myanmar, la Thaïlande et le Tibet) ;
- Indonésie ;
- Philippines ;
- Chine orientale ;
- péninsule russe du Kamchatka.

On peut prendre l'exemple des Philippines pour montrer comment un pays en développement a tiré profit de l'exploitation de ses ressources géothermiques. Les champs géothermiques des Philippines sont vastes et ont été rapidement mis en valeur. Les principales installations se trouvent sur l'île de Luzon, au nord de Manille, et sur l'île de Leyte, au sud-est. La première centrale électrique géothermique des Philippines a été construite en 1979 ; fin 2004, la capacité de production d'électricité d'origine géothermique était de près de 2000 MWe. Des incitations sont offertes aux exploitants de sites géothermiques, notamment une exemption des droits de douane et de la « taxe de compensation » sur les machines, équipements, pièces détachées et matériaux utilisés dans le cadre des activités de production d'énergie géothermique<sup>14</sup>. La chaleur géothermique est aussi utilisée directement par les Philippines pour la transformation du poisson, la production de sel et le séchage des noix de coco et des fruits.

### ***Production et commerce***

Il est difficile d'évaluer les échanges de produits en relation avec l'énergie géothermique et les droits de douane qui s'appliquent. Une centrale géothermique, en plus du générateur électrique, comporte les éléments suivants : turbine à vapeur, échangeurs de chaleur, condensateurs, pompes ainsi que tuyaux et

---

<sup>14</sup> <http://www.doe.gov.ph/geothermal/default.htm>

vannes. Tous ces équipements, en dehors de la turbine à vapeur, possède de multiples utilisations, et ne sont pas propres aux centrales géothermiques. Néanmoins, les turbines à vapeur généralement utilisées dans les centrales géothermiques sont différentes de celles qui servent à d'autres applications. En particulier, elles sont conçues pour fonctionner à des pressions et à des températures plus basses que celles qui sont utilisées dans les centrales électriques classiques à production de vapeur. Pourtant, elles ne sont pas séparées dans le SH, qui regroupe toutes les turbines ne servant pas à la propulsion des bateaux dans les catégories SH 8406.81 ou SH 8406.82, selon que leur puissance dépasse ou non 40 MW.

Dans la plupart des pays, le taux de droit qui s'applique aux turbines à vapeur de plus ou de moins de 40 MW est le même. Onze pays appliquent des droits supérieurs ou égaux à 15 % ; de nombreux autres ont consolidé leurs droits à des niveaux beaucoup plus élevés.

Les biens associés à l'utilisation de l'énergie géothermique sous forme d'eau souterraine chaude ou très chaude ne sont pas propres aux applications de la géothermie et sont souvent les mêmes que pour l'extraction d'eau souterraine en général. Un prétraitement de l'eau est parfois nécessaire lorsqu'elle contient de fortes concentrations de sel dissous.

Un dispositif de pompe à chaleur géothermique est composé de trois éléments principaux : un échangeur de chaleur dans le sol, la pompe proprement dite et un réseau de circulation d'air ou d'eau (conduites ou radiateurs). L'échangeur de chaleur est pour l'essentiel un réseau de tuyaux enterré peu profondément près du bâtiment. Un fluide (de l'eau ou un mélange d'eau et d'antigel) circule dans les tuyaux en absorbant la chaleur de la terre ou en la lui transférant. Si l'unité est vendue toute entière comme appareil de chauffage uniquement, elle est classée dans la catégorie SH 84.18 (Réfrigérateurs, congélateurs et autres appareils pour la production du froid ; pompes à chaleur) à la sous-position SH 8418.61 (Groupes à compression dont le condenseur est constitué par un échangeur de chaleur) ou SH 8418.69 (Autres). Si elle comporte un dispositif de réfrigération et une soupape d'inversion du cycle thermique (pompe à chaleur réversible), elle est alors classée sous SH 8415.81. Cependant, ces catégories ne sont pas propres aux pompes à chaleur sol-eau ou sol-air, et les échanges de pompes à chaleur air-eau et air-air sont probablement les plus nombreux.

Les droits de douane qui s'appliquent aux pompes à chaleur réversibles sont faibles dans la plupart des pays de l'OCDE mais dépassent 20 % dans une soixantaine de membres de l'OMC.

### ***Conséquences pour l'environnement***

Les avantages apportés à l'environnement par la libéralisation des échanges de biens utilisés pour l'exploitation des ressources géothermiques dépendront de l'importance que prendra l'énergie géothermique en se substituant aux autres modes de production de chaleur ou d'électricité. Les centrales géothermiques à vapeur émettent certains polluants (et font du bruit), mais à un degré bien moindre que les centrales qui fonctionnent aux combustibles fossiles. D'après le projet sur les politiques en faveur des énergies renouvelables (Renewable Energy Policy Project)<sup>15</sup> (citation de Bloomfield *et al.*, 2003), les émissions moyennes de CO<sub>2</sub> au kWh des centrales géothermiques des États-Unis sont inférieures de 85 % environ à celles des centrales au gaz naturel. La construction des centrales, la construction et l'utilisation des voies d'accès et les affaissements de terrain qui se produisent localement peuvent porter atteinte à l'environnement.

<sup>15</sup>

[http://www.crest.org/geothermal/geothermal\\_brief\\_environmental\\_impacts.html](http://www.crest.org/geothermal/geothermal_brief_environmental_impacts.html)

*Mesures complémentaires*

Les changements de politiques adoptés au niveau national sur la production d'électricité à partir d'autres sources d'énergie renouvelables peuvent influencer fortement sur les avantages à tirer de la libéralisation des échanges concernant les centrales géothermiques et leurs composantes. Le marché des technologies de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables est influencé par de nombreux facteurs se rattachant à la tarification de l'électricité et des sources d'énergie concurrentes et à l'ouverture des marchés de l'électricité. Comme les systèmes électriques géothermiques des pays en développement sont pour la plupart susceptibles d'être reliés au réseau, les mesures les plus importantes à court terme sont probablement celles qui réglementent l'installation et l'entretien des équipements. Les mesures qui consistent à réserver les combustibles fossiles du pays à la production intérieure d'électricité (par la réglementation des prix ou la limitation des exportations par exemple) peuvent aussi fausser la compétitivité économique relative des centrales géothermiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- AIE, Agence internationale de l'énergie (2004a), *Renewable Energy: Market & Policy Trends in IEA Countries*, Publications de l'OCDE, Paris.
- AIE (2004b), *Renewable Information 2004*, Publications de l'OCDE, Paris.
- AIE (2005), *Biofuels for Transport*, Publications de l'OCDE, Paris.
- Austrian Biofuels Institute (2005), "Independent review of the European biodiesel market", dans Australian Renewable Fuels Limited (2005), *Prospectus*, South Perth, Australie, pp. 40-62.
- Biodiesel Advisory Council (2005), *Biodiesel: Made in Manitoba*, Manitoba Energy Development Initiative, Winnipeg, Manitoba. [www.gov.mb.ca/est/pdfs/energy/biodiesel.pdf](http://www.gov.mb.ca/est/pdfs/energy/biodiesel.pdf)
- Biofuels Taskforce (2005), *Report of the Biofuels Taskforce to the Prime Minister*, Commonwealth of Australia, Barton ACT, Australie. [www.dpmmc.gov.au/biofuels/final\\_report.cfm](http://www.dpmmc.gov.au/biofuels/final_report.cfm)
- Bloomfield, K., J.N. Moore et R.M. Neilson Jr. (2003), "Geothermal energy reduces greenhouse gases", *GRC [Geothermal Research Council] Bulletin*, avril 2003.
- Brown, Ellie et Michael F. Jacobson (2005), *Cruel Oil: How Palm Oil Harms Health, Rainforest & Wildlife*, Center for Science in the Public Interest, Washington, DC. [www.cspinet.org/palmoilreport/](http://www.cspinet.org/palmoilreport/)
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2005), *Renewable Energy in Thailand: Ethanol and Biodiesel*, Ministère de l'énergie, Thaïlande, Bangkok.
- EUCAR, CONCAWE et CCR : European Council for Automotive R&D, CONCAWE et Centre commun de recherche de la Commission européenne (2005), "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context", WELL-to-WHEELS Report Version 2a, décembre 2005, <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>
- Howell, Steve (2005), "Time to take the biodiesel plunge?", *Render*, février, pp. 11-14. [www.rendermagazine.com/February2005/BiodieselPlunge.pdf](http://www.rendermagazine.com/February2005/BiodieselPlunge.pdf)
- Hunt, Suzanne C. et Janet L. Sawin, avec la collaboration de Peter Stair (2006), "Cultivating renewable alternatives to oil", Chapter 4 in *State of the World 2006*, The Worldwatch Institute, Washington, D.C., pp. 61-77.
- Kampman, Bettina E. et Bart H. Boon (2005), "Cool cars, fancy fuels: A review of technical measures and policy options to reduce CO2 emissions from passenger cars", CE Delft, Delft (Pays-Bas), [www.ce.nl/eng/index.html](http://www.ce.nl/eng/index.html)
- Kerr, William A. et Laura J. Loppacher (2005), "Trading biofuels — will international trade law be a constraint?", *Current Agriculture, Food & Resource Issues*, No. 6, pp. 50-62.

Loppacher, Laura J. et William A. Kerr (2005), "Can biofuels become a global industry?: government policies and trade constraints", *CEPMLP Internet Journal*, Vo. 15, Article 15, [www.dundee.ac.uk/cepmlp/journal/html/Vol15/article15\\_10.html](http://www.dundee.ac.uk/cepmlp/journal/html/Vol15/article15_10.html)

Metschies, Gerhard P. (2005), *International Fuel Prices 2005*, 4th Edition, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne. [www.gtz.de/fuelprices](http://www.gtz.de/fuelprices)

National Traffic Safety and Environment Laboratory (2004), "FY2003 Fact-Finding Survey concerning Exhaust Gases of New Fuels: Report on Results of Testing", Ministère de l'environnement, Tokyo, Japon. [www.env.go.jp/en/pol/exhaust-gas/index.html](http://www.env.go.jp/en/pol/exhaust-gas/index.html)

OCDE (2001), *Biens et services environnementaux : Les avantages d'une libéralisation accrue du commerce mondial*. Publications de l'OCDE, Paris.

OCDE (2005), *Les réglementations environnementales et l'accès au marché*, Publications de l'OCDE, Paris.

Ressources Naturelles Canada (2005), *Guide de données sur la consommation d'énergie, 1990 et 1997 à 2003*, Office de l'efficacité énergétique, Ressources Naturelles Canada, Gatineau, Québec, Canada. [http://www.oeec.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/donnees\\_f/guide05/Guide2005.pdf](http://www.oeec.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/donnees_f/guide05/Guide2005.pdf)

Steenblik, Ronald (2005), "Liberalisation of Trade in Renewable-Energy Products and Associated Goods: Charcoal, Solar Photovoltaic Systems, and Wind Pumps and Turbines", document de travail de l'OCDE sur l'environnement et les échanges n° 2005-07, Paris, France., [www.oecd.org/trade/](http://www.oecd.org/trade/)

Transportation Research Board (2005), *Integrating Sustainability into the Transportation Planning Process*, Proceedings of the Conference on Introducing Sustainability into Surface Transportation Planning (Baltimore, Maryland, 11-13 July 2004), Sponsored by the Transportation Research Board, Federal Highway Administration and U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., [www.TRB.org](http://www.TRB.org)

von Wedel (1999), *Technical Handbook for Marine Biodiesel In Recreational Boats*, 2<sup>nd</sup> edition, Prepared for the National Renewable Energy Laboratory by CytoCulture International, Inc., Point Richmond, California, <http://www.cytoculture.com/Biodiesel%20Handbook.htm>

Zhang X., C. Peterson, D. Reece, R. Haws, et G. Moller (1998), "Biodegradability of biodiesel in the aquatic environment", *Transactions of the ASAE*, Vo. 41 (5), pp. 1423-1430.

Zhou, P.L., A.M. Fet, O. Michelsen et K. Fet (2003), "A feasibility study of using biodiesel in recreational boats in the UK",

**Tableau Annexe 1. Sous-positions du SH dans lesquelles figurent le biodiesel et les produits en relation avec l'exploitation de l'énergie solaire thermique et de l'énergie géothermique**

<b>Position ou sous-position du SH</b>	<b>Description du produit [composante en rapport avec les énergies renouvelables]</b>
38.24	Produits, préparations et produits résiduels des industries chimiques ou des industries connexes (y compris celles consistant en mélanges de produits naturels), non compris ailleurs (sauf liants pour moules et noyaux de fonderie ; acides naphthéniques, leurs sels insolubles dans l'eau et leurs esters ; carbures métalliques non agglomérés mélangés entre eux ou avec des liants métalliques ; additifs préparés pour ciments, mortiers ou bétons ; mortiers et bétons, non réfractaires ; sorbitol).
3824.90 (ex)	– Autres. [Biodiesel, graisses et huiles pouvant être utilisées comme carburant.]
84.06	Turbines à vapeur.
8406.81 (ex)	– Autres turbines, d'une puissance excédant 40 MW [turbines à vapeur à faible température et à faible pression utilisées dans les centrales géothermiques.]
8406.82 (ex)	– Autres turbines, d'une puissance n'excédant pas 40 MW [turbines à vapeur à faible température et à faible pression utilisées dans les centrales géothermiques.]
8406.90 (ex)	– Parties [Parties de turbines à vapeur à faible température et à faible pression utilisées dans les centrales géothermiques.]
84.18	Réfrigérateurs, congélateurs et autre matériel pour la production du froid, électrique ou autre ; pompes à chaleur autres que les machines pour le conditionnement de l'air du n° 84.15.
8418.61	– Autre matériel pour la production du froid ; pompes à chaleur : Groupes à compression dont le condenseur est constitué par un échangeur de chaleur [Pompes à chaleur géothermiques]
8418.69	– Autre matériel pour la production du froid ; pompes à chaleur : Autres [Pompes à chaleur géothermiques]
84.19	Appareils et dispositifs, même chauffés électriquement (à l'exclusion des fours et autres appareils du n° 85.14), pour le traitement de matières par des opérations impliquant un changement de température telles que le chauffage, la cuisson, la torréfaction, la distillation, la rectification, la stérilisation, la pasteurisation, l'étuvage, le séchage, l'évaporation, la vaporisation, la condensation ou le refroidissement, autres que les appareils domestiques; chauffe-eau non électriques, à chauffage instantané ou à accumulation.
8419.19 (ex)	– Chauffe-eau non électriques, à chauffage instantané ou à accumulation : Autres [chauffe-eau solaires.]
8419.50 (ex)	– Échangeurs de chaleur [Échangeurs de chaleur pour applications solaires ou géothermiques.]
84.79	Machines et appareils mécaniques ayant une fonction propre, non dénommés ni compris ailleurs dans le présent Chapitre.
8479.20 (ex)	– Machines et appareils pour l'extraction ou la préparation des huiles ou graisses végétales fixes ou animales . [Raffineries de biodiesel.]
8479.82	Machines à mélanger, malaxer, concasser, broyer, cribler, tamiser, homogénéiser, émulsionner ou brasser [Machines à broyer et filtrer les graines oléagineuses.]
90.32	Instruments et appareils pour la régulation ou le contrôle automatiques.
9032.89	– Autres instruments et appareils : Autres [Héliostats.]

Source : Secrétariat de l'OCDE, d'après l'édition 2002 du Système harmonisé.

**Tableau Annexe 2. Principaux exportateurs d'énergies renouvelables et de technologies en rapport avec les énergies renouvelables et droits les plus élevés appliqués**

Produit (Code SH)	Principaux exportateurs, 2004	Valeur à l'exportation (milliers d'USD)	Importateurs appliquant les droits de douane les plus élevés	Taux appliqués %	Année de référence	Taux consolidés %	
Biodiesel (ex SH 382490)*							
Bois de chauffage (SH 440110)	<b>Monde</b>	<b>151 058</b>					
	<i>Pays de l'OCDE</i>	90 689	Chine	70	2004	7	
	Lettonie	10 064	Roumanie	30	1999	30	
	Croatie	8 662	Ghana	20	2002	--	
	Estonie	8 145	Malaisie	20	2001	20	
	Afrique du Sud	5 884	Mexique	20	2004	35	
	Fédération de Russie	4 314	Papouasie-Nlle- Guinée	20	2004	90	
	Slovénie	3 494	Sierra Leone	20	2004	50	
	Bulgarie	3 281	États-Unis	20	2004	0	
	Belarus	3 210	Belarus	15	2001	--	
	Lituanie	2 919	Maldives	15	2002	30	
	Roumanie	2 857	Nigeria	15	2003	--	
				Fédération de Russie	15	2001	--
				Jamaïque	10	2001	50
				Sri Lanka	10	2001	--
Charbon de bois (HS440200)	<b>Monde</b>	<b>25 9312</b>					
	<i>Pays de l'OCDE</i>	119 736	Chine	70	2004	10.5	
	<i>dont</i>		Cameroun	30	2001	--	
	Mexique	5 895	Gabon	30	2000	15	
			Maroc	25	2002	40	
	Chine	39 067	Maldives	25	2002	30	
	Argentine	18 576	Zambie	25	2001	--	
	Afrique du Sud	16 646	Égypte	24	1997	20	
	Malaisie	11 450	Malaisie	20	2001	20	
	Bulgarie	8 955	Mexique	20	2004	35	
	Paraguay	7 047	Papouasie-Nlle- Guinée	20	2004	90	
	Singapour	6 171					
	Brésil	5 523					
	Roumanie	4 817					
	Lettonie	4 261					
	Turbines hydrauliques < 1 MW (SH 841011)	<b>Monde</b>	<b>33 793</b>				
		<i>Pays de l'OCDE</i>	31 050	Bangladesh	60	1999	50
<i>dont</i>			Chine	35	2004	10	
Turquie		90	États-Unis	27.5	2004	3.8	
Mexique		61	Inde	25	2002	25	
			Égypte	24	1997	20	
Chine		721	Gambie	18	2003	--	
Inde		653	Slovénie	16	2003	27	
Slovénie		430	Belarus	15	2001	--	

Produit (Code SH)	Principaux exportateurs, 2004	Valeur à l'exportation (milliers d'USD)	Importateurs appliquant les droits de douane les plus élevés	Taux appliqués %	Année de référence	Taux cons o-lidé %
	Argentine	241	Roumanie	15	1999	35
	Aruba	150	Fédération de Russie	15	2001	--
	Brésil	112	Venezuela	15	2003	35
	Fédération de Russie	80	Colombie	15	2004	35
	Équateur	76	République slovaque	15	2003	7
	Pérou	62				
	Estonie	44				
	<b>Monde</b>	<b>28 470</b>				
Turbines hydrauliques > 1 MW et < 10 MW (SH 841012)	<i>Pays de l'OCDE</i>	21 434	Djibouti	33	1999	40
	<i>dont</i>		États-Unis	27.5	2004	3.8
	Mexique	2	Inde	25	2002	25
	Slovénie	3 006	Égypte	24	1997	20
	Chine	1 452	République slovaque	24	2003	7
	Brésil	857	Venezuela	15	2003	35
	Inde	794	Colombie	15	2004	35
	Pérou	557	Cameroun	10	2001	--
	El Salvador	303	Union européenne	10	2004	8.25
	Bulgarie	64	Nigeria	10	2003	--
	Malaisie	3	Pologne	9	2003	9
	Singapour	0				
	<b>Monde</b>	<b>23 250</b>				
Turbines hydrauliques > 10 MW (SH 841013)	<i>Pays de l'OCDE</i>	19 663	Chine	35	2004	10
	<i>dont</i>		Rwanda	30	2003	100
	Mexique	218	États-Unis	27.5	2004	3.8
	Inde	962	Inde	25	2002	25
	Fédération de Russie	669	Égypte	24	1997	20
	Chine	605	République slovaque	24	2003	7
	Slovénie	520	Venezuela	15	2003	35
	Bulgarie	470	Nigeria	10	2003	--
	Brésil	265	Pologne	9	2003	9
	Pérou	32	Union européenne	8	2004	8.6
	Singapour	24	République tchèque	7	2003	7
	Turquie	3				
	Afrique du Sud	0				
	<b>Monde</b>	<b>427 833</b>				
Parties de turbines hydrauliques et régulateurs pour turbines (SH 841090)	<i>Pays de l'OCDE</i>	331 061	Bangladesh	60	1999	--
	<i>dont</i>		Chine	35	2004	6
	Mexique	3 773	Djibouti	33	1999	40
	Slovénie	22 797	États-Unis	27.5	2004	3.8
	Brésil	15 084	Inde	25	2002	25
	Fédération de Russie	13 584	Égypte	24	1997	20
	Chine	12 695	République slovaque	24	2003	4.8
			Maldives	20	2002	30

Produit (Code SH)	Principaux exportateurs, 2004	Valeur à l'exportation (milliers d'USD)	Importateurs appliquant les droits de douane les plus élevés	Taux appliqué %	Année de référence	Taux cons o-lidé %
	Roumanie	9 938	Gambie	18	2003	--
	Israël	3 399	Belarus	15	2001	--
	Singapour	3 163	Roumanie	15	1999	15
	Inde	2 841	Fédération de Russie	15	2001	--
	Malaisie	2 813	Rwanda	15	2003	100
	Argentine	2 580				
	<b>Monde</b>	<b>1 451 632</b>				
Pompes à chaleur avec dispositif de réfrigération (SH 841581)	<i>Pays de l'OCDE</i>	<i>1 013 320</i>	Chine	110	2004	17.5
	<i>dont</i>		Bangladesh	100	1999	--
	Turquie	61 530	Égypte	64	1997	60
	Corée	4 834	Nigeria	45	2003	--
			Iles Salomon	40	1998	80
	Chine	384 855	États-Unis	35	2004	0.5
	Singapour	20 644	Djibouti	33	1999	40
	Hong Kong, Chine	5 516	Tunisie	32.25	2004	--
	Malta	5 355	Cameroun	30	2001	--
	Oman	4 126	Gabon	30	2000	15
	Tunisie	3 434	St Kitts et Nevis	30	2002	70
	Malaisie	3 210	Rwanda	30	2003	6
	Inde	2 349	Thaïlande	30	1999	30
	Fédération de Russie	1 981	Cuba	30	2004	--
	Slovénie	880	Inde	30	2002	40
			Jordanie	30	2004	20
			Malawi	30	2003	65
			Sierra Leone	30	2004	50
	<b>Monde</b>	<b>3 615 381</b>				
Pompes à chaleur, groupes à compression (SH 841861)	<i>Pays de l'OCDE</i>	<i>3 177 101</i>	Chine	110	2004	10
	<i>dont</i>		Bangladesh	60	1999	--
	Corée	6 336	Nigeria	45	2003	--
			Tunisie	43	2004	--
	Chine	368 954	Zimbabwe	42.5	2002	--
	Brésil	17 850	États-Unis	35	2004	0
	Hong Kong, Chine	16 113	Djibouti	33	1999	40
	Singapour	8 710	St Kitts et Nevis	30	2002	70
	Belarus	3 420	Malaisie	30	2001	30
	Fédération de Russie	3 355	Thaïlande	30	1999	30
	Lituanie	3 263	Sierra Leone	30	2004	50
	Taipei chinois	3 236				
	Slovénie	2 815				
	Malaisie	2 798				
	<b>Monde</b>	<b>939 384</b>				
Chauffe-eau à chauffage instantané ou à accumulation, sauf électriques et à gaz (SH 841919)	<i>Pays de l'OCDE</i>	<i>893 613</i>	Chine	100	2004	35
	<i>dont</i>		Bangladesh	80	1999	--
	Mexique	223 501	Égypte	59	1997	55
	Turquie	3 411	États-Unis	45	2004	0
	Corée	2 936	Tunisie	34.75	2004	--
			Djibouti	33	1999	40
	Israël	18 201	St Kitts et Nevis	30	2002	81.5

Produit (Code SH)	Principaux exportateurs, 2004	Valeur à l'exportation (milliers d'USD)	Importateurs appliquant les droits de douane les plus élevés	Taux appliqués %	Année de référence	Taux cons o-lidé %
	Chine	10 148	Rwanda	30	2003	100
	Nouvelle-Calédonie	5 366	Ste Lucie	27.5	2002	71.5
	Inde	2 461	Maroc	26.25	2002	40
	Slovénie	2 323				
	Singapour	1 617				
	Malaisie	1 309				
	Argentine	872				
	Taipei chinois	727				
	Afrique du Sud	614				
	<b>Monde</b>	<b>368 447</b>				
Machines pour l'extraction des huiles (SH 847920)	<i>Pays de l'OCDE</i>	<i>260 704</i>	Bangladesh	60	1999	--
	<i>dont</i>		États-Unis	35	2004	0
	Turquie	6704	Chine	30	2004	10
	Malaisie	59289	Inde	25	2002	25
	Inde	12539	République slovaque	24	2003	4.8
	Singapour	10253	Pakistan	20	2002	--
	Chine	6582	Sri Lanka	15	2001	25
	Argentine	5103	Iles Salomon	10	1998	80
	Pérou	3973	Cameroun	10	2001	--
	Brésil	2913	Égypte	10	1997	10
	Colombie	2772	Nigeria	10	2003	--
	Belarus	2024	Roumanie	10	1999	35
	Fédération de Russie	1109	Venezuela	10	2003	35
			Cuba	10	2004	10
			République kirghize	10	2003	10
			Slovénie	10	2003	27
	<b>Monde</b>	<b>1 758 203</b>				
Machines à broyer les graines oléagineuses (SH 847982)	<i>Pays de l'OCDE</i>	<i>1 608 376</i>	Bangladesh	60	1999	--
	<i>dont</i>		États-Unis	35	2004	0
	Corée	44 384	Djibouti	33	1999	40
	Mexique	8 001	Chine	30	2004	7
	Turquie	4 638	Inde	25	2002	40
	Taipei chinois	52 722	République slovaque	24	2003	4.8
			Maldives	20	2002	30
	Chine	31 145	Jordanie	15	2004	15
	Singapour	14 200	Mexique	13	2004	35
	Hong Kong, Chine	8 108	Slovénie	12	2003	12
	Malaisie	5 790				
	Brésil	5 421				
	Slovénie	5 170				
	Argentine	3 762				
	Afrique du Sud	3 419				
	Pakistan	3 134				

Produit (Code SH)	Principaux exportateurs, 2004	Valeur à l'exportation (milliers d'USD)	Importateurs appliquant les droits de douane les plus élevés	Taux appliqués %	Année de référence	Taux consolidés %
	<b>Monde</b>	<b>1 106 471</b>				
Groupes électrogènes à énergie éolienne (SH 850231)	<i>Pays de l'OCDE</i>	1 102 186	États-Unis	35	2004	1.25
	<i>dont</i>		Chine	30	2004	8
	Danemark	888 221	Inde	25	2002	25
	Mexique	160	Thaïlande	20	1999	--
			République slovaque	17	2003	4
	Brésil	1 185	Nigeria	15	2003	--
	Inde	1 174	Roumanie	15	1999	35
	Malaisie	918	Cameroun	10	2001	--
	Singapour	591	Égypte	10	1997	10
	Chine	197	Taipei chinois	10	2003	10
	Afrique du Sud	79	Venezuela	10	2003	20
	Sénégal	42	Cuba	10	2004	11
	Fédération de Russie	29	Indonésie	10	2002	40
	Nouvelle-Calédonie	14	Malawi	10	2003	--
	Hong Kong, Chine	13	Tunisie	10	2004	43
		<b>Monde</b>	<b>12 826 249</b>			
Dispositifs photosensibles à semi- conducteurs, y compris cellules photo- voltaïques, diodes émettrices de lumière (SH 854140)	<i>Pays de l'OCDE</i>	8 820 912	Bangladesh	100	1999	--
	<i>dont</i>		Djibouti	33	1999	40
	Corée	317 324	États-Unis	32	2004	0
	Mexique	81 645	Rwanda	30	2003	100
			Chine	30	2004	0
	Taipei chinois	1 175 287	Maldives	25	2002	30
	Hong Kong, Chine	895 463	Égypte	24	1997	0
	Malaisie	792 974	Belarus	20	2001	--
	Chine	644 213	Fédération de Russie	20	2001	--
	Singapour	316 252	Sierra Leone	20	2004	50
	Inde	85 036				
	Afrique du Sud	57 810				
	Fédération de Russie	10 692				
	Chypre	8 935				
	Croatie	6 044				

-- = non consolidé ou non applicable.

Source : OCDE & Comtrade ONU - flux d'échanges, Base de données intégrée de l'OMC (BDI) – droits de douane appliqués et consolidés. Accès obtenus dans tous les cas par l'intermédiaire du système World Integrated Trade Solution (WITS), <http://wits.worldbank.org/>.

\* Comme expliqué à la page 9, l'OMD a confirmé que le biodiesel devait être classé dans la catégorie SH 3824.90. C'est pourquoi on ne dispose pas de données harmonisées sur les flux d'échanges. Les taux consolidés et appliqués sur les grands marchés de l'OCDE varient entre 0 et 7%. Les droits appliqués par les pays en développement sont généralement compris entre 15 et 50 %.