

Les forêts et l'énergie

Questions principales



Photos de couverture, de gauche à droite:

Haut: FAO/FO-6079/C. Jekkel; Wikimedia Commons/Gyre; FAO/FO-6077/A. Godbole; FAO/FO-5762/P. Durst

Bas: Wikimedia Commons/BrokenSphere; FAO/FO-0071; FAO/FO-6849/M. France-Lanord; P. Aronsson

Les forêts et l'énergie

Questions principales

ÉTUDE
FAO:
FORÊTS

154

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de la FAO.

ISBN 978-92-5-205985-1

Tous droits réservés. Les informations contenues dans ce produit d'information peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée.

Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au:

Chef de la
Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques
Division de la communication,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie
ou, par courrier électronique, à:
copyright@fao.org

© FAO 2008

Table des matières

Remerciements	vii
Préface	ix
Résumé d'orientation	xi
1. Introduction	1
2. L'offre et la demande d'énergie: tendances et perspectives	5
Énergies renouvelables	6
Dendroénergie	14
L'avenir de l'énergie – questions principales	19
3. Production bioénergétique	23
Combustibles ligneux solides	23
Biocombustibles liquides	25
4. Contribution de la dendroénergie à la demande future d'énergie	31
Combustibles ligneux solides	33
Émissions et économie des biocombustibles	38
5. Avantages et risques d'une l'utilisation bioénergétique accrue	43
Pauvreté, emploi et prix	45
Terre et environnement	47
6. Options de politique et recommandations	53
Glossaire	57
Références	61

Tableaux

1 Consommation mondiale totale d'énergie commercialisée ventilée par région et combustible, 1990–2030	7
2 Consommation mondiale d'hydroélectricité et d'autres sources d'énergie renouvelable commercialisées ventilée par région, 1990–2030	10
3 Augmentation mondiale de l'énergie renouvelable	11
4 Nombre de personnes utilisant la biomasse traditionnelle	19
5 Part des combustibles dans le commerce total des produits par région	22
6 Résidus ligneux d'opérations forestières industrielles au Brésil	33

Figures

1 Consommation totale d'énergie commercialisée par les pays OCDE et non-OCDE, 1990-2003	6
2 Part des combustibles dans l'offre mondiale totale d'énergie primaire en 2004	7
3 Consommation mondiale totale d'énergie commercialisée ventilée par source en 2004 et prévisions à l'horizon 2030	8
4 Consommation d'énergie renouvelable commercialisée dans les pays OCDE et non-OCDE, 1990-2030	9
5 Pourcentage d'énergie renouvelable commercialisée dans la consommation énergétique totale dans les pays OCDE et non-OCDE en 2004 et à l'horizon 2030	10
6 Consommation mondiale d'énergie renouvelable ventilée par région en 2002 et projection à l'horizon 2030	12
7 Approvisionnement total en énergie primaire (ATEP) tirée des biocombustibles dans les pays du G8+5	13
8 Pourcentage des approvisionnements en énergie primaire tirée de biocombustibles	14
9 Matériel sur pied total	15
10 Consommation de combustibles ligneux dans les pays OCDE et non-OCDE en 1990, projection à l'horizon 2010 et 2020	17
11 Consommation de combustibles ligneux par habitant dans les pays OCDE et non-OCDE en 1990, projections à l'horizon 2010 et 2030	18
12 Extractions de bois en Afrique	19
13 Prix au comptant du Brent en Europe FAB, 1987-2008	20
14 Émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2000, ventilées par secteur	21
15 Comparaison des émissions de gaz à effet de serre par des biocombustibles dérivés de différentes sources	39
16 Compétitivité des biocombustible ventilée par matière première	40

Encadrés

1 Terminologie relative aux différentes sources de bioénergie	2
2 Les biocarburants pour le transport au Brésil	11
3 Les obstacles à la collecte d'informations précises sur les combustibles ligneux	16
4 Prix des produits forestiers	37
5 Efficacité énergétique et production de bioénergie	40
6 Avantages et inconvénients potentiels du développement des bioénergies	44
7 Prix alimentaires et bioénergie	46
8 Scénarios pour le développement des biocombustibles	49

Remerciements

Cette publication réunit et synthétise deux études plus détaillées commanditées par la FAO en 2007 et publiées en tant que documents de travail. Il s'agit de *Forestry and energy in developing countries* par Ivan Tomaselli et *Forests and energy in OECD countries* par Warren Mabee et Jack Saddler. Ces études sont disponibles en anglais sur le site web de la FAO à l'adresse: www.fao.org/forestry/energy. Une version préliminaire de cette publication, préparée par Douglas Kneeland et Andrea Perlis, a été distribuée pendant l'Événement spécial : Forêts et énergie organisé lors de la Conférence de la FAO en novembre 2007. La présente version, préparée par Jeremy Broadhead et éditée par Maria Casa, comprend les commentaires formulés par les États membres. Miguel Trossero, Simmone Rose, Sebastian Hetsch et Gustavo Best y ont également contribué.

Préface

Les forêts et l'énergie sont au cœur du débat mondial sur le changement climatique. La présente publication examine certaines des tendances les plus importantes dans ces deux secteurs pour aider à clarifier le débat.

Elle s'inspire de deux études globales commanditées par la FAO en 2007: *Forests and energy in developing countries* (Ivan Tomaselli, Brésil) et *Forests and energy in OECD countries* (Warren Mabee et Jack Saddler, Canada). Ces documents de travail sont disponibles en anglais sur le site web de la FAO à l'adresse: www.fao.org/forestry/energy.

Le bois a toujours été la source d'énergie la plus importante pour les êtres humains jusqu'à ce que le pétrole devienne largement disponible il y a une centaine d'années. Dans un grand nombre des pays les plus pauvres du monde, il demeure la source principale d'énergie pour le chauffage et la cuisson des aliments. Dans cette étude, nous regardons vers l'avenir et constatons que le bois se démarque une fois encore comme source d'énergie essentielle dans tous les pays.

La bioénergie tirée du bois et des cultures agricoles retrouvera l'importance qu'elle avait jadis. Les cultures agricoles et forestières jouent un rôle particulier dans la production bioénergétique moderne en fournissant des biocombustibles liquides. Bien que les combustibles fossiles resteront probablement pour quelque temps encore la source dominante d'énergie, à long terme une conversion partielle progressive des combustibles fossiles en biocombustibles solides et liquides est de plus en plus vraisemblable pour bien des pays. Ces tendances auront-elles un impact sur les forêts? Déboucheront-elles sur une expansion ou un recul du couvert forestier?

La présente publication examine ces questions et d'autres encore pour alimenter et éclairer le débat sur les politiques. Elle décrit les impacts éventuels sur les forêts et les possibilités offertes dans le cadre de la demande énergétique mondiale croissante. Les changements escomptés de l'offre mondiale d'énergie et le rôle des énergies renouvelables et de la dendroénergie à cet égard sont analysés à la section 2. La section 3 résume certains aspects de la production de bioénergie et la section 4 examine la contribution potentielle de l'énergie forestière à la consommation énergétique mondiale dans les années à venir. La section 5 étudie les répercussions que pourrait avoir sur les forêts une augmentation de la consommation bioénergétique et la section 6 présente des options de politique et des recommandations à la lumière des potentialités de la foresterie et des dangers qui la menacent.



Wulf Killmann

Directeur

Division des produits et industries forestiers

Département des forêts de la FAO

Résumé d'orientation

La montée vertigineuse de la consommation d'énergie, les émissions croissantes de gaz à effet de serre et les inquiétudes concernant la dépendance à l'égard des importations de produits énergétiques provoquent des changements à l'échelle mondiale dans les sources dont l'énergie devrait provenir dans les années à venir. D'après les prévisions, la consommation d'énergie haussera le plus dans les pays en développement et notamment en Asie. Les combustibles fossiles devraient représenter le gros de l'augmentation des disponibilités énergétiques. Bien que les niveaux de consommation par habitant resteront inférieurs à ceux du monde industrialisé, d'ici 2010 la consommation énergétique des pays en développement dépassera probablement celle des pays développés.

Les énergies de substitution, qui font aujourd'hui l'objet d'un intérêt considérable, sont appelées à réduire la consommation de combustibles fossiles et à limiter les émissions de gaz à effet de serre. La bioénergie, y compris la dendroénergie, représente une importante portion des disponibilités actuelles tirées de sources d'énergie «renouvelables». Malgré la hausse récente des prix du pétrole, il est improbable que les marchés puissent soutenir à eux seuls le passage aux sources renouvelables, si bien que la consommation future dépendra largement des politiques adoptées.

La dendroénergie est utilisée depuis de milliers d'années pour cuisiner et se chauffer. Dans de nombreux pays en développement, elle reste la source principale d'énergie et, dans une grande partie de l'Afrique, la consommation totale de combustibles ligneux continue sa progression, en raison notamment de la croissance démographique. Dans d'autres régions en développement la consommation nationale paraît accuser une baisse due aux niveaux croissants des revenus et de l'urbanisation - deux facteurs qui entraînent l'utilisation accrue de combustibles plus facilement accessibles. Dans les pays industrialisés et en particulier dans ceux dotés de grandes usines de transformation du bois, la dendroénergie est souvent utilisée en grandes quantités à des fins domestiques et industrielles.

Parmi les matières premières des bioénergies, la dendroénergie produite grâce à une technologie efficace concurrence déjà, dans de nombreux pays, l'énergie fossile et peut offrir des niveaux très élevés d'efficacité énergie-carbone. Notamment, les systèmes de production combinés de chaleur et d'électricité assurent une efficacité de conversion allant jusqu'à 80 pour cent, et les fourneaux à granulés de bois ont également des taux élevés de conversion. On prévoit que cette technologie permettra à moyen terme une production commercialement compétitive de biocombustibles liquides à partir de matériaux cellulosiques, y compris le bois, bien que les coûts des brevets et les redevances risquent d'en ralentir le développement. À l'heure actuelle les biocombustibles liquides proviennent principalement des cultures vivrières et la rentabilité et l'efficacité carbone sont faibles dans l'ensemble. L'exception notable est la production de bioéthanol à partir de la canne à sucre. Au Brésil, les prix du bioéthanol sont déjà inférieurs à ceux des combustibles à base de pétrole utilisés pour les transports.

Il est prévu que la production de biocombustibles liquides de la deuxième génération tirés du bois ou d'autres matières premières cellulosiques sera tout aussi compétitive, tant en termes de prix que d'émissions de carbone. La production de biocombustibles de la deuxième génération est déjà amorcée dans les installations de démonstration, et la production commerciale devrait atteindre des niveaux compétitifs au cours de la prochaine décennie. La plupart des études prévoient que les biocombustibles liquides de la deuxième génération issus de cultures pérennes et de résidus ligneux et agricoles pourraient réduire de façon spectaculaire le cycle de vie des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux combustibles à base de pétrole. Si des innovations technologiques font qu'il devient plus efficace ou au moins aussi économique de produire des biocombustibles liquides à partir de matériel cellulosique plutôt qu'à partir de cultures alimentaires, la concurrence avec la production vivrière sera réduite, l'efficacité énergétique accrue et le bilan énergétique amélioré.

À plus long terme, les bioraffineries multi-usages fournissant une gamme de produits allant de la pâte de bois aux combustibles pour les transports et aux produits chimiques spécialisés pourraient se répandre davantage – notamment dans les pays qui ont de grandes industries du bois, un milieu d'affaires performant et des pratiques efficaces de mise en œuvre. On pourrait aussi exporter des combustibles pour les transports à base de matières cellulosiques vers des marchés particulièrement rémunérateurs. Les augmentations de la demande de bois qui en résulteraient feront probablement monter les prix jusqu'à ce que se rétablisse l'équation de l'offre et de la demande. Les prix des grumes à sciages et à pâte ainsi que des panneaux à base de bois seront probablement le plus influencés, et les prix réagissent déjà sur certains marchés.

La demande croissante de terres pour la production de biocombustibles liquides de la première génération risque d'augmenter la pression sur les forêts dans le monde entier. Dans de nombreux cas, les coûts d'opportunité seront trop élevés pour éviter la conversion des forêts à la production de cultures bioénergétiques si les marchés évoluent conformément aux projections récentes. L'inefficacité ou le non-respect des mesures de protection et de gestion durable des forêts pourraient se solder par le défrichement des forêts. Il a aussi été suggéré d'affecter les grandes superficies de terres dégradées présentes dans de nombreux pays en développement à l'expansion des plantations bioénergétiques. Toutefois, pour réaliser tous ces avantages, le développement de la production de biocombustibles devra être accompagné de réglementations claires et strictement appliquées d'utilisation des terres, notamment dans les pays riches en forêts tropicales qui risquent d'être converties à d'autres affectations des terres.

L'attrait des marchés, soutenu par des politiques bioénergétiques incitatives, encourage déjà le défrichement des forêts au profit de l'établissement de palmiers à huiles et d'autres cultures utilisées pour produire des biocombustibles liquides. Les objectifs des politiques de lutte contre le changement climatique ne se réaliseront probablement pas, car la quantité de carbone dégagée par le défrichement des terres pourrait dépasser considérablement celle qu'absorbent les cultures bioénergétiques en de nombreuses années. La situation est encore plus grave lorsque des

tourbières ont été défrichées. À ce propos, il convient de noter que la bioénergie ne peut être considérée comme renouvelable que si le volume du recrû dépasse celui de la récolte et si l'anhydride carbonique libéré pendant la production, le transport et la transformation n'excède pas celui absorbé pendant la végétation. Il faudra aussi tenir compte des émissions de carbone associées à la conversion des terres à la production bioénergétique.

La mesure dans laquelle la dendroénergie contribuera à la production future d'énergie dépendra très probablement de divers facteurs, dont la capacité de la dendroénergie de réaliser les objectifs des nouvelles politiques énergétiques, les coûts et avantages des systèmes dendroénergétiques sur le plan social, économique et environnemental et les questions de politique et institutionnelles qui établissent le cadre au sein duquel opère la foresterie. La formulation d'une stratégie bioénergétique quelle qu'elle soit sera également très influencée par le contexte local, y compris l'emplacement des ressources par rapport à l'offre et à la demande, l'infrastructure, le climat et les sols, la terre et la disponibilité de main-d'œuvre et les structures sociales et de la gouvernance.

À l'heure actuelle, la dendroénergie est particulièrement compétitive en tant que sous-produit de l'industrie du bois. Les résidus ligneux sont peut-être la principale source immédiate de production bioénergétique étant donné leur disponibilité, leur valeur relativement basse et leur proximité des chantiers d'exploitation forestière. Les résidus provenant de l'abattage et des opérations de transformation représentent normalement plus de la moitié de la biomasse totale extraite de la forêt.

Dans les forêts naturelles, 70 pour cent du volume total pourraient servir à la production d'énergie. La majeure partie de ce matériel consiste en houppiers et autres déchets forestiers laissés sur place après la récolte. Les résidus ligneux des scieries sont une autre source, plus accessible, de matériel.

Les plantations forestières établies exclusivement pour la production d'énergie sont de plus en plus répandues dans certains pays, et il est probable que celles à multiples usages fourniront les grumes servant à la production de bois de feu, ainsi qu'à d'autres objectifs en fonction de la demande des marchés. Les espèces moins prisées actuellement, les terres boisées exploitées et les arbres hors forêt fournissent des sources de bois potentielles autres que celles commercialisées normalement qui pourraient être utilisées à des fins énergétiques et, dès lors, des catégories de produits forestiers de valeur plus élevée.

Lorsque les ressources humaines et financières sont limitées, les stratégies de développement des bioénergies devront évaluer les possibilités fondées sur les ressources en biomasse déjà disponibles et sur des techniques éprouvées. Intégrer la production d'énergie dans les opérations forestières industrielles permet de réduire les risques, d'accroître la rentabilité et d'améliorer la gestion forestière d'une façon compétitive. Cette mesure permet en outre de renforcer la sécurité énergétique et de contribuer à l'atténuation du changement climatique, et devrait donc représenter un domaine de recherche prioritaire.

Pour garantir la disponibilité des terres cultivables nécessaires pour la production alimentaire à des prix économiquement abordables et éviter la perte d'habitats de très grande valeur, il est impératif que les stratégies bioénergétiques soient étroitement

liées et intégrées aux stratégies concernant l'agriculture, la foresterie, la réduction de la pauvreté et le développement rural. La planification et la surveillance de l'utilisation des terres, ainsi qu'une gouvernance efficace, peuvent contribuer dès aujourd'hui à éviter certains des problèmes sociaux et environnementaux déjà connus. Tous les pays bénéficieraient d'une amélioration de l'information sur les matières premières ligneuses utilisables pour la production de dendroénergie, y compris la récupération de la biomasse provenant des opérations forestières et commerciales.

Les politiques et programmes visant à promouvoir le développement des bioénergies viennent à peine de faire leur apparition. En ce qui concerne la foresterie, les questions suivantes devront être abordées en premier lieu:

- mobilisation durable des ressources forestières en tenant compte des contraintes juridiques et institutionnelles, du régime de propriété des forêts, de l'accès aux données et de l'infrastructure forestière;
- lois, règlements et politiques incitatifs, diffusion de l'information aux propriétaires forestiers, entrepreneurs et autres intervenants;
- gains d'efficacité grâce à l'utilisation plus intensive des ressources forestières existantes, des résidus de l'exploitation forestière et de la transformation de la biomasse ligneuse des arbres hors forêt, et des produits ligneux recyclés après consommation;
- expansion à long terme de la superficie forestière et renforcement de la productivité des ressources forestières, grâce à des innovations sylvicoles et génétiques, par exemple ;
- utilisation potentielle de terres marginales et dégradées pour la production de biomasse à des fins énergétiques.

Le transfert de technologies dendroénergétiques aux pays en développement revêtira une importance considérable pour l'atténuation des changements climatiques. La situation actuelle met le secteur forestier face à des opportunités et des défis considérables. Il devra trouver de nouveaux moyens de mobiliser les sources d'énergie, d'atténuer les changements climatiques et de soutenir le développement économique et environnemental durable.

1. Introduction

L'énergie joue un rôle central dans l'économie mondiale et les fluctuations de ses coûts se répercutent de façon significative sur la croissance économique, notamment dans les pays en développement importateurs de pétrole. De nos jours, une transition importante est en cours en ce qui concerne les sources dont l'énergie devrait provenir dans les années à venir. Trois principaux facteurs seront responsables de ces fluctuations:

- prix élevés des combustibles fossiles;
- dangers perçus de la dépendance à l'égard des combustibles fossiles;
- émissions croissantes de gaz à effet de serre issues des combustibles fossiles.

La bioénergie permet de réduire les émissions d'anhydride carbonique par unité de production énergétique, limitant la dépendance à l'égard des produits importés et, à l'aide des combustibles de substitution, d'établir un plafond à la hausse vertigineuse des prix du pétrole. Suivant l'efficacité de leurs cadres décisionnels et institutionnels, les pays pourront aussi promouvoir le développement national et rural durable grâce à l'expansion de la production de bioénergie. En outre, de nombreux pays possèdent d'abondantes ressources forestières qui, gérées durablement, peuvent fournir de grandes quantités de combustibles renouvelables. Un certain nombre de pays ont déjà élaboré des politiques visant à encourager l'utilisation du bois pour la production d'énergie.

La bioénergie est tirée d'une gamme de matières premières moyennant un grand nombre de processus. Certains des termes utilisés pour décrire les différents types de bioénergie sont expliqués dans l'encadré 1. Une liste plus complète de définitions est fournie dans le glossaire. Traditionnellement, les combustibles ligneux, les sous-produits de l'agriculture et les déjections animales (désignés ici sous le terme de «biomasse traditionnelle») servaient à produire l'énergie nécessaire pour la cuisson et le chauffage. Les grandes usines modernes qui convertissent les résidus ligneux et forestiers en électricité ou, à l'aide de systèmes de production combinée, en chaleur et électricité, sont souvent construites à proximité des scieries. Cette source d'énergie est considérée comme renouvelable car de nouveaux arbres et d'autres plantes peuvent remplacer ceux servant à la production d'énergie. Il est important de noter que la bioénergie n'est considérée comme renouvelable que si la croissance de la biomasse est supérieure à sa récolte et que la quantité d'anhydride émise pendant la production, le transport et la transformation ne dépasse pas celle absorbée par la biomasse récoltée pour produire de l'énergie.

Le rôle du bois comme source d'énergie varie largement d'une région du monde à l'autre. De nombreux pays en développement sont fortement tributaires du bois pour la production d'énergie destinée au chauffage et à la cuisson, et les ressources ligneuses sont souvent menacées par la perte de couvert forestier due

ENCADRÉ 1

Terminologie relative aux différentes sources de bioénergie

Le terme «bioénergie» se rapporte à tous les types d'énergie tirés des biocombustibles. Le terme «biocombustible» désigne les combustibles d'origine biologique, à savoir la biomasse.

La FAO classe les biocombustibles en fonction de la source de biomasse utilisée pour leur production – forestière, agricole ou municipale – et de l'état du produit. Les biocombustibles comprennent donc le bois de feu, les agrocombustibles et les sous-produits municipaux et chacun de ces groupes est subdivisé en combustibles solides, liquides ou gazeux pouvant être utilisés pour la production de chaleur et d'électricité. En ce qui concerne les combustibles ligneux, par exemple, on distingue les principaux groupes suivants:

- combustibles ligneux solides – bois de feu (bois non traité, copeaux, sciure et granulés) et charbon de bois;
- combustibles ligneux liquides – liqueur noire (un sous-produit de l'industrie de la pâte) et éthanol, méthanol et huile pyrolytique (issus de la dégradation thermochimique et biochimique du bois);
- combustibles ligneux gazeux – gaz pyrolytique (produit par la gazéification de combustibles solides et liquides).

Le terme «agrocombustible» désigne la biomasse dérivée directement des cultures énergétiques et des sous-produits agricoles, agro-industriels et animaux. Les biocombustibles municipaux consistent pour la plupart en débris comme les boues d'épuration et les gaz d'enfouissement et en déchets municipaux solides.

Dans la présente publication, le terme «biocombustible» désigne tous les combustibles d'origine biologique et le terme «biocombustible liquide» est utilisé pour indiquer les combustibles d'origine biologique qui sont liquides. Ce terme diffère de celui utilisé communément en Europe pour désigner les combustibles liquides d'origine biologique utilisés comme sources d'énergie servant aux transports – bioéthanol et biodiesel. Cette terminologie n'est pas employée ici.

Source: FAO, 2004

à la croissance démographique, à l'expansion de l'agriculture et à des pratiques de gestion forestière non durables. Les pays industrialisés et les grands pays en développement à croissance rapide consomment la grande majorité des combustibles fossiles du monde et recourent de façon croissante à la dendroénergie qu'ils utilisent à l'échelle industrielle. Certains, mais pas tous, ont pu stabiliser ou étendre leurs superficies forestières.

Ces dernières années, la capacité des biocombustibles liquides de remplacer les combustibles servant pour les transports a imprimé un élan vigoureux aux investissements dans la production de bioéthanol et de biodiesel à partir de pro-

duits végétaux. Les biocombustibles liquides sont fabriqués, à l'heure actuelle, principalement à partir de cultures vivrières comme le palmier à huile, la canne à sucre, le maïs, le colza, le soja, le blé et d'autres encore. D'une manière générale, le bioéthanol de la première génération est tiré du sucre ou de l'amidon végétaux et le biodiesel de l'huile végétale. Une concurrence peut donc s'établir entre les utilisations finales et, dans de nombreux cas, il a été soutenu que la hausse des prix alimentaires était imputable à la demande de ces produits et d'autres cultures à des fins énergétiques.

À moyen terme, est prévue l'arrivée de technologies permettant la production économiquement compétitive de biocombustibles liquides à partir de matériel cellulosique. Le bois, les résidus agricoles et certaines graminées, comme *Panicum virgatum* et *Miscanthus sinensis*, sont les matières premières les plus susceptibles d'être employées. Du fait que ces matières premières ne sont pas utilisées comme source de vivres, et qu'on peut les produire sur des terres considérées comme marginales aux fins de la production alimentaire, leur utilisation devrait être tenue moins responsable de la hausse des prix des aliments.

À court terme, il est extrêmement probable que l'expansion de la production agricole à des fins bioénergétiques augmentera la pression sur les terres et entraînera un surcroît de défrichement des forêts. Plusieurs cultures actuelles et nouvelles utilisées pour la production de biocombustibles liquides s'adaptent bien aux zones marginales et entrent souvent en concurrence avec des terres occupées actuellement par la forêt. Étant donné que les forêts emmagasinent des quantités considérables de carbone, leur remplacement par des cultures bioénergétiques pourrait résulter en une perte nette de carbone terrestre. Actuellement, 17 pour cent des émissions mondiale d'anhydride carbonique sont imputables à la déforestation (GIEC, 2007).

Au fur et à mesure que croît l'intérêt pour la bioénergie et que ses impacts éventuels se définissent, un certain nombre d'avantages et d'inconvénients sont apparus. Dans des articles de recherche publiés récemment, les auteurs ont présenté des arguments visant à minimiser le rôle des biocombustibles liquides dans l'atténuation du changement climatique. La question principale qui se pose est de savoir dans quelle mesure les biocombustibles liquides réduisent effectivement les émissions d'anhydride carbonique par rapport aux combustibles fossiles. L'énergie devant servir à produire, récolter, transformer et transporter les cultures et les biocombustibles, dans certains cas l'avantage net pourrait être limité, alors que dans d'autres des inconvénients pourraient se présenter. Toutefois, les biocombustibles liquides de la deuxième génération sont plus prometteurs. Contrairement à l'emploi actuel des biocombustibles liquides, l'utilisation de bois tiré de sources durables pour la production de chaleur ou d'électricité, ou pour la production combinée de chaleur et d'électricité, donne de très bons résultats tant du point de vue de la conversion énergétique que de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans les années à venir, l'utilisation mondiale d'énergie devrait hausser considérablement et les combustibles fossiles, malgré leurs inconvénients, resteront sans doute les sources d'énergie les plus viables économiquement. La mesure dans

laquelle elles sont susceptibles d'être remplacées au fil du temps dépendra, entre autres, des prix de l'énergie et de la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles importés, du coût et du potentiel d'atténuation des changements climatiques des sources d'énergie de substitution, ainsi que du niveau d'engagement pris à cet effet. Les décisions politiques concernant les subventions à l'agriculture et au développement rural joueront aussi un rôle très important (Wolf, 2007). L'évolution des modes d'utilisation de l'énergie en combinaison avec les changements climatiques aura de profondes conséquences pour les forêts du monde. La demande d'énergie est, de toute évidence, l'une des questions les plus critiques qui confronteront le secteur forestier au cours du vingt et unième siècle. De grands enjeux se profilent. Les gouvernements devront prendre des décisions adaptées pour optimiser les avantages économiques, environnementaux et sociaux et distribuer les acquis à l'ensemble de la société et aux générations futures.

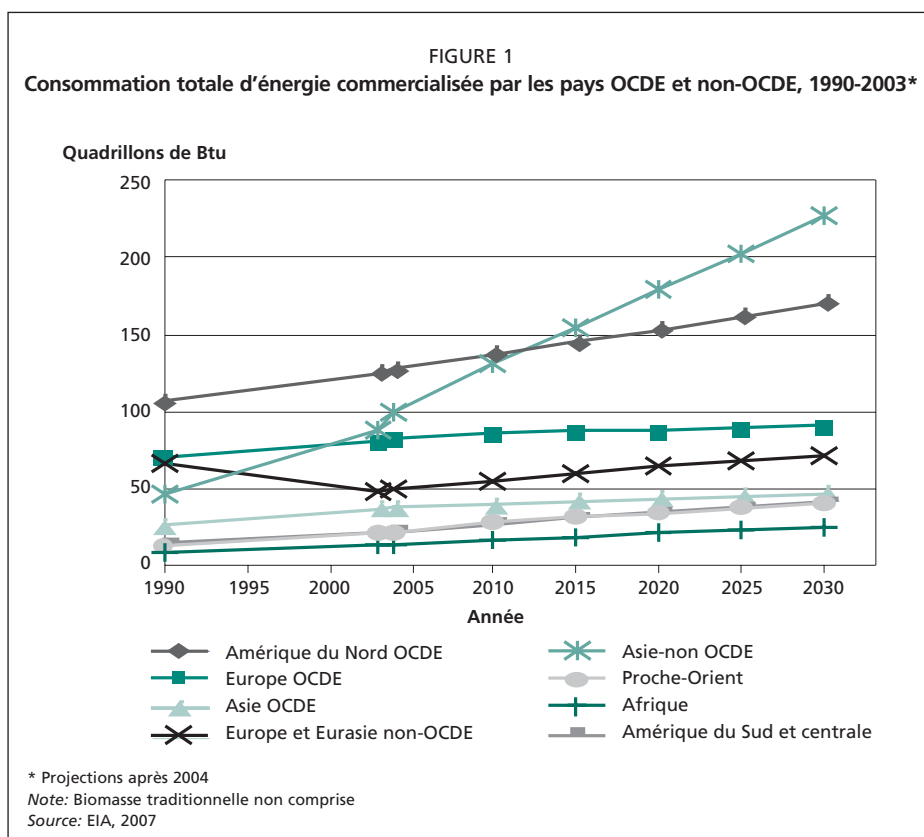
2. L'offre et la demande d'énergie: tendances et perspectives

La demande d'énergie devrait s'accroître considérablement dans les années à venir à cause de l'augmentation de la population et du développement économique (EIA, 2007). Au fur et à mesure que les économies passent du concept de subsistance à celui de production industrielle ou de services, les modes de vie de nombreux individus connaîtront de profonds changements. Les principales augmentations de la demande d'énergie seront le fait des pays en développement où le pourcentage de la consommation mondiale d'énergie devrait passer de 46 à 58 pour cent entre 2004 et 2030 (EIA, 2007). Cependant, d'après les projections, les chiffres relatifs à la consommation par habitant resteront en deçà de ceux des pays appartenant à l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

Il est prévu que la consommation d'énergie dans les pays en développement augmentera à un taux annuel moyen de 3 pour cent entre 2004 et 2020. Dans les pays industrialisés, où les économies nationales sont mûres et la croissance démographique devrait être relativement faible, on prévoit que la demande d'énergie progressera plus lentement au taux de 0,9 pour cent par an, bien que le point de départ soit beaucoup plus élevé. Il est estimé que la consommation d'énergie dans les régions en développement dépassera celle des régions industrialisées d'ici 2010. La moitié environ de l'augmentation de la demande mondiale en 2030 sera imputable à la production d'électricité et le cinquième aux besoins des transports, notamment sous forme de combustibles à base de pétrole (EIA 2007).

L'augmentation de la demande viendra, dans une large mesure, de la croissance accélérée des économies asiatiques, notamment celles de la Chine et de l'Inde. La demande d'énergie des pays en développement d'Asie devrait s'accroître à un rythme moyen de 3,7 pour cent par an, soit beaucoup plus rapidement que dans toutes les autres régions (figure 1). L'Asie verra sans doute sa consommation plus que doubler au cours des 20 prochaines années, et devrait être responsable de 65 pour cent environ de l'augmentation totale de la demande d'énergie de tous les pays en développement. La consommation d'énergie des pays en développement dans d'autres régions devrait s'accroître plus lentement qu'en Asie mais plus rapidement que la moyenne mondiale (tableau 1). S'il est vrai que toutes les régions joueront dans les années à venir un rôle dans l'offre et la demande futures d'énergie, l'énorme augmentation de la consommation prévue en Asie rend cette région particulièrement intéressante aux fins du développement futur de l'énergie.

La grande majorité de l'énergie mondiale provient de sources non renouvelables, en particulier du pétrole, du charbon et du gaz (figure 2) À peine plus de 13 pour cent de cette énergie sont tirés de sources renouvelables dont 10,6 pour cent



de combustibles et de déchets municipaux renouvelables. Le reste de l'énergie renouvelable vient de sources hydroélectriques et géothermiques, du soleil, du vent, des marées et des vagues.

D'après les projections de la consommation totale d'énergie, entre 2004 et 2030, les combustibles fossiles seront responsables de la majorité de l'augmentation, les sources nucléaires ou autres contribuant relativement moins en termes absolus (figure 3 et tableau 1). En pourcentage, le gaz et le charbon devraient subir les principaux changements et augmenter de 65 et 74 pour cent respectivement. On prévoit que la consommation de pétrole progressera de 42 pour cent alors que l'énergie nucléaire et les sources renouvelables, partant d'un niveau beaucoup plus bas, devraient augmenter de 44 et 61 pour cent respectivement. Les contributions finales des différentes sources dépendront, dans une large mesure, de l'orientation des politiques. Il faudrait dès lors considérer les projections essentiellement comme un point de départ pour de futurs débats.

ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'énergie renouvelable consiste dans l'énergie produite à partir de sources qui se renouvelleraient indéfiniment, comme l'énergie hydroélectrique, solaire et éolienne, ou produite de façon durable à partir de la biomasse. Malgré la prédominance

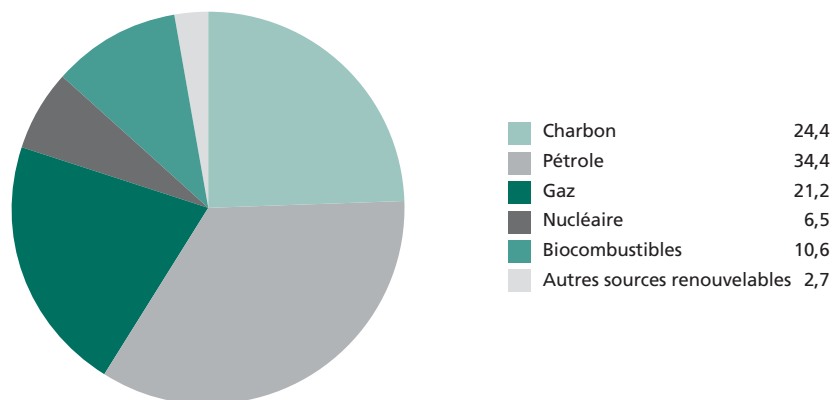
TABLEAU 1
Consommation mondiale totale d'énergie commercialisée ventilée par région et combustible, 1990–2030 (quadrillions de Btu)

Région/source	Année					Croissance
Région	1990	2004	2010	2020	2030	Croissance annuelle 2004–2030 (%)
Amérique du Nord OCDE	100,8	120,9	130,3	145,1	161,6	1,1
Europe OCDE	69,9	81,1	84,1	86,1	89,2	0,4
Asie OCDE	26,6	37,8	39,9	43,9	47,2	0,9
Europe et Eurasie non-OCDE	67,2	49,7	54,7	64,4	71,5	1,4
Asie non-OCDE	47,5	99,9	131,0	178,8	227,6	3,2
Proche-Orient	11,3	21,1	26,3	32,6	38,2	2,3
Afrique	9,5	13,7	16,9	21,2	24,9	2,3
Amérique du Sud et centrale	14,5	22,5	27,7	34,8	41,4	2,4
Total OCDE	197,4	239,8	254,4	275,1	298,0	0,8
Total non-OCDE	150,0	206,9	256,6	331,9	403,5	2,6
Source						
Pétrole	136,2	168,2	183,9	210,6	238,9	1,4
Gaz naturel	75,2	103,4	120,6	147,0	170,4	1,9
Charbon	89,4	114,5	136,4	167,2	199,1	2,2
Nucléaire	20,4	27,5	29,8	35,7	39,7	1,4
Autres	26,2	33,2	40,4	46,5	53,5	1,9
TOTAL MONDIAL	3473	446,7	511,1	607,0	701,6	1,8

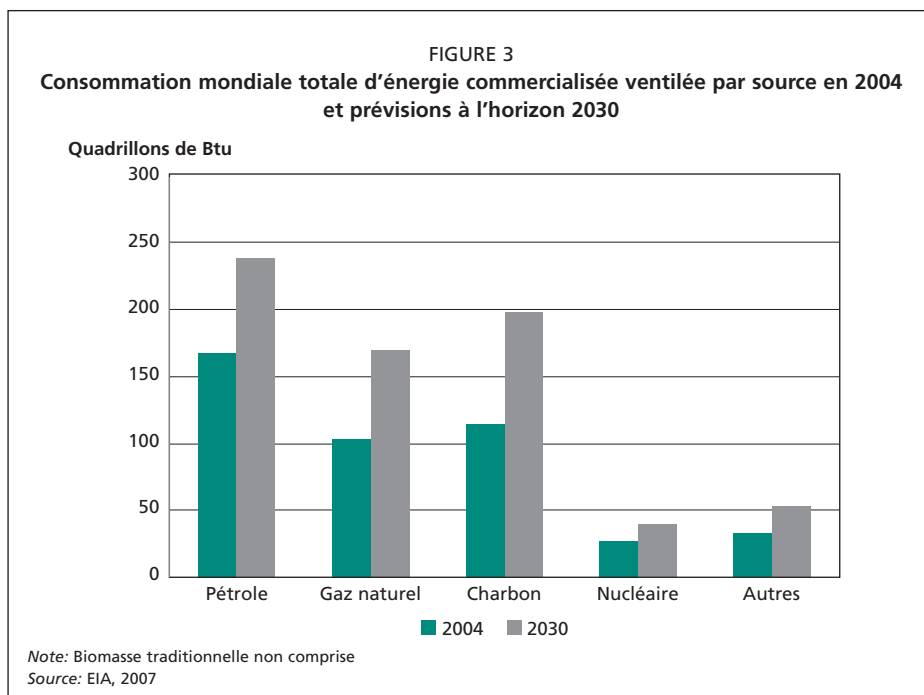
Note: Biomasse traditionnelle non comprise

Source: EIA, 2007

FIGURE 2
Part des combustibles dans l'offre mondiale totale d'énergie primaire en 2004 (%)

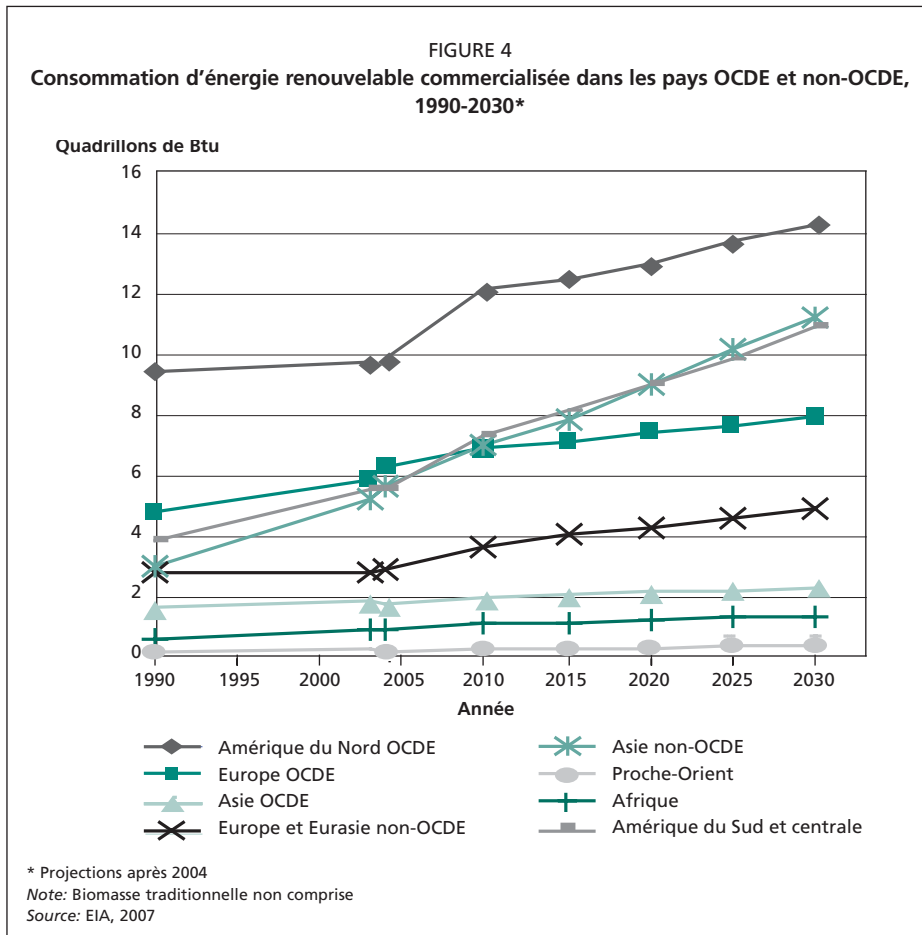


Source: AIE, 2007a



prévue des combustibles fossiles, on estime que l'utilisation des sources renouvelables enregistrera une hausse. Si on se base sur les chiffres de l'United States Energy Information Administration (EIA), les sources renouvelables commerciales de dendroénergie devraient s'accroître dans les toutes prochaines décennies à un rythme annuel d'environ 1,9 pour cent. Les augmentations absolues les plus importantes devraient être le fait de l'Amérique du Nord, des pays en développement asiatiques et de l'Amérique du Sud et centrale, comme indiqué à la figure 4. Les taux de croissance annuels de la consommation des sources renouvelables seront probablement les plus élevés au Proche-Orient, dans les pays asiatiques en développement et en Amérique du Sud et centrale (tableau 2). Dans les pays en développement d'Asie, la tendance est guidée davantage par la consommation énergétique accrue que par l'accent mis sur les sources renouvelables comme en Amérique du Sud et centrale.

Dans la plupart des régions, la proportion d'énergie provenant de sources renouvelables commercialisées devrait progresser dans les années à venir (figure 5). Le pourcentage de loin le plus élevé de consommation totale d'énergie renouvelable est le fait de l'Amérique du Sud et centrale où des sources de combustibles non fossiles économiquement compétitives sont déjà bien établies (encadré 2). Ces chiffres ne tiennent pas compte de la stratégie énergétique à long terme mise en oeuvre récemment par l'Union européenne (UE) qui prévoit que, d'ici 2020, dans l'UE la consommation d'énergie renouvelable atteindra 20 pour cent de l'utilisation énergétique totale et la part des biocombustibles utilisés pour les transports 10 pour cent, alors que les émissions de gaz à effet de serre seront inférieures de 20 pour cent aux niveaux de 1990 (Union européenne, 2007).



La montée des prix des combustibles fossiles et les politiques et les programmes gouvernementaux à l'appui du développement des énergies de substitution amélioreront la compétitivité des sources d'énergie renouvelables. Cependant, en dépit des efforts déployés aux niveaux national et international, la part mondiale des énergies renouvelables n'augmentera pas de manière significative au niveau mondial et on ne prévoit qu'une hausse limitée de 7,4 à 7,6 pour cent d'ici à 2030 (EIA, 2007).

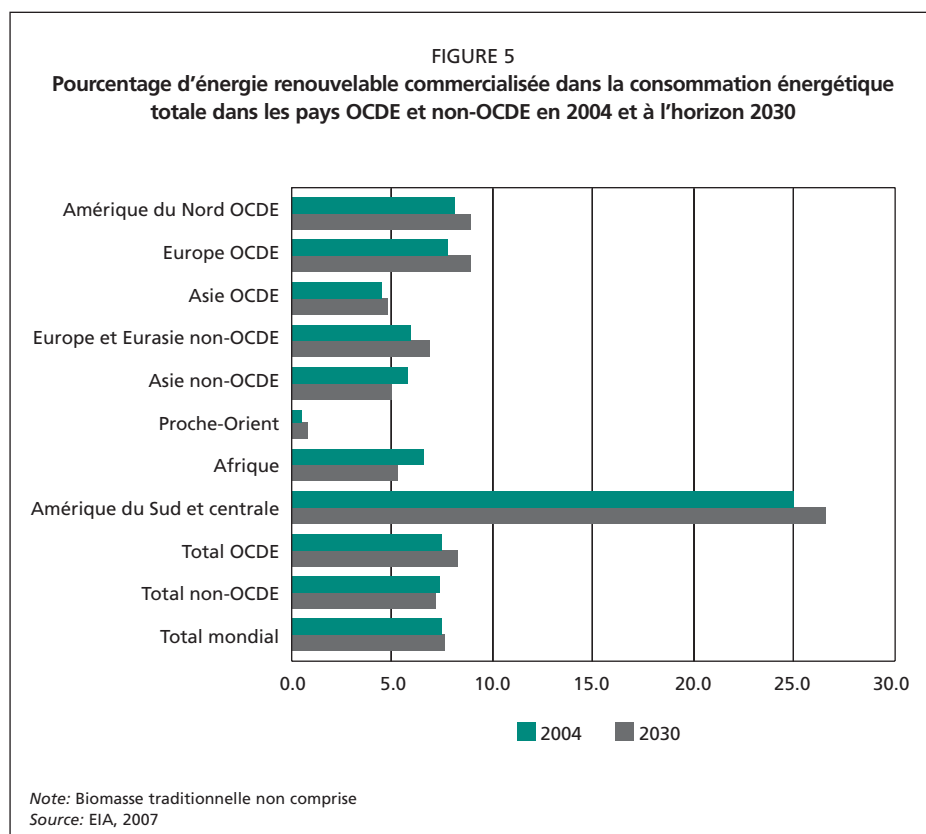
Le scénario mondial des politiques énergétiques de substitution présenté dans World Energy Outlook (AIE, 2006) montre comment le marché mondial de l'énergie pourrait évoluer si tous les pays du monde adoptaient les politiques et les mesures en cours d'élaboration pour réduire les émissions d'anhydride carbonique et améliorer la sécurité énergétique (tableau 3). Dans ce scénario, la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique mondiale reste largement inchangée, alors que celle de la biomasse traditionnelle décline. La production d'énergie hydroélectrique est destinée à s'accroître mais sa part restera stable, alors que les parts d'autres énergies renouvelables (y compris les sources géothermiques, solaires et éoliennes) progresseront le

TABLEAU 2
Consommation mondiale d'hydroélectricité et d'autres sources d'énergie renouvelable commercialisées ventilée par région, 1990–2030 (quadrillions de Btu)

Région	1990	2004	2010	2020	2030	Croissance annuelle 2004–2030 (%)
Amérique du Nord OCDE	9,5	9,9	12,2	13,1	14,4	1,5
Europe OCDE	4,8	6,3	6,9	7,5	8,0	0,9
Asie OCDE	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	1,2
Europe et Eurasie non-OCDE	2,8	2,9	3,6	4,3	4,9	2,0
Asie non-OCDE	3,0	5,7	7,0	9,1	11,3	2,7
Proche-Orient	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	4,3
Afrique	0,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
Amérique du Sud et centrale	3,9	5,6	7,4	9,1	11,0	2,6
Total OCDE	15,9	17,9	21,1	22,7	24,7	1,2
Total non-OCDE	10,3	15,3	19,3	23,9	28,8	2,5
TOTAL MONDIAL	26,2	33,2	40,4	46,5	53,5	2,5

Note: Biomasse traditionnelle non comprise

Source: EIA, 2007



ENCADRÉ 2

Les biocarburants pour le transport au Brésil

Dans le monde entier, environ 1 pour cent de la consommation de carburants pour les transports provient de biocombustibles liquides. Le Brésil fait figure d'exception par rapport à cette moyenne. Lors de la première crise pétrolière mondiale en 1975, le Brésil a lancé un programme national de promotion des biocarburants qui a débouché sur la production à grande échelle d'éthanol issu de la transformation de ses cultures sucrières. Plus de 90 pour cent de toutes les voitures produites et vendues au Brésil sont équipées d'un moteur qui peut marcher au bioéthanol, au pétrole ou avec des mélanges. Le Brésil a récemment lancé une campagne mondiale pour promouvoir les biocarburants comme produit de substitution viable aux combustibles fossiles dans le secteur des transports.

Au Brésil, le biocarburant issu de la canne à sucre est plus compétitif que l'essence lorsque les prix du pétrole dépassent 35 dollars EU le fût. En revanche, aux Etats-Unis, le bioéthanol tiré du maïs devient compétitif lorsque le pétrole atteint 55 dollars le fût, et dans l'Union européenne, il faut que le coût du pétrole se situe entre 75 e 100 dollars le fût pour que le bioéthanol soit compétitif (Worldwatch Institute, 2007).

Le succès des biocarburants au Brésil est largement imputable à la haute productivité de la canne à sucre et à sa capacité d'assurer une conversion efficace en éthanol. Environ 190 000 ha de plantations de canne à sucre sont établis chaque année, notamment dans le sud du pays (FAO, 2007c). Il est prévu que le Brésil continuera d'être le principal exportateur de biocarburants à l'échelle mondiale (Global Insight, 2007).

TABLEAU 3
Augmentation mondiale de l'énergie renouvelable

Source d'énergie	2004	2030	Augmentation approximative (fois)
Production d'électricité (TWh)	3 179	7 775	>2
Énergie hydroélectrique	2 810	4 903	<2
Biomasse	227	983	>4
Vent	82	1 440	18
Soleil	4	238	60
Géothermique	56	185	>3
Marées et vagues	<1	25	46
Biocombustibles (MTep)	15	147	10
Industrie et constructions (MTep)	272	539	2
Biomasse commerciale	261	450	<2
Chaleur solaire	6,6	64	10
Chaleur géothermique	4,4	25	6

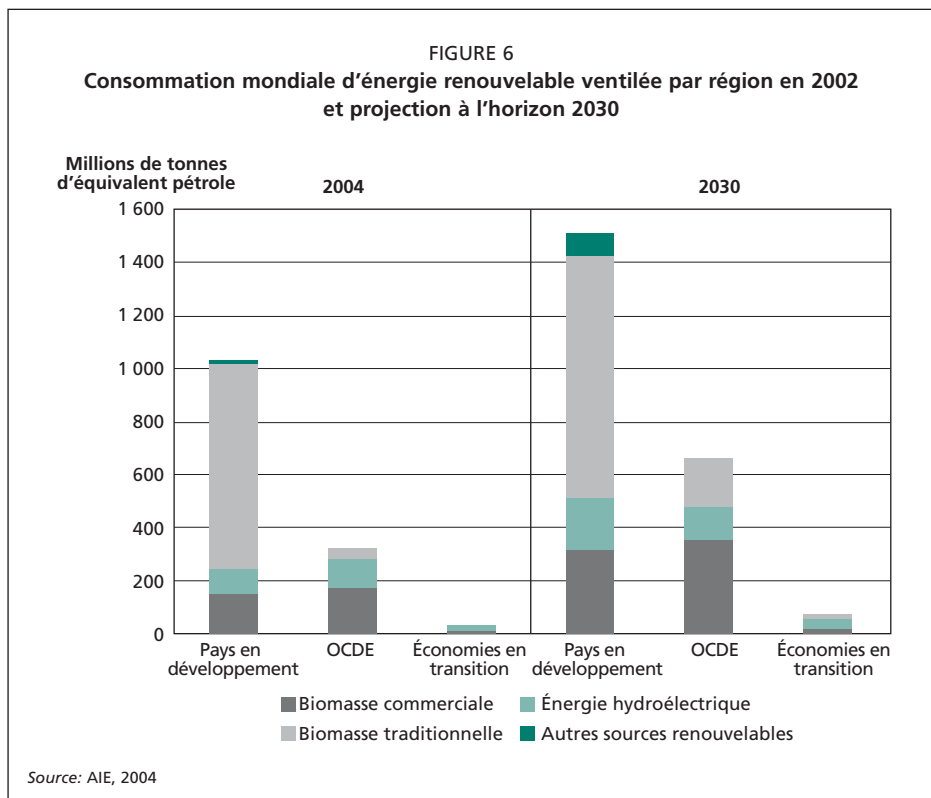
Note: TWh = terawatt-heure; MTep; millions de tonnes d'équivalent pétrole

Source: AIE, 2006; OCDE/AIE 2006 cité dans AIE, 2007a

plus rapidement, mais à partir d'une base si faible qu'elles continueront à représenter le plus petit élément de l'énergie renouvelable en 2030.

Avec l'inclusion de la biomasse traditionnelle, les combustibles renouvelables continueront d'être utilisés principalement pour le chauffage et la cuisson des aliments au cours des 25 prochaines années. Cependant, le secteur de l'électricité devrait guider l'augmentation mondiale de la consommation d'énergies renouvelables (AIE, 2004). Ce secteur représentait le quart de la consommation mondiale d'énergies renouvelables en 2002, mais sa part devrait passer à 38 pour cent en 2030. Actuellement, moins de 1 pour cent des combustibles utilisés pour les transports est renouvelable. Toujours, selon les projections, cette part s'élèvera à 3 pour cent au cours des 25 prochaines années. Cependant l'impact de ces changements sur la consommation mondiale d'énergie sera relativement modeste même si celui sur la déforestation et la sécurité alimentaire risque d'être considérable.

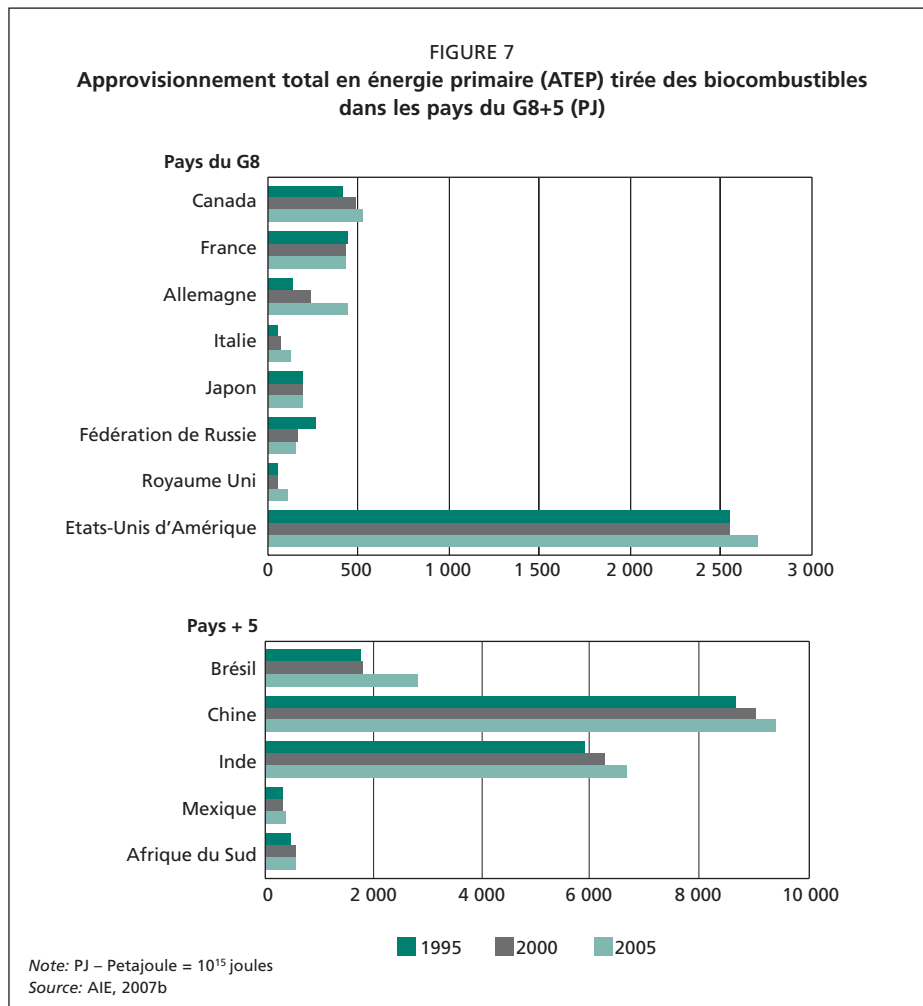
L'énergie renouvelable, qui comprend la biomasse traditionnelle, représente un plus grand pourcentage des disponibilités totales d'énergie dans les pays en développement que dans les pays développés. Environ les trois quarts des énergies renouvelables sont consommés dans les pays en développement, où la production d'énergie renouvelable est essentiellement basée sur l'emploi de biomasse traditionnelle et d'énergie hydroélectrique. Les pays industrialisés absorbent 23 pour cent de l'énergie renouvelable totale consommée dans le monde, et les économies en transition 3 pour cent (figure 6).

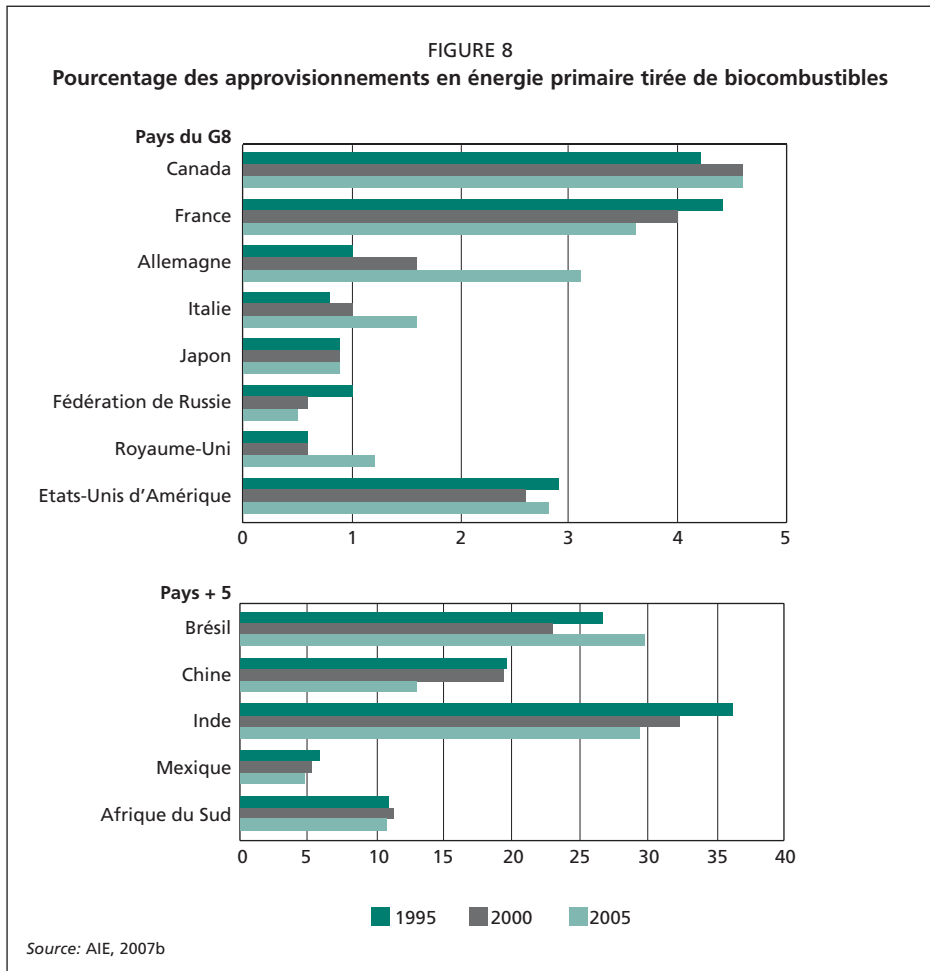


Les deux régions où les énergies renouvelables jouent le rôle le plus important sont l'Afrique et l'Amérique latine. En Afrique cette situation est due à l'utilisation diffuse de combustibles ligneux pour le chauffage et la cuisson des repas. En Amérique latine cela s'explique par le grand succès des énergies renouvelables au Brésil, où 45 pour cent de toute l'énergie consommée proviennent de sources renouvelables – hydroélectricité, bois et éthanol tiré de la canne à sucre.

L'emploi des biocombustibles gagne en importance dans la plupart des pays du G8+5, qui sont les plus gros consommateurs mondiaux d'énergie, à l'exception notable de la Fédération de Russie où les disponibilités de combustibles fossiles augmentent. En termes absolus, les Etats-Unis, la Chine et l'Inde sont de loin les principaux consommateurs de biocombustibles (figure 7).

La figure 8 montre clairement l'impact des politiques gouvernementales en comparant l'utilisation de bioénergie en pourcentage de la consommation d'énergie totale dans les pays du G8 + 5 entre 1995 et 2005. Les bioénergies ont progressé

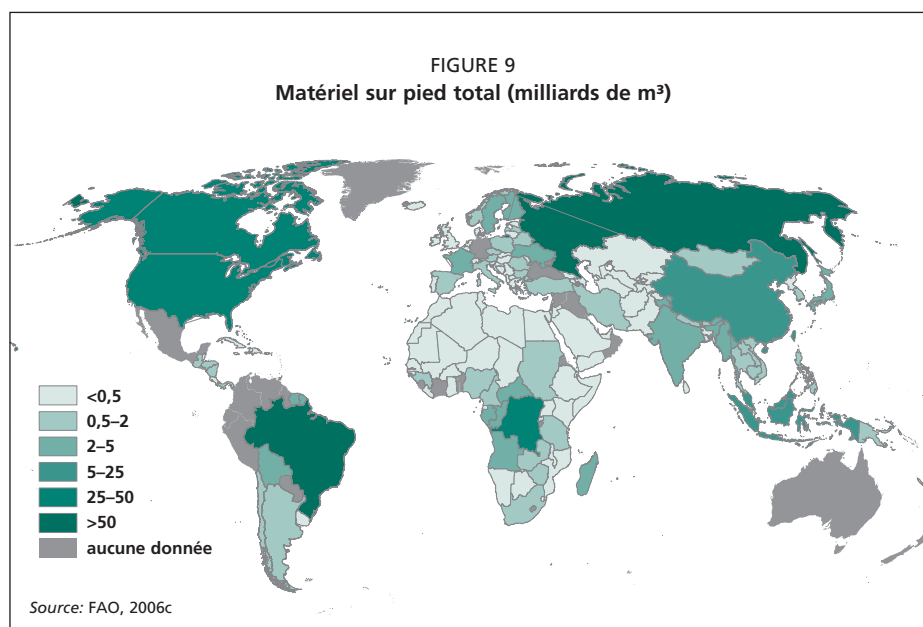




en pourcentage de l'utilisation totale d'énergie entre 2000 et 2005 en Allemagne, en Italie, au Royaume-Uni, aux Etats-Unis et au Brésil qui ont tous fourni des incitations économiques pour promouvoir la consommation de bioénergie. Cependant, le pourcentage relatif d'utilisation des biocombustibles a décliné en Chine et en Inde où les taux élevés de croissance économique ont largement compensé les effets de la hausse de prix des combustibles fossiles.

DENDROÉNERGIE

Les disponibilités de bois et leur capacité de remplacer comme biocombustible le pétrole à l'avenir sont réparties inégalement dans le monde (figure 9). La production mondiale de bois rond industriel s'est élevée à 1,7 milliard de mètres cubes environ en 2005 contre une production de combustible ligneux de près de 1,8 milliard (FAO, 2007c). Près de 65 pour cent du bois rond industriel mondial étaient produits dans les pays industriels contre 13 pour cent environ seulement du bois de feu. Les principaux producteurs de ce dernier sont l'Inde (306 millions



de mètres cubes), la Chine (191 millions) et le Brésil (138 millions). La production de bois de feu n'atteint un volume significatif que dans de rares pays industrialisés comprenant les Etats-Unis, le Mexique, la Finlande, la Suède et l'Autriche entre autres. Cependant, il est difficile d'obtenir des données exactes et les enquêtes auprès des ménages sur l'utilisation du bois de feu ont révélé que la consommation est considérable dans plusieurs autres pays industrialisés (Steierer *et al.*, 2007).

La grande majorité du bois de feu est encore produite et consommée localement. Étant utilisé principalement dans les foyers privés et souvent commercialisé dans le secteur informel, il est difficile de collecter des données fiables au niveau des pays, et l'exactitude et la disponibilité de statistiques sur le bois de feu appellent beaucoup d'autres mises en garde (encadré 3).

Dans le passé, le bois était la source la plus importante de bioénergie. On l'utilisait pour se chauffer et faire cuire les aliments depuis la découverte du feu. Dans les pays en développement, il est utilisé également dans les applications commerciales comme le séchage du poisson, le traitement du tabac et la cuisson des briques. Dans les pays développés, on l'utilise principalement pour la production d'énergie destinée aux industries forestières.

Ces dernières années, la dendroénergie a retenu l'attention comme énergie respectueuse de l'environnement pouvant remplacer l'énergie fossile, et des investissements ont été réalisés pour en améliorer l'efficacité, notamment pour les applications industrielles et pour la production de chaleur et d'électricité. L'évolution des politiques énergétiques dans plusieurs parties du globe a favorisé la création de systèmes à base de dendroénergie. De nouvelles technologies améliorent la faisabilité économique de la production de dendroénergie, notamment dans les pays très boisés et qui ont des industries de transformation du bois bien établies.

ENCADRÉ 3

Les obstacles à la collecte d'informations précises sur les combustibles ligneux

Il a toujours été difficile d'obtenir des statistiques sur la consommation des combustibles ligneux. Les raisons principales sont les suivantes:

- Des enquêtes très approfondies sont nécessaires pour collecter des informations précises car la production et la consommation des combustibles ligneux varient largement d'un endroit à l'autre et selon le moment de l'année.
- Le combustible ligneux est ramassé, dans une large mesure, pour les usages personnels et n'est pas vendu dans des lieux établis comme les marchés, les magasins ou les usines, ce qui aurait facilité la collecte des informations.
- Le prix des combustibles ligneux étant faible dans la plupart des pays, le secteur ne revêt qu'une faible importance économique, et la valeur des investissements dans la collecte de statistiques est donc modeste.
- De nombreux pays ne disposent pas des ressources financières et humaines nécessaires pour collecter des informations sur les combustibles ligneux, du fait notamment que ceux qui en consomment davantage sont souvent aussi les plus pauvres.
- La coordination est souvent faible entre les institutions intéressées au secteur (les organismes gouvernementaux qui s'occupent d'agriculture, de foresterie, d'énergie et de développement rural, par exemple) et l'avantage de la collecte d'informations pourrait être insuffisant à compenser son coût pour un seul organisme.
- De nombreux organismes forestiers gouvernementaux se concentrent sur la production commerciale de bois et négligent la production forestière non commerciale.
- Les informations sur les combustibles ligneux manquent de définitions claires, de normes convenues pour les mesures et de facteurs de conversion, ce qui rend difficile la comparaison des statistiques entre les régions et dans le temps.
- L'exploitation illégale diffuse fait que la production n'est souvent que partiellement déclarée et le volume des résidus ligneux disponibles pour la production d'énergie tend à être sous-estimé.

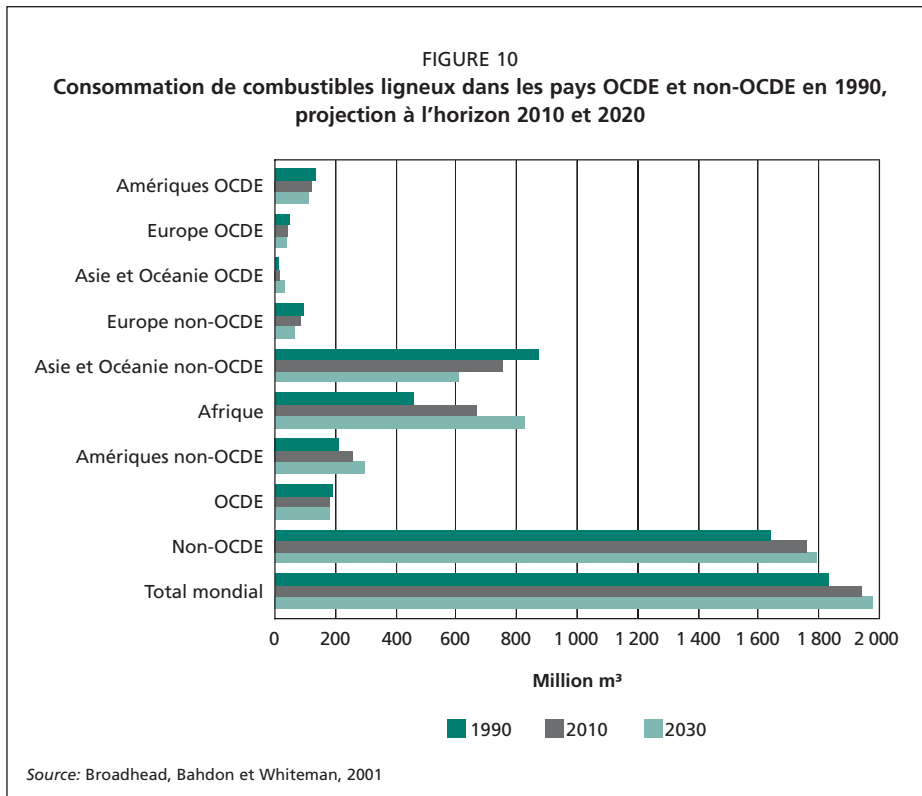
Source: Broadhead, Bahdon et Whiteman, 2001

En termes absolus, les principaux consommateurs de bois pour la production de bioénergie industrielle par volume de l'OCDE sont les États-Unis, le Canada, la Suède et la Finlande. La majeure partie de la biomasse forestière servant à produire de l'énergie dans ces pays est récupérée à partir de sources indirectes, y compris la liqueur noire issue de la fabrication de la pâte et d'autres résidus ligneux (Steierer *et al.*, 2007). Les applications industrielles ont représenté à peine plus de 50 pour cent de l'utilisation totale de bioénergie dans chacun de ces pays.

Le bois de feu est la forme prédominante de dendroénergie dans les zones rurales de la plupart des pays en développement, alors que le charbon de bois reste une importante source d'énergie pour de nombreux ménages urbains en Afrique, Asie et Amérique latine. Aux pays en développement vont presque 90 pour cent de la consommation mondiale de combustibles ligneux (bois de feu et charbon de bois) et le bois reste la principale source d'énergie pour la cuisson et le chauffage dans ces pays (Broadhead, Bahdon et Whiteman, 2001). Ces 15 dernières années, la consommation mondiale de combustibles ligneux est restée relativement stable se situant entre 1,8 et 1,9 milliard de mètres cubes.

La figure 10 montre la consommation de combustibles ligneux dans les groupes de pays membres et non-membres de l'OCDE entre 1990 et 2030. La tendance mondiale révèle une consommation croissante de combustibles reflétant largement celle en Afrique. En revanche, dans les pays non-membres de l'OCDE d'Asie et d'Océanie, la consommation tend à fléchir par suite de l'accroissement rapide des revenus et de l'urbanisation. La consommation future des pays européens de l'OCDE devrait dépasser les chiffres montrés à la figure 11 en raison des plans récents de l'UE qui visent à hausser à 20 pour cent la proportion de combustibles renouvelables dans l'utilisation énergétique totale d'ici 2020 (Union européenne, 2007).

Des enquêtes menées récemment ont aussi révélé que la consommation de combustibles ligneux est considérablement supérieure aux estimations précédentes dans

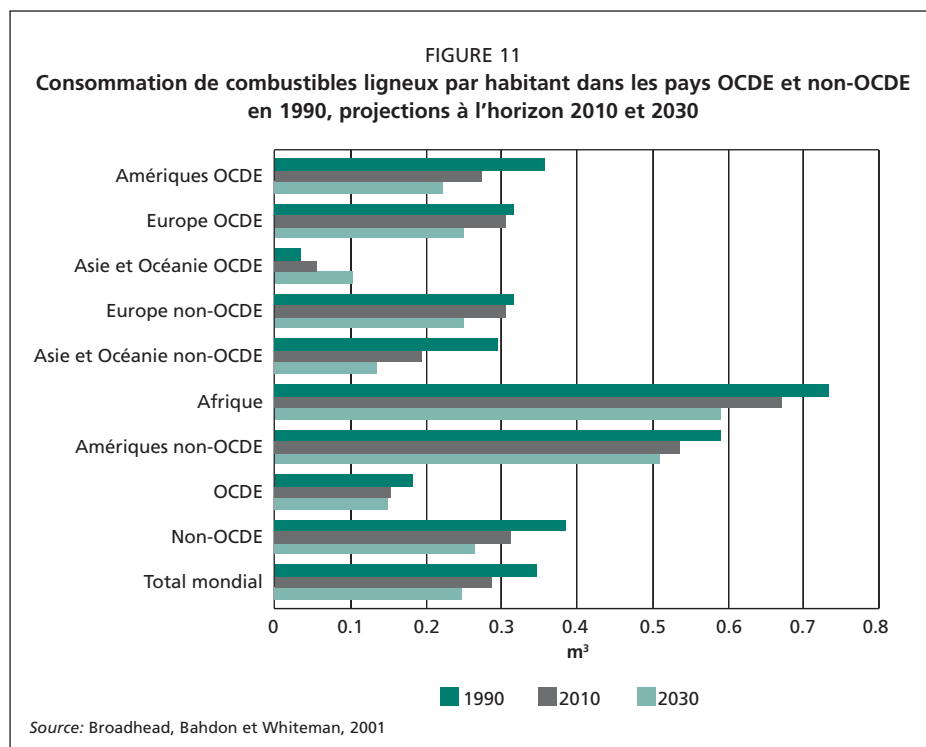


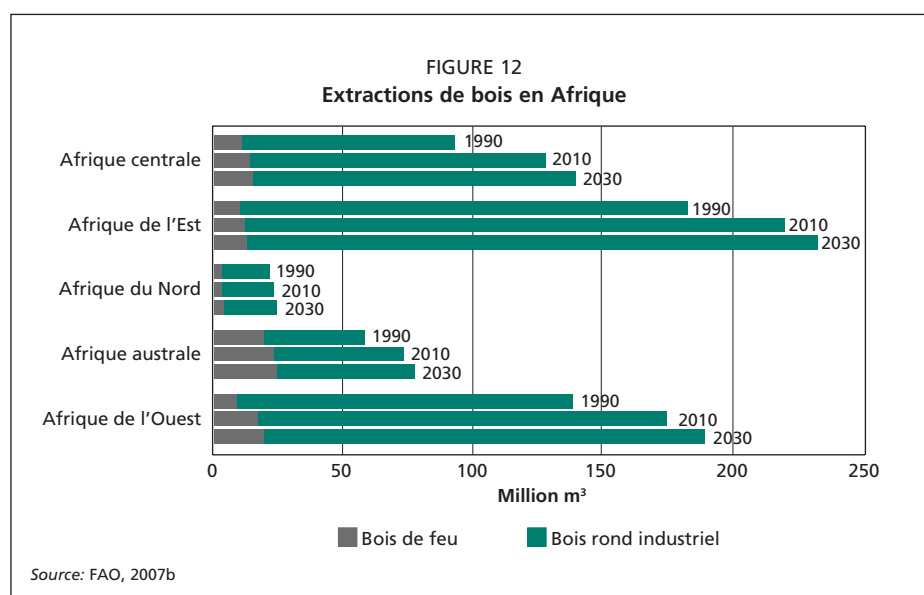
plusieurs pays industrialisés (Steierer *et al.*, 2007). Les chiffres pour les pays de l'OCDE se situent probablement dans la partie inférieure de la fourchette probable.

La consommation de combustibles ligneux par habitant (figure 11) indique différentes tendances de la consommation totale. Dans toutes les régions du monde, à l'exception des pays asiatiques de l'OCDE et de l'Océanie, la consommation par habitant décline par suite de la croissance des revenus et de l'urbanisation croissants, du recul des disponibilités de sources de bois et de la présence accrue d'autres sources d'énergie de substitution préférées aux combustibles ligneux. Malgré cette tendance, la croissance de la population dans les pays africains et les pays non-membres de l'OCDE pousse la consommation totale des combustibles ligneux à augmenter.

D'après les estimations de l'utilisation de bois en Afrique, la grande majorité de la biomasse forestière est utilisée comme bois de feu et les quantités employées dans les applications industrielles sont relativement négligeables partout, sauf en Afrique australe (figure 12). L'emploi du bois de feu s'accroît dans toutes les régions africaines, bien qu'à un rythme plus lent.

D'après les données recueillies par l'AIE (2008), le nombre de personnes qui utilisent les ressources en biomasse comme combustible principal pour la cuisson des aliments augmentent (tableau 4). On prévoit des accroissements considérables en Afrique et en Asie à l'exception de la Chine. Dans l'ensemble, en l'absence de nouvelles politiques, le nombre de personnes tributaires de la biomasse passera de 2,5 à 2,7 milliards d'ici 2030.





TABEAU 4
Nombre de personnes utilisant la biomasse traditionnelle (millions)

Région/pays	2004	2015	2030
Afrique subsaharienne	575	627	720
Afrique du Nord	4	5	5
Inde	740	777	782
Chine	480	453	394
Indonésie	156	171	180
Reste de l'Asie	489	521	561
Brésil	23	26	27
Reste de l'Amérique latine	60	60	58
Total	2 528	2 640	2 727

Source: AIE, 2006

En raison de la difficulté de collecter des informations précises sur les combustibles ligneux, il conviendra d'interpréter les données avec prudence. Les augmentations récentes des prix internationaux de l'énergie, par exemple, ont ralenti le rythme auquel les utilisateurs de combustibles ligneux ont adopté d'autres combustibles plus efficaces et plus propres pour la cuisson et le chauffage (AIE, 2006).

L'AVENIR DE L'ÉNERGIE – QUESTIONS PRINCIPALES

À l'avenir les options en matière d'énergie dépendront d'un grand nombre de facteurs. L'importance des diverses sources d'énergie varie en fonction des grands objectifs de la politique énergétique. Les variations entre les émissions de carbone jouent un rôle considérable dans le changement climatique et l'emplacement des disponibilités est important pour la dépendance à l'égard de l'énergie. Tout aussi

importants sont les prix futurs des combustibles fossiles et l'ampleur des efforts déployés pour identifier les produits de substitution. Le poids donné à chacun de ces facteurs et le niveau de concurrence entre les différents objectifs stratégiques détermineront, dans une large mesure, la consommation future d'énergie.

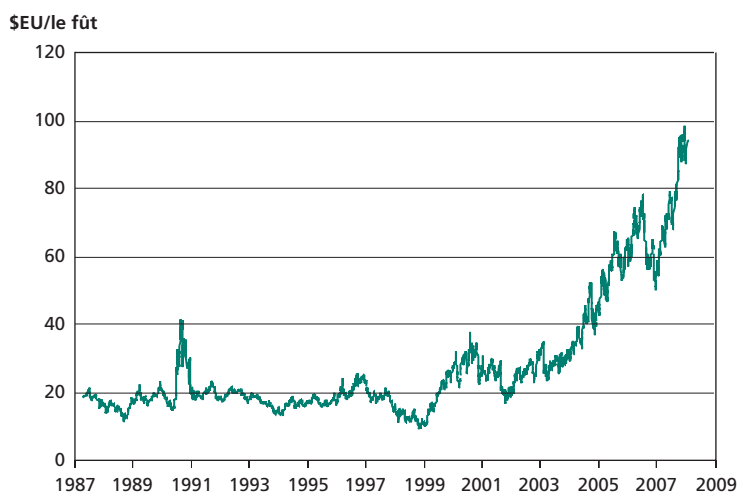
Prix du pétrole

Au début de mai 2008, le pétrole était vendu à environ 126 dollars EU le fût à la suite d'une brusque hausse des prix qui sont montés à partir d'un niveau inférieur à 20 dollars le fût en 1999 (figure 13). Bien que l'AIE ait prévu une baisse considérable des prix par rapport à ce niveau pendant la majeure partie des 20 prochaines années, l'incertitude qui règne quant à la capacité de la nouvelle production de compenser le recul des rendements dans les champs de pétrole existants pourrait déterminer une progression des prix du pétrole avant 2015 (AIE, 2007a).

Les prix du pétrole et des autres combustibles fossiles devraient influencer considérablement l'adoption des sources d'énergie renouvelables. Le fléchissement des prix fera probablement hésiter les décideurs à promouvoir l'énergie renouvelable alors que, dans les pays en développement en particulier, des prix pétroliers croissants pourraient, en freinant la croissance économique, décourager par là même les investissements dans les énergies renouvelables.

À cet égard, les pays en développement sont tout particulièrement sensibles aux fluctuations de l'offre et de la demande mondiale d'énergie. L'Agence internationale de l'énergie estime qu'une augmentation de 10 dollars EU du prix du pétrole peut réduire la croissance du PIB de 0,8 pour cent en moyenne en Asie

FIGURE 13
Prix au comptant du Brent en Europe FAB, 1987-2008



Source: EIA, 2008

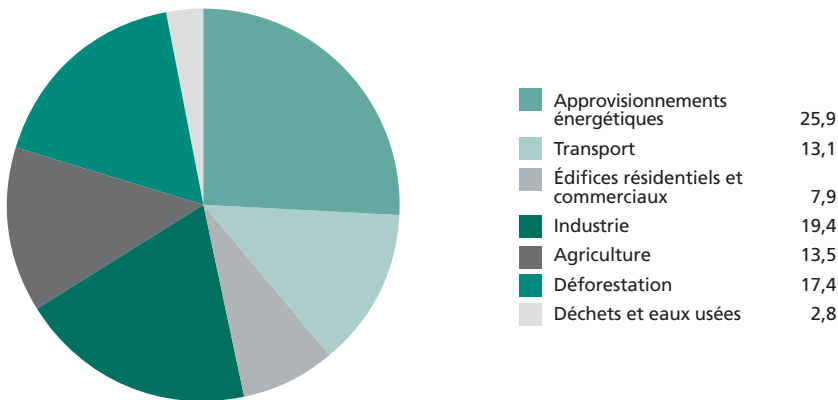
et de 1,6 pour cent en moyenne dans les pays les plus fortement endettés de la région. Le ralentissement de la croissance du PIB peut être encore plus marquée en Afrique subsaharienne où il atteint dans certains pays 3 pour cent (AIE, 2004). Les effets des prix du pétrole sur le développement des sources renouvelables et la répartition mondiale de la consommation pourraient s'avérer complexes, et les questions comme le commerce et le transfert de technologies revêtiront une grande importance.

Émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sont dominées par la production d'énergie (figure 14). Les autres sources, y compris le changement d'affectation des terres, la foresterie et l'agriculture sont responsables du tiers environ des émissions. Toutefois, l'utilisation de combustibles fossiles est la principale influence humaine sur le climat, et il est estimé qu'elle représente 56,6 pour cent des émissions de gaz à effet de serre (GIEC, 2007). Les transports, bien qu'ils ne comptent que pour le huitième des émissions, sont désormais au cœur du débat sur la bioénergie en raison de la quantité élevée de carbone qu'ils émettent, de la vive attention portée par le public aux prix du pétrole et de la dépendance vis-à-vis des pays producteurs.

Malgré la focalisation sur le pétrole et les transports ces dernières années, l'importance du charbon dans l'utilisation énergétique future et son rôle sur le changement climatique ne peuvent être sous-estimés, notamment si les processus de gazéification du charbon se répandent dans la production de carburants (Perley, 2008). Le charbon, qui est de loin le plus polluant des combustibles fossiles, gagne aussi en importance – notamment en Asie où sont attendues les plus fortes augmentations de la demande d'énergie. Le charbon est le combustible fossile qui contribue le plus aux gaz produisant les changements climatiques, dépassant le

FIGURE 14
Émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2000, ventilées par secteur (%)



Source: GIEC, 2007

pétrole en 2003. Il fournit un pourcentage de l'énergie mondiale totale équivalent à celui du gaz mais émet deux fois plus d'anhydride carbonique (AIE, 2006).

Puisque les disponibilités de charbon sont plus abondantes que celles du pétrole, une augmentation de la part d'énergie fournie par le charbon paraît inévitable, malgré les lois sur l'environnement. Les réserves de charbon sont plus largement disséminées que celles du pétrole et du gaz. On en trouve d'importantes adaptées à la production d'électricité en Australie, Chine, Colombie, Inde, Indonésie, Fédération de Russie, Afrique du Sud et aux Etats-Unis. Les projections de croissance de l'utilisation du charbon montrent que les augmentations les plus spectaculaires seront le fait de l'Asie et du Pacifique. À la Chine et à l'Inde réunies iraient près des trois quarts de l'augmentation de la demande de charbon des pays en développement et les deux tiers de l'augmentation de la demande mondiale de charbon (AIE, 2003).

La proportion considérable de gaz à effet de serre émise par la déforestation – 17,4 pour cent par an – doit également être prise en compte. Les efforts déployés pour faire en sorte que la production de bioénergie ne résulte pas en pertes de carbone terrestre dues au défrichement des forêts sont essentiels à la lutte contre le changement climatique. D'après des recherches récentes, le défrichement des pâturages ou des forêts pour la production de biocombustibles pourrait résulter en pertes de carbone dont la réabsorption exigera des siècles (Searchinger *et al.*, 2008; Fargione *et al.*, 2008).

Dépendance vis-à-vis de l'énergie

La dépendance vis-à-vis des importations d'énergie représente un autre facteur clé dans l'estimation des probabilités de promotion des énergies renouvelables et de la bioénergie. Le niveau de dépendance vis-à-vis des importations de combustibles dans différentes régions du monde et le pourcentage des exportations dans le commerce total des produits figurent au tableau 5. Toutes les régions, hormis le Proche-Orient, importent beaucoup, et de nombreuses régions exportent plus qu'elles n'importent, ce qui laisserait penser à un certain volume de substitution. Les importations de l'Asie dépassent considérablement les exportations. En Europe et en Amérique du Nord, les différences entre les importations et les exportations sont plus limitées en raison partiellement de la tendance actuelle à promouvoir les biocombustibles.

TABLEAU 5

Part des combustibles dans le commerce total des produits par région

Région	Exportations %	Importations %
Amérique du Nord	7,1	11,7
Amérique du Sud et Centrale	20,2	15,6
Europe	5	8,5
Communauté des États indépendants	43,9	9,8
Afrique	51,9	10,2
Proche-Orient	73	4,3
Asie	5,1	14,7
Monde	11,1	11,1

Source: OMC, 2004

3. Production bioénergétique

De nombreux procédés permettent la production de bioénergie ; ils vont de la combustion de brindilles et de branches pour la cuisson des aliments et le chauffage à la gazéification de copeaux de bois pour la production de combustibles pour les transports. Les systèmes de production d'énergie peuvent être comparés par rapport à l'efficacité énergétique, aux coûts d'installation, aux émissions de carbone, à l'intensité de main-d'œuvre requise ou à une série de coûts et avantages. Toutefois, le bien-fondé des différents systèmes dépendra largement des structures et marchés existants plutôt que d'évaluations isolées de la production.

Ces dernières années, beaucoup de débats se sont déroulés sur la question des avantages supposés de la bioénergie sur le plan des émissions d'anhydride carbonique. Toutefois, il convient de noter que la bioénergie n'est une forme renouvelable et durable d'énergie que sous certaines conditions (Perley, 2008). Pour maintenir le bilan de l'anhydride carbonique, la récolte de biomasse ne doit pas dépasser l'augmentation de la croissance, et l'anhydride carbonique émis pendant la production, le transport et la transformation doit être pris en compte. L'efficacité de conversion du produit devrait être évaluée en même temps que son utilisation finale pour éviter le risque d'insuccès de la politique.

En termes économiques, environnementaux et sociaux, le bien-fondé de différents systèmes de production de bioénergie dépendra, dans une large mesure, du contexte national et local. Lors de la planification d'une stratégie bioénergétique, il faudrait analyser les différentes options et leur impact afin de réaliser les objectifs de la politique.

COMBUSTIBLES LIGNEUX SOLIDES

Bien que l'utilisation du bois pour la cuisson et le chauffage remonte à l'aube de la civilisation, l'efficacité de cette source d'énergie varie en fonction des systèmes de production. Les feux à ciel ouvert ne convertissent qu'environ 5 pour cent de l'énergie potentielle du bois. Avec les fourneaux à bois traditionnels cette efficacité monte à environ 36 pour cent, alors qu'avec les systèmes fonctionnant au charbon, elle oscille entre 44 et 80 pour cent, suivant le modèle du fourneau et les méthodes de production du charbon de bois. Les fourneaux modernes à granulés de bois à usage familial ont un rendement de conversion de l'ordre de 80 pour cent environ (Mabee et Roy, 2001; Karlsson et Gustavsson, 2003).

Pour la production bioénergétique à l'échelle industrielle, un grand nombre de technologies sont en cours d'utilisation ou d'élaboration aujourd'hui. Elles comprennent les chaudières électriques de récupération de chaleur, les systèmes pour la production combinée de chaleur et d'électricité et les systèmes de gazéification pour les techniques avancées de récupération de l'énergie.

Les chaudières électriques mues par des turbines à vapeur, principalement alimentées avec des écorces de bois, peuvent être installées dans les scieries pour remplacer les fours en ruche d'abeille et d'autres systèmes d'évacuation des déchets. La chaleur des chaudières électriques peut servir à produire de la vapeur, qui sera dirigée vers les turbines pour produire de l'électricité ou pour satisfaire les besoins de la transformation. De la même manière, les chaudières de récupération sont employées dans les usines de pâtes et papiers, pour recycler la liqueur noire et récupérer les produits chimiques de réduction en pâte, tout en générant de la vapeur pour le processus de fabrication de pâte. L'efficacité d'une chaudière électrique mue par une turbine à vapeur est généralement de l'ordre de 40 pour cent (Karlsson et Gustavsson, 2003). Le faible coût des combustibles fossiles dans le passé n'a guère incité à installer des générateurs d'électricité dans les scieries.

Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité peuvent utiliser la vapeur produite pour alimenter d'autres processus industriels ou des réseaux de chauffage urbains pour les immeubles résidentiels, les institutions et les installations industrielles. La récupération de chaleur et d'électricité permise par le processus peut augmenter considérablement l'efficacité des opérations. Si l'on utilise les technologies les plus avancées intégrant la récupération et le recyclage des gaz de combustion, l'efficacité peut être portée à 70 ou 80 pour cent (Karlsson et Gustavsson, 2003).

L'efficacité carbone des systèmes alimentés au bois pour la production combinée de chaleur et d'électricité est généralement élevée par rapport aux sources énergétiques non renouvelables et à la plupart des autres biocombustibles. Spitzer et Jungmeier (2006) ont constaté que la production de chaleur par une centrale électrique à cycle combiné alimentée par des copeaux de bois ne produisait que 60 grammes d'équivalent CO₂ par kilowatt d'énergie. Une centrale similaire alimentée au gaz naturel produisait environ 427 g.

D'après les statistiques, les nouvelles technologies qui utilisent la gazéification obtiennent une meilleure récupération d'énergie pour la production d'électricité que la combustion traditionnelle dans une chaudière électrique. Une installation de gazéification intégrée à cycle combiné pourrait porter l'efficacité à environ 47 pour cent et, théoriquement, à 70 ou 80 pour cent avec des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité. Toutefois, des obstacles techniques importants demeurent.

La gazéification a été proposée pour fournir de l'électricité aux villages et aux petites industries. Les petites installations sont appropriées puisqu'elles sont moins coûteuses, les pièces de rechange sont plus faciles à trouver et les réparations peuvent se faire sur place (Knoef, 2000). Au Cambodge, Abe *et al.* (2007) ont constaté que quand la gazéification de la biomasse fournit de l'électricité à un prix inférieur à celui des générateurs diesel, les principaux problèmes résident dans la régularité de l'approvisionnement et les obstacles à la production de bois. La rentabilité des petites installations établies comme entreprises commerciales a été souvent marginale et fortement dépendante tant des prix de l'énergie que des coûts de l'apport en biomasse (Knoef, 2000). Wu *et al.* (2002) parviennent aux mêmes conclusions

pour les travaux entrepris en Chine et suggèrent qu'il pourrait convenir, lorsque les ressources financières sont limitées, d'utiliser des installations de taille moyenne.

Les fourneaux à granulés de bois, qui appliquent des technologies plus avancées pour la conservation et la récupération d'énergie, sont désormais une option attractive. Les granulés sont produits à partir de résidus ligneux (sciure ou rognures de bois) plutôt que de grumes entières, si bien qu'ils devraient être considérés comme partie intégrante de la fabrication des produits forestiers. La matière première est séchée, mécaniquement agglomérée et extrudée sous pression et transformée en granulés. Les petits fourneaux modernes à granulés de bois sont l'outil le plus efficace de production bioénergétique à petite échelle.

BIOCOMBUSTIBLES LIQUIDES

Les biocombustibles comprennent une gamme étendue de combustibles liquides et gazeux dérivés de la biomasse. Les biocombustibles de la «première génération» proviennent de cultures vivrières et contiennent le bioéthanol tiré du sucre et de l'amidon et le biodiesel provenant d'oléagineux. Les biocombustibles de la deuxième génération sont issus de cultures agricoles non vivrières et de produits forestiers, et utilisent la lignine, la cellulose et l'hémicellulose composant la matière végétale. La technologie pour la transformation de la lignine est en cours d'élaboration.

Ces derniers temps, avec les prix élevés du pétrole, l'intérêt porté aux biocombustibles liquides s'est intensifié. À cause de leurs prix plus faibles et de leur état de développement plus avancé, les biocombustibles tirés des cultures vivrières retiennent particulièrement l'attention. Il est prévu qu'à moyen terme, les innovations technologiques augmenteront la compétitivité des biocombustibles de la deuxième génération. Actuellement, de nombreux gouvernements les considèrent comme un moyen de réduire tant la dépendance à l'égard des importations de produits pétroliers que les émissions de gaz à effet de serre. C'est ainsi que l'Initiative biocombustible du Département de l'énergie des Etats-Unis vise à rendre l'éthanol cellulosique financièrement plus avantageux que l'essence d'ici 2012 et à remplacer 30 pour cent de la consommation actuelle d'essence par des biocombustibles en 2030 (CENUE/FAO, 2007).

Biocombustibles liquides de la première génération

Les biocombustibles de la première génération sont fabriqués à partir d'une série de cultures relativement propres à une zone géographique. Dans les régions tempérées, on utilise le colza, le maïs et d'autres céréales comme matière première des biocombustibles, alors que dans les zones tropicales c'est la canne à sucre, l'huile de palme et parfois aussi le soja et le manioc qui sont employés. La canne à sucre n'est pas très répandue dans les pays de l'OCDE, et seuls l'Australie et les Etats-Unis en sont les principaux producteurs. Toutefois, la betterave à sucre est produite dans de nombreux pays de l'OCDE et, bien que sa production soit consacrée principalement à l'alimentation, ce rôle peut évoluer à l'avenir.

Les techniques de production de l'éthanol à partir des sucres et de l'amidon ont été affinées et développées au fil des ans. Le Brésil et les Etats-Unis en particulier

ont amélioré ces technologies, le Brésil mettant l'accent sur la fermentation du sucre et les Etats-Unis sur l'hydrolyse et la fermentation de l'amidon. Un certain nombre de pays d'Asie et du Pacifique utilisent des systèmes de production de la canne à sucre bien développés et en expansion, notamment les Philippines, l'Inde, le Pakistan et la Thaïlande. L'un des avantages de l'emploi de la canne à sucre est que la bagasse, la composante cellulosique de la tige de la canne à sucre, peut être utilisée pour la production d'énergie servant à fabriquer le bioéthanol, augmentant ainsi l'efficacité énergie-carbone générale.

Dans le monde, les cultures oléagineuses sont plus diffuses que les cultures sucrières. Les premières servent à produire le biodiesel moyennant un processus connu sous le nom de transestérification. Toutefois, elles ont besoin de sols d'excellente qualité et de conditions de végétation optimales; il s'ensuit que les possibilités d'expansion sont limitées et que des terres forestières risquent d'être converties à la culture d'oléagineux si elles s'y prêtent.

L'Europe a dominé l'industrie du biodiesel à ce jour, représentant 90 pour cent environ de la production mondiale en utilisant l'huile de colza comme principale matière première. La Malaisie et l'Indonésie sont, à l'heure actuelle, les grands producteurs d'huile de palme. En 2006, la Malaisie détenait des plantations de palmiers à huile estimées à 3,6 millions d'hectares alors que l'Indonésie en avait près de 4,1 millions (FAO, 2007c). Toutefois, les estimations des plantations de palmiers à huile actuelles varient considérablement et certaines sources présentent des chiffres beaucoup plus élevés que ceux recueillis par la FAO (Butler, 2007a).

Le développement des biocombustibles et de l'industrie de l'huile de palme est particulièrement important en Asie, étant donné la montée rapide de la demande d'énergie prévue pour la région. La question de la conversion des terres aux plantations de palmiers à huile détermine des conflits car il est soutenu que leur expansion en Malaisie et en Indonésie s'est faite souvent aux dépens de superficies forestières exploitées récemment, de forêts ombrophiles de grande valeur ou de marécages tourbeux emmagasinant le carbone. En Asie du Sud-Est, 27 pour cent des plantations de palmiers à huile se situent sur des terrains tourbeux drainés (Hooijer *et al.*, 2006). Les émissions qui s'en dégagent contribuent considérablement à la formation des gaz à effet de serre mondiaux.

Récemment, on a étudié les possibilités d'utiliser d'autres plantes oléagineuses telles que *Jatropha* spp, comme matière première pour la production de biodiesel. *Jatropha* est un genre constitué de plus de cent espèces, dont des arbres et arbustes, originaire des Caraïbes mais présent aujourd'hui dans toutes les zones tropicales. Les graines de *Jatropha curcas* produisent une huile qui est utilisée de façon croissante pour produire du biodiesel, notamment aux Philippines et en Inde. Cette plante rustique pousse bien sur des terres marginales et peut servir aussi à remettre en état des terrains dégradés. Ces caractéristiques laissent penser que, si elle est bien gérée, la production de *Jatropha curcas* pourrait être accrue sans concurrencer directement les forêts naturelles ou des terres agricoles de très bonne qualité affectées à la production vivrière.

Biocombustibles liquides de la deuxième génération

Une deuxième génération de technologies en voie d'élaboration pourrait permettre d'utiliser des matières premières cellulosiques, notamment des résidus agricoles ou du bois, pour produire des biocombustibles liquides économiquement intéressants pour les transports. Il est prévu généralement que ces technologies efficaces de conversion compétitive de cellulose en biocombustibles liquides seront disponibles d'ici 10 à 15 ans (Worldwatch Institute, 2007). La production à l'échelle de la démonstration est déjà en cours (voir www.iogen.ca), le bioéthanol étant le combustible liquide cellulósique le plus proche d'être commercialisé. Le Gouvernement des États-Unis investit actuellement dans de petites bioraffineries cellulósiques (US Department of Energy, 2008).

Les résidus agricoles seront probablement parmi les matières premières les moins coûteuses des biocombustibles liquides. La bagasse et les résidus des cultures céréalières, y compris le maïs, le blé, l'orge, le riz et le seigle, sont parmi les matières premières pouvant servir aussi à produire le bioéthanol. Cependant, seulement 15 pour cent environ de l'ensemble de la production de résidus seraient utilisables pour la production énergétique en tenant compte cependant des quantités à garder pour assurer la conservation des sols, l'alimentation du bétail et pour faire face aux variations saisonnières (Bowyer et Stockmann, 2001). À mesure que s'accroît la production bioénergétique, les résidus agricoles sont appelés à prendre plus d'importance comme matières premières des biocombustibles et leurs disponibilités pourraient être accrues grâce à de meilleures pratiques de gestion.

Les résidus de l'industrie des produits forestiers et le bois issu des plantations forestières fournissent d'autres sources potentielles de matières premières pour la production de biocombustibles cellulósiques commerciaux. Aujourd'hui, une petite proportion seulement des biocombustibles liquides est à base de bois, mais la mise au point d'un processus économiquement viable pour produire des biocombustibles liquides cellulósiques pourrait favoriser une utilisation plus diffuse de la biomasse forestière dans le secteur des transports.

Deux technologies de base sont en voie d'élaboration pour convertir le bois en combustibles liquides et produits chimiques: la conversion biochimique et la conversion thermochimique (gazéification ou pyrolyse). Dans la conversion biochimique, le bois est traité à l'aide d'enzymes pour libérer l'hémicellulose et la cellulose sous forme de sucres. Ces sucres peuvent ensuite être convertis en éthanol ou en d'autres produits. La lignine résiduelle est également convertie en d'autres produits ou utilisée pour produire de la chaleur et de l'électricité servant à l'opération de l'usine ou pour la vente.

Dans la gazéification, le bois et l'écorce sont chauffés en présence d'une quantité minimale d'oxygène pour produire un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui, après épuration, est désigné sous le nom de gaz de synthèse. Ce gaz peut être converti ultérieurement en combustibles liquides. La pyrolyse est le processus de traitement du bois à basse température, en l'absence d'oxygène ou en présence d'une quantité minimale d'oxygène, pour convertir le bois en charbon,

gaz non condensables et huiles pyrolytiques. L'huile pyrolytique peut être utilisée directement comme combustible ou raffinée et transformée en combustible et produits chimiques.

Actuellement, les technologies de conversion biochimique exigent des copeaux de bois propres (dépourvus d'écorce) et pourraient exploiter les mêmes ressources ligneuses que les usines à pâte. En revanche, la conversion thermochimique peut utiliser un mélange de bois et d'écorce.

Une perspective intéressante est celle des bioraffineries qui devraient produire non seulement de la chaleur et de l'électricité, mais aussi des combustibles pour les transports et des produits industriels. Les usines à pâte modernes, qui sont dans certains cas des producteurs nets de chaleur et d'électricité, peuvent être considérées comme les prototypes des bioraffineries. On prévoit que les usines à pâte passeront du rôle de grands consommateurs d'énergie et de producteurs de pâte et de papier seulement à celui de producteurs de pâte et de papier ainsi que de chaleur, d'électricité, de combustibles pour les transports et de produits chimiques particuliers. On peut adapter la gamme de produits à la demande des marchés, optimisant ainsi les gains tirés d'une quantité donnée de bois (CENUE/FAO, 2007).

Il est probable que les biocombustibles de la deuxième génération rendront davantage lorsqu'ils serviront à alimenter les usines manufacturières existantes, comme les fabriques de papier, qui produisent ou utilisent de la biomasse bon marché ou comme sous-produit (Global Insight, 2007). La production d'éthanol cellulosique pourrait s'avérer faible hors des Etats-Unis, de l'Europe et du Brésil en raison de la taille limitée des marchés prévus et de la disponibilité de produits importés.

À l'heure actuelle, les Etats-Unis se situent parmi les pays où la conversion cellulosique est la plus développée. Le pays donne son soutien à la création de bioraffineries forestières intégrées qui pourraient être installées auprès des fabriques de pâte existantes et produire de la bioénergie renouvelable à partir de produits d'origine biologique forestiers et agricoles (CENUE/FAO, 2007). Les efforts actuels s'orientent vers trois domaines:

- identifier des processus rentables capables de séparer et d'extraire du bois certains éléments choisis avant la fabrication de la pâte pour la production de combustibles liquides et de produits chimiques;
- utiliser les technologies de gazéification pour convertir la biomasse, y compris les résidus forestiers et agricoles et la liqueur noire, en un gaz synthétique qui sera ensuite converti en combustibles liquides, électricité, produits chimiques et autres matériels de valeur élevée ;
- renforcer la productivité forestière, y compris le développement des plantations de biomasse à croissance rapide destinées à la production de matières premières économiques et de haute qualité pour la génération de bioénergie et de sous-produits.

Le développement des technologies servant à produire des biocombustibles à partir de sources cellulosiques permettra à l'avenir de promouvoir l'utilisation du bois dans la production d'énergie. Cependant, le besoin de faire appel à des inno-

vations technologiques avancées pourrait limiter, à l'échelle mondiale, la disponibilité de systèmes capables de convertir le bois et d'autres matières premières cellulosiques en combustibles liquides. L'Institute for Agriculture and Trade Policy a averti que les lois sur les brevets et le coût des redevances et de l'octroi de licences influenceront l'adoption des biocombustibles (IATP, 2007). Outre les questions technologiques et économiques, il est impératif de se rendre compte de la manière dont les lois sur les brevets peuvent avoir une incidence sur la production de biomasse et de biocombustibles pour comprendre comment les technologies de fabrication des biocombustibles pourraient contribuer au développement durable.

Les pays et les entreprises privées qui envisagent la production de biocombustibles liquides de la deuxième génération tirés de la biomasse cellulosique ont devant eux un avenir incertain, encore que potentiellement lucratif. Il faudra du temps et de gros investissements de recherche pour mettre au point des technologies permettant de produire des combustibles liquides compétitifs à partir du bois. Des investissements considérables sont aussi nécessaires pour les grandes usines, notamment pour la gazéification. Il convient de noter que les prix élevés du pétrole au début des années 1980 ont abouti à la construction d'un certain nombre d'installations de gazéification pour la production de méthanol tiré du bois, en particulier dans des pays européens. Cependant, le nombre de ces entreprises a diminué à cause des prix décroissants du pétrole. (Faaij, 2003). Les risques liés aux investissements dans les biocombustibles liquides de la deuxième génération étant relativement élevés, la plupart des pays en développement exploreront probablement d'autres options avant de s'embarquer dans cette aventure.

4. Contribution de la dendroénergie à la demande future d'énergie

L'avenir du développement des bioénergies et de la dendroénergie dépend largement de l'efficacité des politiques et de la cohérence avec laquelle elles seront appliquées. Des réserves abondantes de charbon sont encore disponibles dans certaines parties du monde où l'on prévoit que la croissance économique et démographique sera la plus forte. Si les prix des combustibles fossiles cessaient d'augmenter pour encourager le développement des biocombustibles, la demande ne s'accroîtra que dans le cas où la politique est appliquée efficacement. Dans de nombreuses situations, un soutien politique sera donc nécessaire pour encourager les investissements dans le développement des bioénergies – au moins jusqu'à ce que les prix se rapprochent de ceux des combustibles fossiles. Les marchés de l'exportation pourraient se développer dans les cas où les politiques intérieures ne parviennent pas à décourager le recours aux combustibles fossiles.

Partout dans le monde existent des systèmes très différents de production et d'utilisation de la dendroénergie et, très probablement, les changements survenus récemment dans la politique énergétique de différents pays susciteront une série de réactions. Dans les pays développés et en développement, divers facteurs auront une incidence sur l'offre et la demande de biomasse traditionnelle, de biocombustibles cellulosiques liquides, de résidus de l'industrie forestière et d'autres formes de dendroénergie.

Les facteurs liés au changement climatique, à l'efficacité énergétique et à l'emplacement des disponibilités joueront un rôle central dans la production de dendroénergie. En outre, une panoplie de questions écologiques, économiques et sociales entreront en jeu. Dans certains endroits et certains types de terres, les arbres seront parfois plus productifs que les cultures agricoles sans avoir autant d'effets nocifs sur l'environnement. La faible disponibilité de main-d'œuvre pourrait favoriser plus les forêts que les cultures agricoles. D'autres facteurs sont susceptibles de réduire la pression sur les forêts pour la production d'énergie, tels que les difficultés technologiques de la production de biocombustibles cellulosiques liquides et les problèmes de transport. D'une manière générale, la contribution de la foresterie à la production future d'énergie sera influencée par:

- la compétitivité de la dendroénergie dans la réalisation des objectifs des politiques énergétiques récentes;
- les coûts et avantages des systèmes à base de dendroénergie sur le plan social, économique et environnemental;

- les politiques et les institutions qui établissent le cadre au sein duquel opère la foresterie.

Toute stratégie bioénergétique sera aussi fortement influencée par le contexte local: emplacement par rapport à l'offre et la demande, infrastructure, climat et sols, disponibilité de terres et de main-d'œuvre, et structure sociale et de la gouvernance. Ces nombreux facteurs font qu'il est difficile de faire des comparaisons générales entre la bioénergie provenant de l'agriculture et celle issue des forêts (Perley, 2008).

L'élaboration de technologies économiquement compétitives pour la production de biocombustibles cellulosiques liquides aura une influence marquée sur l'importance de la dendroénergie. À ce point, les produits forestiers concurrenceront directement l'agriculture pour accaparer une part du marché des biocombustibles. Les produits forestiers deviendront aussi une source de combustibles pour les transports et, là où la consommation d'énergie est fortement guidée par la politique (UE, Etats-Unis, par exemple), de grands marchés s'ouvriront à la dendroénergie dans les pays en développement du monde.

Dans de nombreuses parties du globe, l'expansion accélérée des plantations bioénergétiques pourrait se heurter à des obstacles comme les conflits concernant l'utilisation des terres, l'insécurité des régimes fonciers, le risque d'expropriation et des pratiques inefficaces de gouvernance. Des changements dans les droits de propriété et d'usage pourraient aussi donner lieu aux problèmes sociaux qui accompagnent généralement le remplacement de la végétation naturelle par des cultures de rapport.

Lorsque les cultures agricoles ont la priorité sur les arbres, le rôle de la foresterie pourrait se limiter à assurer des gains d'efficacité dans les utilisations courantes et à promouvoir l'emploi des résidus ligneux provenant d'opérations forestières. Dans de tels cas, les disponibilités de bois pour la production bioénergétique seraient moins contrôlées par les marchés de l'énergie que par les tendances de la production de bois rond, l'étendue des ressources forestières et les demandes concurrentielles de résidus ligneux.

Bien que les prix du pétrole soient élevés, les pays en développement doivent évaluer très attentivement les risques des investissements dans la bioénergie. De nombreux investissements bioénergétiques réalisés dans les années 1980 ont perdu tout intérêt dès que les prix du pétrole sont retombés à leurs niveaux antérieurs (IBDF, 1979, Tomaselli, 1982). Mais depuis la situation a changé car de nouveaux éléments comme le réchauffement de la planète ont pris plus d'importance.

Les investissements bioénergétiques dépendent souvent de subventions et d'innovations technologiques. Les pays en développement ont peu de moyens financiers et beaucoup de priorités, aussi est-il fondamental d'effectuer une évaluation complète des risques et d'identifier les moyens de maximiser les avantages des investissements bioénergétiques. Le Mécanisme pour un développement propre du Protocole de Kyoto offre des incitations pour l'établissement de plantations énergétiques et le financement de l'utilisation durable des biocombustibles. Le protocole facilite aussi le transfert de technologies aux pays en développement.

COMBUSTIBLES LIGNEUX SOLIDES

La dendroénergie produite à l'aide de technologies efficaces concurrence déjà l'énergie fossile dans de nombreux pays et peut offrir par rapport aux autres matières premières de la bioénergie les niveaux les plus élevés d'efficacité énergie-carbone, notamment lorsqu'elle est utilisée pour la production de chaleur et d'électricité. La dendroénergie est non seulement économiquement attractive, mais peut représenter une option stratégique pour renforcer la sécurité énergétique, surtout dans les pays dotés de vastes superficies forestières mais qui sont tributaires d'énergies importées.

Les sources de bois utilisées pour la production dendroénergétique peuvent provenir d'une gamme de systèmes de production existants. Les résidus ligneux sont la source la plus immédiate de d'énergie étant donné leur disponibilité, leur valeur relativement faible et leur proximité des lieux où sont entreprises des opérations forestières. Les plantations établies exclusivement pour la production d'énergie sont de plus en plus diffuses dans quelques pays, et il est probable que celles à multiples objectifs fourniront des grumes non seulement pour la production d'énergie mais aussi pour d'autres usages suivant la demande des marchés. Les terres forestières défrichées et les essences actuellement peu prisées représentent des sources supplémentaires potentielles de bois pour la production énergétique.

Résidus ligneux

De nombreux pays n'ont pas une idée claire de la quantité de biomasse qui peut être récoltée à partir des opérations d'exploitation en cours, et ils n'ont jamais évalué pleinement le potentiel offert par les résidus ligneux pour la production d'énergie. Le tableau 6 compare les disponibilités de résidus ligneux issus des forêts naturelles d'Amazonie avec des plantations de pin à croissance rapide pour deux opérations industrielles typiques entreprises au Brésil. Les informations montrent qu'une petite part seulement de l'arbre est convertie en produits marchands. Ce matériel consiste essentiellement en houppiers et autres rejets qui sont laissés dans la forêt après les opérations d'exploitation.

Dans les pays en développement, l'excédent des résidus ligneux produits dans la scierie sont souvent inutilisés, ce qui crée des problèmes environnementaux en affectant la qualité de l'eau et de l'air. La production d'énergie à partir de ces résidus peut résoudre les problèmes tant de la production d'énergie que de l'élimi-

TABLEAU 6
Résidus ligneux d'opérations forestières industrielles au Brésil (% de la récolte totale de bois)

Opération	Forêt naturelle		Plantations	
	Produit	Résidu	Produit	Résidu
Récolte	30-40	60-70	80-90	10-20
Transformation primaire et secondaire	10-20	10-20	30-40	40-50
Total		80-90		60-70

Sources: OIBT, 2005; STCP – Banque de données (adaptation)

nation des déchets. Les technologies de combustion des résidus prévoient l'emploi de simples machines à vapeur pour la production d'électricité à petite échelle et des turbines à vapeur pour les plus grandes centrales électriques (OIBT, 2005).

Certaines analyses théoriques de la production d'énergie à partir des résidus ligneux dans les pays en développement laissent penser qu'ils ont un potentiel énergétique considérable (Tomaselli, 2007). Au Cameroun, par exemple, les résidus ligneux produits dans les scieries suffiraient à eux seuls pour couvrir la totalité de la demande intérieure d'électricité. Si tous ces résidus issus des opérations forestières au Cameroun étaient utilisés pour la production d'électricité, le pays serait à même de produire un volume cinq fois supérieur à la demande actuelle.

Les résidus ligneux provenant des scieries pourraient aussi produire une part significative de l'électricité consommée au Gabon, au Nigéria, en Malaisie et au Brésil. En comparaison, la contribution potentielle des résidus ligneux à la consommation totale d'électricité en Inde, en Thaïlande, en Colombie et au Pérou est relativement faible.

Les résidus ligneux des scieries ne représentent qu'un faible pourcentage des résidus totaux disponibles. Le volume des résidus ligneux laissés sur place après les opérations d'abattage dans les forêts tropicales est de trois à six fois plus élevé que celui produit par les scieries. Des technologies efficaces peuvent être utilisées pour récolter le matériel et le transporter jusqu'aux centrales électriques, afin de réduire les coûts, d'atténuer l'impact environnemental et de produire de l'électricité. Étant donné que ces mesures sont déjà activement appliquées dans la plupart des pays industrialisés les plus avancés, il pourrait n'y avoir pour ces pays qu'un intérêt limité à augmenter l'utilisation des résidus à des fins énergétiques. (Steierer *et al.*, 2007).

Dans de nombreux pays, l'utilisation des résidus agricoles et forestiers pourrait déterminer une réduction significative des terres à affecter à la production de biocombustibles, diminuant par là même l'impact social et environnemental des plantations énergétiques. Toutefois, en pratique, souvent le bois déclaré comme disponible pour la production d'énergie industrielle ne peut être récolté économiquement. En outre, l'exploitation forestière, l'expansion de l'agriculture et d'autres facteurs ont réduit les superficies forestières dans le monde entier. Il est donc possible que la disponibilité de résidus ligneux diminuera dans les années à venir, en dépit des taux élevés d'établissement de plantations.

Les résidus ligneux sont nécessaires à la santé des sols et des écosystèmes, et certaines quantités doivent donc être laissées sur le sol. Les résidus de l'exploitation forestière représentent une importante source de nutriments forestiers et contribuent à atténuer le risque d'érosion du sol (UN-Energy, 2007). La récupération excessive de biomasse pourrait aboutir à la disparition des nutriments, à la perte de biodiversité et à des modifications de l'écosystème.

Plantations énergétiques

Les plantations énergétiques ne sont pas une innovation. Les plantations forestières affectées à la production dendroénergétique existent depuis un certain temps dans de nombreux pays (NAS, 1980), bien que la plupart d'entre elles soient

petites, utilisent des technologies rudimentaires et ont généralement pour objectif l'approvisionnement en bois de feu pour la consommation locale.

Dans les zones tempérées, il existe un grand nombre d'espèces arborescentes à croissance rapide adaptées aux plantations énergétiques, y compris *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* et plusieurs espèces d'*Eucalyptus*, *Salix* et *Populus* (Perley, 2008). Les taux de croissance des arbres sont extrêmement variables et dépendent de leur gestion, des espèces et de l'emplacement. Dans les pays tropicaux, ces taux sont fortement liés aux disponibilités en eau (Lugo, Brown et Chapman, 1988). La fertilité du sol est également un facteur important. Les plantations forestières à courte révolution ont besoin de plus d'éléments nutritifs que les autres forêts qui occupent des terres moins adaptées à l'agriculture.

Le Brésil est l'un des rares pays où la production à grande échelle de dendro-énergie est étudiée depuis des décennies. D'importants investissements ont été réalisés dans l'établissement de plantations forestières, principalement *Eucalyptus* spp., à croissance rapide, affectées à la production de bois pour la génération de charbon de bois destiné à l'alimentation de l'industrie de l'acier. Le Brésil a également développé ses plantations forestières afin de produire la biomasse comme combustible et pour la production de chaleur et d'électricité destinées aux industries des produits alimentaires, des boissons et d'autres produits.

Des politiques claires et cohérentes, des législations et des directives de bonnes pratiques peuvent aider à équilibrer les avantages et les inconvénients des effets culturels, économiques et environnementaux de l'augmentation des investissements réalisés dans les plantations forestières (FAO, 2007a). Une productivité élevée, des techniques efficaces d'exploitation et une bonne organisation logistique sont fondamentales pour que les coûts de production de la biomasse permettent de générer de l'énergie à des prix compétitifs pour le marché.

Comme source de bioénergie, les arbres offrent des avantages par rapport à maintes cultures agricoles qui doivent être normalement récoltées chaque année, ce qui augmente le danger d'offre excédentaire et de volatilité des marchés (Perley, 2008). L'exploitation des arbres et d'autres cultures pérennes peut être avancée ou retardée en fonction de la fluctuation des prix. Les produits peuvent avoir plusieurs utilisations finales comme la production d'énergie, la fabrication de pâte et de panneaux, voire la production de sciages.

Les pays intéressés à l'établissement de plantations énergétiques doivent commencer à mettre en place les conditions propres à une production efficace de dendro-énergie. Cela suppose la mise au point du matériel génétique adapté aux conditions locales et l'adoption de technologies avancées pour les opérations sylvicoles, la gestion des plantations, la récolte, les transports et la conversion en énergie.

Quelques pays en développement auront besoin d'investir pendant des années dans la recherche-développement technologique avant de pouvoir transformer les plantations énergétiques en une option attractive. Les risques associés à ces entreprises peuvent être atténués par l'utilisation d'espèces adaptées et de matériel génétique de haute qualité, mais. Les pays et les investisseurs doivent aussi se rendre compte qu'ils se lancent dans un investissement de longue haleine à risque.

L'un des principaux risques sur lesquels n'ont aucun contrôle les pays et les investisseurs est la fluctuation des prix de l'énergie et du bois au fil du temps.

Les variations des prix de l'énergie peuvent rendre les plantations énergétiques non viables et, partant, sans valeur marchande. Ce risque est moins grand dans les pays qui ont des industries forestières plus développées et qui peuvent adapter la biomasse à d'autres usages. Par exemple, la présence d'industries des pâtes et des panneaux de bois reconstitué, qui utilisent les mêmes matières premières, réduit les risques des investissements dans des plantations énergétiques. Les investisseurs devront vérifier si l'établissement et la gestion des forêts pour la production de biomasse sont compatibles avec les objectifs des industries forestières oeuvrant déjà dans les pays en développement, notamment les moins avancés.

Essences peu utilisées et forêts secondaires

Les essences qui ne sont pas utilisées par l'industrie du bois offrent une autre opportunité. Une récente étude a analysé l'option consistant à associer la récolte d'essences traditionnelles servant à l'industrie du bois avec celles peu connues et peu utilisées pour la production d'énergie (OIBT, 2005). L'énergie produite selon cette approche permettrait d'accroître les recettes et d'améliorer la gestion durable des forêts (OIBT, 2005).

La gestion des forêts secondaires pour la production énergétique est une autre option. Dans les régions tropicales, les forêts secondaires sont très étendues. Ce type de forêts contient d'importants volumes de biomasse que les industries traditionnelles de transformation du bois ne peuvent pas utiliser et qui représentent une source potentielle d'énergie. L'application des directives de l'Organisation internationale des bois tropicaux pour la gestion des forêts secondaires peut promouvoir la mise en valeur durable de ces forêts pour la production de dendroénergie (OIBT, 2002).

Offre future de bois

La valeur du bois comme combustible ayant été faible jusqu'ici par rapport à d'autres utilisations finales, l'offre future de bois pour la production de bioénergie viendra probablement des opérations forestières en cours. Mais la situation pourrait changer avec la mise au point d'une technologie permettant la production d'énergie à partir de matériaux cellulosiques à des prix compétitifs, comme expliqué à la section 3.

Mabee et Saddler (2007) ont passé en revue un certain nombre d'études prospectives régionales et mondiales sur les disponibilités de fibres forestières pour déterminer l'offre mondiale renouvelable de biomasse forestière à des fins dendroénergétiques. Ils ont conclu que la demande accrue de dendroénergie dans les pays industrialisés influencera d'une façon marquée le volume de l'excédent de biomasse forestière disponible, à savoir entre 10 et 25 pour cent des excédents mondiaux estimés. Cependant, il n'est pas certain que les disponibilités mondiales de fibres couvrent la demande dans certaines régions, et la demande accrue des industries de transformation du bois risque aussi de les concurrencer.

Les technologies et les systèmes utilisés pour créer la dendroénergie jouent un rôle important dans l'analyse des disponibilités futures de biomasse forestière affectées à la production bioénergétique. Des améliorations de l'efficacité d'utilisation des combustibles ligneux permettraient d'obtenir des quantités notables d'énergie ligneuse dans le monde entier. Avec une approche axée sur des techniques optimales pour la récupération de l'énergie (par exemple, des techniques de production combinée de chaleur et d'électricité avec récupération des gaz de combustion, ou des fourneaux à granulés de bois très efficaces), la quantité d'énergie disponible grâce à la récupération des combustibles ligneux augmente de façon spectaculaire et la ressource peut être considérablement accrue.

Les augmentations de la production de bioénergie d'origine forestière pourraient avoir un impact sur les industries de transformation traditionnelles. Dans certains pays industrialisés, les volumes de bois récoltés dans la forêt à des fins énergétiques représentent déjà au moins la moitié de la production de bois rond industriel (Steierer *et al.*, 2007; FAO, 2007b). Dans d'autres, les volumes de bois utilisés à des fins bioénergétiques sont encore faibles par rapport aux volumes de bois rond industriel récoltés. Cependant, si l'on tient compte de la récupération des résidus et des déchets après consommation, l'emploi du bois à des fins énergétiques est supérieur à la production de bois rond industriel dans plusieurs pays industrialisés. L'impact que la demande de bois pour la production d'énergie pourrait avoir sur les prix des produits forestiers est décrit en détail dans l'encadré 4.

ENCADRÉ 4

Prix des produits forestiers

Dans les pays européens, les prix du bois ont baissé en termes réels tant en ce qui concerne le bois rond que le bois de trituration (CENUE, 2007; Hillring, 1997). Il est plus difficile de déterminer la tendance à long terme pour diverses raisons dont les taux de conversion des devises, les effets des taux d'inflation nationaux, les régimes fiscaux nationaux et les données disponibles. Les estimations mondiales du marché futur pour les produits forestiers prévoient une faible variation des prix réels du bois rond industriel, des sciages et des panneaux à base de bois jusqu'en 2010, ceux du papier journal et du papier d'écriture baissant légèrement (FAO, 1997; Trømborg, Buongiorno et Solberg, 2000). Cependant, au cours de ces dernières années, les prix réels des produits forestiers ont haussé partout dans le monde.

De récentes études ont fait observer que les prix des grumes de sciage de bois des conifères ont augmenté dans la plupart des régions d'Amérique du Nord et d'Europe en 2005/2006 (CENUE/FAO, 2006, 2007). Les augmentations des coûts du transport et les incitations à la production bioénergétique ont été citées comme les principales raisons de cette hausse. Les prix du bois de trituration sont aussi montés dans ces régions, là encore à cause probablement d'une augmentation des coûts de transport mais aussi

d'une amélioration du marché de la pâte. Les prix des sciages et du bois de trituration devraient continuer à s'élever dans les prochaines années (CENUE/FAO, 2006).

Ces tendances des prix du bois suggèrent plusieurs observations:

- Bien que la valeur du bois soit en hausse, l'industrie forestière rapporte moins aujourd'hui qu'au cours des années précédentes. Cette situation pourrait compromettre les investissements ou l'entrée dans le secteur de nouvelles entreprises.
- La valeur actuelle du bois, qui est faible par rapport aux données historiques, peut être une incitation à utiliser du bois dans les applications de valeur relativement basse comme la bioénergie.
- La compétition accrue pour les fibres ligneuses comme nouvelles sources de bioénergie possibles devrait confirmer la tendance actuelle à la hausse des prix du bois. Au fur et à mesure que les prix montent, cette tendance peut ralentir le développement de la production de nouvelles sources de bioénergie à moyen ou à long terme.
- Les politiques gouvernementales peuvent exercer un impact considérable sur les prix du bois. Les subventions aux investissements dans l'énergie renouvelable, les incitations fiscales et les droits de douane ont tous un impact sur les prix du bois, notamment dans les pays industrialisés.

On prévoit à l'heure actuelle que la forte demande de matières premières des biocombustibles à base de bois entraînera la hausse des prix des produits forestiers. Les usines de pâte et les fabricants de panneaux concurrencent le plus directement les applications bioénergétiques pour les disponibilités en bois, et à court terme, il est probable que les consommateurs devront faire face à l'augmentation des prix de quelques produits (CENUE/FAO, 2007).

ÉMISSIONS ET ÉCONOMIE DES BIOCOMBUSTIBLES

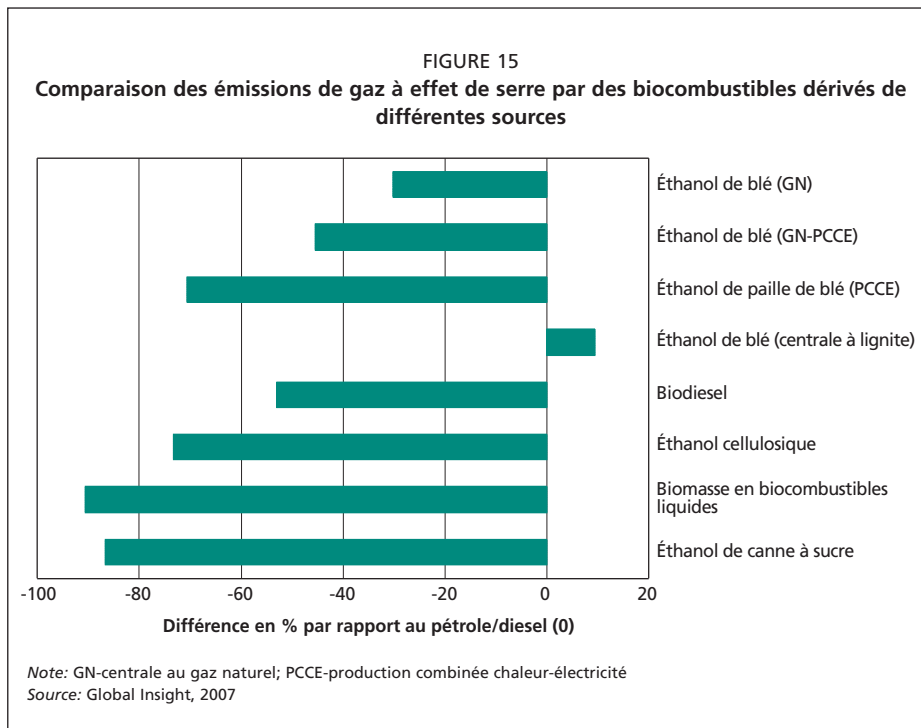
La plupart des études prévoient que les biocombustibles liquides de la deuxième génération issus de cultures pérennes et de résidus ligneux et agricoles réduiront de manière spectaculaire le cycle de vie des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux combustibles à base de pétrole. Certaines options permettraient une réduction nette des émissions de plus de 100 pour cent – c'est-à-dire que le processus de production bioénergétique emmagasinerait plus de carbone qu'il n'émettrait sous forme d'anhydride carbonique pendant son cycle de vie – avec une application inférieure d'engrais et l'utilisation de la biomasse ou d'autres sources renouvelables pour produire l'énergie nécessaire au processus (voir Worldwatch Institute, 2007).

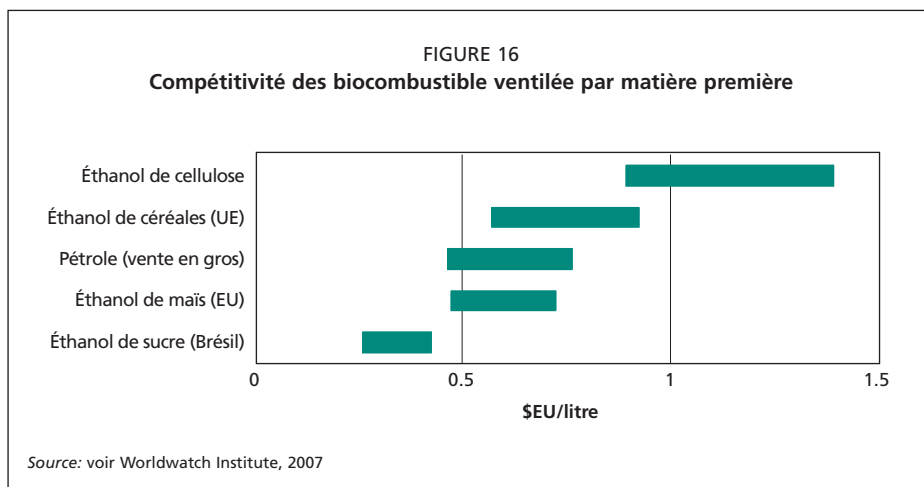
D'après certaines études l'utilisation de bioéthanol tiré du maïs ne représente qu'une légère amélioration par rapport au pétrole en matière d'efficacité énergétique, alors que le bioéthanol tiré du bois peut multiplier l'efficacité par quatre (NRDC, 2006). Selon les estimations les émissions de gaz à effet de serre issus des combustibles à base de biomasse de la deuxième génération seraient inférieures de 75 à 85 pour cent à celles des combustibles à base de pétrole utilisés pour les moteurs, grâce

à une agriculture moins intensive et en supposant que la partie non fermentable de la plante soit utilisée comme combustible de transformation (Global Insight, 2007). Ainsi, si des innovations font qu'il devient plus efficace ou au moins aussi économique de produire des biocombustibles liquides à partir de matériel cellulosique plutôt qu'à partir de cultures vivrières, la concurrence avec la production alimentaire serait réduite, l'efficacité énergétique accrue et le bilan énergétique amélioré. Cela pourrait favoriser une expansion des plantations forestières.

Par rapport à l'essence ou au diesel, on obtient les émissions de gaz à effet de serre les plus faibles avec les processus qui utilisent la biomasse plutôt que les biocombustibles liquides (c'est-à-dire les processus de gazéification/pyrolyse qui peuvent exploiter la totalité de la plante). Il en est de même pour la canne à sucre et l'éthanol cellulosique réduit les émissions de plus de 75 pour cent. L'éthanol tiré du blé ne permet que de faibles réductions à moins que l'on utilise aussi la paille de blé dans les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (figure 15).

La canne à sucre est la matière première agricole la plus économique pour produire des combustibles liquides, alors que le maïs et d'autres céréales, ainsi que les oléagineux de l'hémisphère Nord, sont moins compétitifs sur le plan commercial (figure 16) Bien que le coût de la production d'éthanol cellulosique soit actuellement plus élevé que celui de l'éthanol d'origine céréalière, les perspectives de réduction des coûts de production sont beaucoup plus grandes que pour l'éthanol cellulosique. En 2030 la parité avec l'éthanol tiré de la canne à sucre serait possible (AIE, 2006).





ENCADRÉ 5

Éfficacité énergétique et production de bioénergie

La consommation énergétique de la production de bioénergie est importante pour deux raisons. En premier lieu, pour être durable, la quantité d'énergie gagnée pendant l'utilisation d'une culture énergétique doit dépasser celle dégagée pendant sa production. En deuxième lieu, dans les stratégies d'atténuation du changement climatique axées sur la bioénergie, il faut tenir compte du type de combustible employé pour les apports en énergie et de leurs émissions de gaz à effet de serre.

L'emploi d'énergie dépend d'un certain nombre de facteurs. L'agriculture requiert des apports en énergie à maints différents stades de sa mise en oeuvre, y compris pour les machines agricoles, pour l'irrigation et la gestion de l'eau et pour le transport des produits jusqu'aux marchés. De grandes quantités d'énergie sont aussi consommées dans des activités associées à l'agriculture, comme la fabrication et la transformation des engrais et des pesticides, et la distribution des produits agricoles. C'est le cas notamment des systèmes d'exploitation agricole à forte intensité d'intrants.

Dans les pays industrialisés, l'agriculture exige normalement beaucoup plus d'énergie que dans les pays en développement. Cependant, lorsque ces derniers adoptent des pratiques agricoles plus avancées, les apports en énergie tendent à augmenter. Dans de nombreux cas, les apports énergétiques proviendront probablement de combustibles fossiles. C'est pourquoi, par rapport à ces combustibles, la production et l'utilisation des ressources bioénergétiques ne permet qu'une faible réduction des émissions de carbone.

Comme source de biomasse, le principal avantage des forêts et des arbres réside dans leurs besoins plus faibles en énergie et dans leur adaptation à des terrains moins fertiles que ceux exigés par l'agriculture. Toutefois, de nombreux obstacles empêchent d'exploiter pleinement ces avantages, y compris l'arrivée souvent retardée des technologies de la deuxième génération, l'offre future de bois et les infrastructures nécessaires à la viabilité économique (Perley, 2008).

La mise au point d'un processus économiquement viable de production de biocombustibles cellulosiques liquides pourrait encourager l'utilisation diffuse de biomasse forestière dans le secteur des transports. Étant prévu que la majorité de la demande de biocombustibles liquides viendra des pays développés, le principal facteur qui influence les plans de développement dans la plupart des pays en développement consiste dans leurs perspectives de commercialisation.

Les matières premières et les processus qui ne produisent pas de gains nets importants d'énergie intéresseront probablement moins les marchés, bien que d'autres objectifs pourraient assurer la continuité de leur production (Wolf, 2007). Il est improbable que les cultures établies expressément pour la production de biocombustibles cellulosiques s'étendent de manière significative car les innovations technologiques et les prix du bioéthanol ne favoriseront probablement pas leur production par rapport à d'autres cultures. De même, on ne s'attend pas à ce que les usines autonomes de production du bioéthanol et de biodiesel de la deuxième génération deviennent rentables dans les décennies à venir (Global Insight, 2007). La compétitivité des différentes matières premières dépend de l'efficacité énergétique nette de la production et de la transformation des différentes cultures (encadré 5).

5. Avantages et risques d'une utilisation bioénergétique accrue

Il est de plus en plus évident que la bioénergie offre une gamme d'avantages par rapport aux autres sources d'énergie. Tels sont l'augmentation des revenus ruraux et la réduction de la pauvreté dans les pays en développement, la remise en état des terres improductives et dégradées et la promotion du développement économique. En contribuant au renforcement de la sécurité énergétique, la bioénergie joue aussi un rôle stratégique, notamment dans les pays importateurs de pétrole. Enfin, elle peut aider à réduire les gaz à effet de serre qui sont à l'origine de préoccupations mondiales.

Toutefois, des obstacles doivent être surmontés avant de pouvoir tirer pleinement parti de la bioénergie. Certains avantages et inconvénients potentiels associés à la production de biocombustibles, qui concernent les grandes opérations en particulier, sont récapitulés ici. Pour minimiser les risques inhérents aux stratégies de production des bioénergies, il importe d'analyser à fond les différents aspects du développement de ces bioénergies, en particulier de la dendroénergie:

- développement rural, équité et réduction de la pauvreté;
- gestion des terres et des forêts et biodiversité;
- prix des produits alimentaires et forestiers;
- émissions de gaz à effet de serre et qualité de l'air;
- approvisionnement en eau;
- prix de l'énergie et dépendance vis-à-vis des sources énergétiques.

Le développement des bioénergies comporte des avantages et des inconvénients (encadré 6). Étant donné la gamme des interactions, les avantages et les risques potentiels des investissements en bioénergie doivent être évalués au cas par cas ou pays par pays.

De nombreux facteurs interviennent dans l'augmentation de la production d'énergie à partir de la biomasse. Parmi les plus importants figurent le type de culture et la productivité. Une étude de 2004 basée sur des données de l'AIE a comparé différents agrocombustibles, du point de vue de la superficie de terres arables nécessaires à la production d'une quantité donnée d'énergie. Les résultats ont montré que pour produire la même quantité d'énergie, le soja a besoin de près de 12 fois plus de terres arables que la canne à sucre. D'autres biocombustibles liquides potentiels se situent entre ces deux extrémités de la fourchette. Le maïs, par exemple, a besoin de deux fois plus de terre que la canne à sucre alors que pour les palmiers à huile il en faut 30 fois plus environ.

Le résultat est encore plus frappant si l'on pose la question: «Combien de terres arables faudrait-il pour remplacer 25 pour cent de l'énergie produite à partir de

ENCADRÉ 6

Avantages et inconvénients potentiels du développement des bioénergies**Avantages potentiels**

- Diversification de la production agricole
- Stimulation du développement économique rural et contribution à la réduction de la pauvreté
- Augmentation des prix alimentaires et des revenus des agriculteurs
- Développement des infrastructures et création d'emplois dans les zones rurales
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Augmentation des investissements dans la remise en état des terres dégradées
- Génération de nouvelles recettes par l'utilisation des résidus ligneux et agricoles et par les crédits de carbone
- Réduction de la dépendance énergétique et diversification des approvisionnements énergétiques intérieurs en particulier dans les zones rurales
- Accès à des sources d'énergie propre à des prix abordables pour les petites et moyennes entreprises rurales

Inconvénients potentiels

- Diminution des disponibilités alimentaires locales si les cultures énergétiques remplacent l'agriculture de subsistance
- Augmentation des prix alimentaires pour les consommateurs
- Risque que les besoins en terre pour les cultures énergétiques favorisent la déforestation, réduisent la biodiversité et accroissent les émissions de gaz à effet de serre
- Augmentation du nombre de polluants
- Nouvelles normes pour les véhicules et les infrastructures de production de carburants
- Accroissement des coûts de production des combustibles
- Augmentation des volumes de bois enlevés conduisant à la dégradation des écosystèmes forestiers
- Déplacement des petits agriculteurs et concentration de la propriété des terres et des revenus
- Effets négatifs de la production intensive des cultures bioénergétiques sur la qualité et la fertilité des sols
- Effets de distorsion des subventions sur d'autres secteurs et création d'injustices dans les pays.

Sources: FAO, 2000; UN-Energy, 2007; Perley, 2008

combustibles fossiles servant au transport par de l'énergie tirée des biocombustibles liquides?» La réponse serait 430 millions d'hectares pour la canne à sucre – 17 pour cent de la superficie mondiale de terres arables – et 5 milliards d'hectares pour le soja – 200 pour cent de la superficie mondiale de terres arables (Fresco, 2006). Il est donc irréaliste de penser que les biocombustibles peuvent remplacer

totalemment les combustibles fossiles. Les biocombustibles devront être considérés comme une source potentielle d'énergie qui devra toujours être utilisée en combinaison avec d'autres.

PAUVRETÉ, EMPLOI ET PRIX

D'après un grand nombre d'études, la production de biomasse à des fins bioénergétiques offrira aux pays en développement de nouvelles sources de revenu, réduisant par là même la pauvreté et renforçant la sécurité alimentaire. Il existe plusieurs variables qui permettent de déterminer si l'expansion des bioénergies a un impact net positif ou négatif sur les moyens d'existence. Si des petits agriculteurs ont la possibilité de produire de la biomasse de façon autonome, ou dans le cadre de programmes d'aide aux petits planteurs, il pourrait y avoir des avantages nets. Mais les conflits ne sont pas inconnus. En Indonésie, l'établissement des grandes plantations de palmiers à huile a été associé à des problèmes d'expropriation prétendue de terres et de violation des droits humains (Aglionby, 2008).

Les possibilités d'emploi offertes par le développement des bioénergies dépendent de la culture et du système de production. La récolte de cultures comme les graines de *Jatropha curcas* demande beaucoup de main-d'œuvre et peut créer des emplois et des revenus pour les populations rurales. En revanche, la récolte des cultures bioénergétiques, comme la canne à sucre, nécessite peu de main-d'œuvre et procure relativement peu d'emplois aux pauvres vivant en milieu rural. La capacité des biocombustibles liquides de créer des emplois a dès lors été contestée (Biofuelwatch, 2007). Cependant, il est probable que la production de bioénergie fournira davantage d'emplois que l'importation de combustibles fossiles, notamment si le volume des importations est élevé. Toutefois, le type et l'échelle des systèmes de production jouent un rôle crucial dans la création d'emplois.

Les progrès des techniques de production des bioénergies mettront l'énergie à la portée des populations rurales qui ont un accès limité à d'autres sources, ce qui pourrait promouvoir le développement économique. Les conditions de vie des ménages pauvres s'amélioreraient si le développement des bioénergies encourage l'utilisation plus efficace et durable de la biomasse traditionnelle (UN-Energy, 2007).

L'établissement de grandes plantations à vocation énergétique qui alimentent des centrales de conversion peut engendrer des conflits sociaux. Les biocombustibles devront être produits à proximité de la centrale afin de réduire les frais de transport et d'accroître la viabilité économique, mais cela pourrait favoriser une concentration accrue de la propriété des terres, et même déplacer les agriculteurs traditionnels. Par ailleurs, la planification locale pourrait aussi offrir aux petits propriétaires des possibilités d'investissement dans des plantations satellites.

La concurrence pour la terre et les produits agricoles pourrait faire hausser les prix alimentaires mais améliorerait le revenu des agriculteurs. Les producteurs des principaux excédents en bénéficieraient, alors que les acheteurs nets souffriraient davantage. La répartition des coûts et des avantages dépendra du contexte local, bien que l'effet net de l'augmentation des prix des aliments sur la sécurité alimentaire sera probablement négatif dans de nombreux cas. Les pauvres habitant dans

les villes, qui n'ont pas accès à la terre et ne peuvent donc bénéficier de la hausse des prix agricoles, seront le plus profondément touchés.

Si les prix des cultures produisant des biocombustibles liquides devaient s'élever de façon significative, les agriculteurs seraient tentés de convertir en cultures énergétiques les terres affectées à la production vivrière. À court terme cela réduirait les disponibilités alimentaires et ferait monter les prix des aliments. Or les exploitants changent souvent leurs cultures, et leurs choix se fondent principalement sur les prix du marché et la rentabilité. Des prix alimentaires plus élevés encouragerait l'utilisation des terres pour la production de cultures vivrières, si bien que le marché interviendrait pour rétablir l'équation de l'offre et de la demande. Il importe toutefois de souligner qu'une augmentation des prix des aliments, ne fût-ce que transitoire, affecterait les pauvres, notamment dans les pays en développement (encadré 7).

ENCADRÉ 7

Prix alimentaires et bioénergie

Rosegrant *et al.* (2005, 2006) ont étudié l'impact potentiel de la demande croissante d'énergie sur les prix alimentaires mondiaux réels. Ils ont examiné trois cas dans un scénario de croissance des biocombustibles liquides agressif, qui supposait que la consommation totale de biocombustibles serait multipliée par un facteur allant de deux à dix dans certains pays ou régions du monde dont la Chine, l'Inde, le Brésil, les Etats-Unis et l'Union européenne, et que les prix du pétrole resteraient élevés en valeur réelle. Les trois cas sont les suivants:

- maintien de la focalisation sur les biocombustibles liquides d'origine céréalière ;
- passage aux biocombustibles liquides produits à partir du bois;
- utilisation accrue de biocombustibles cellulosiques, associée à des améliorations des pratiques agricoles.

Les auteurs ont estimé que, dans le premier cas, les prix alimentaires réels augmenteraient de façon significative d'ici 2020 (voir le tableau). Dans le deuxième cas, le passage aux combustibles tirés du bois pourrait réduire quelque peu ces hausses des prix. La combinaison des biocombustibles cellulosiques avec des améliorations agricoles conduirait probablement aux augmentations des prix les plus faibles. Chacun de ces cas laisse présager pour l'avenir la hausse des prix réels des produits agricoles.

Chacun de ces trois cas comporterait une augmentation des prix moyens sur le marché alimentaire mondial, bien que les changements varient selon les pays. Ces résultats sont confirmés par d'autres modèles, notamment une analyse de Schmidhuber (FAO, 2006a) qui a constaté que la demande supplémentaire de matières premières pour les biocombustibles s'était traduite par une augmentation des cours mondiaux des produits agricoles.

Une hausse des prix alimentaires aurait une incidence sur la sécurité alimentaire, en particulier dans les pays qui ont des déficits vivriers dus à de mauvaises conditions

de végétation ou à d'autres facteurs environnementaux défavorables. Cependant, une augmentation des prix des produits alimentaires accroîtrait aussi les revenus dans les zones rurales où la pauvreté pourrait être atténuée. L'accroissement de la proportion de biocombustibles tirés du bois contribuerait à réduire la hausse attendue des prix des produits alimentaires mais quelques augmentations des coûts sont à prévoir. On notera que les prix réels des produits destinés à l'alimentation et à l'agriculture avaient jusqu'à présent toujours baissé et qu'une déviation par rapport à cette tendance pour répondre à la demande de biocombustibles pourrait ne pas être permanente (FAO, 2006a).

Hausse attendue des prix des produits alimentaires dans trois cas, dans le cadre d'un scénario de croissance des biocombustibles agressif (variations en pourcentage entre 2005 et 2020)

Produit	Maintien de la focalisation sur les biocombustibles d'origine céréalière	Passage aux biocombustibles tirés du bois	Biocombustibles tirés du bois + améliorations agricoles
Manioc	135	89	54
Betterave à sucre	25	14	10
Canne à sucre	66	49	43
Oléagineux	76	45	43
Maïs	41	29	23
Blé	30	21	16

Source: Rosegrant et al., 2006

TERRE ET ENVIRONNEMENT

La terre est un facteur clé dans la production de ressources bioénergétiques, et les disponibilités de terres varient au niveau inter et intra régional et national. L'établissement à grande échelle de plantations énergétiques pourrait limiter les superficies disponibles pour la production vivrière, ce qui suscite des préoccupations pour la sécurité alimentaire de certains pays, en particulier, les pays très peuplés qui ont peu de ressources en terres.

Des études récentes montrent qu'il existe d'importantes réserves de terres agricoles dans le monde mais, selon les prévisions actuelles sur la croissance démographique et la concurrence pour l'utilisation des terres, ces ressources ne sont pas distribuées là où elles seront le plus nécessaires. Par exemple, certains pays asiatiques très peuplés semblent n'avoir pas ou très peu de terres non utilisées à affecter à la production de biomasse (Risø, 2003).

Cependant, même dans les pays asiatiques densément peuplés, l'agroforesterie, l'utilisation de déchets agricoles et forestiers et des technologies efficaces de conversion en énergie pourraient fournir des quantités notables de bioénergie. L'Amérique latine, une grande partie de l'Afrique et certains pays d'Asie riches en forêts possèdent de vastes superficies qui pourraient être affectées à la production de biomasse. Cependant, la biodiversité est menacée par la production à grande

échelle de monocultures à des fins énergétiques, même sur des terres non boisées. La disparition des modes de vie pastoraux due à l'épuisement des pâturages et à la perte des ressources fourragères qui étaient produites sur ces terres pour les herbivores domestiques et sauvages pourraient avoir de graves effets économiques et sociaux (UN-Energy, 2007).

Dans de nombreux pays en développement, on envisage d'utiliser de grandes superficies de terres dégradées pour l'expansion des plantations bioénergétiques. L'Inde, par exemple, se propose de les établir sur 63 millions d'hectares de terres déclarées incultes. Elle estime que 40 millions d'hectares sont adaptés à l'établissement de cultures oléagineuses (Prasad, 2007). La plantation d'arbres ou d'autres cultures énergétiques dans ces zones permettrait de réduire l'érosion, de remettre en état des écosystèmes, de régulariser les écoulements d'eau et de fournir des abris et une protection aux communautés et aux terres agricoles (Risø, 2003). Ces résultats ne pourront être obtenus que si l'expansion de la production de biocombustibles est accompagnée de réglementations claires et strictes sur l'utilisation des terres, notamment dans les pays tropicaux où les forêts risquent d'être converties à d'autres usages (Worldwatch Institute, 2007).

Les projets de production d'agrocombustibles ont été mal accueillis dans quelques pays par suite de risques et des conflits potentiels. En Ouganda, par exemple, les réactions du public ont été négatives quand le gouvernement a octroyé à une entreprise une licence pour exploiter les forêts de Mabira, en vue de planter de la canne à sucre pour produire des agrocombustibles. Des projets de production d'agrocombustibles auraient suscité des réactions similaires au Ghana et en Afrique du Sud (GRAIN, 2007).

Dans plusieurs pays, les forêts ont été remplacées par des cultures destinées à la production de biocombustibles et cette tendance pourrait s'accélérer avec une forte demande de biocombustibles et de bioénergie. Cependant, la situation pourrait changer de façon spectaculaire si la biomasse ligneuse devient la matière première de choix, et un avenir où les forêts menaceraient les superficies agricoles plutôt que le contraire n'est pas à exclure.

Pour garantir la disponibilité des terres arables nécessaires pour produire des vivres à des prix abordables et éviter la perte d'habitats d'une très grande valeur, il est impératif d'incorporer la planification et la surveillance de l'utilisation des terres dans les stratégies bioénergétiques. Quelques scénarios possibles de développement des biocombustibles liquides sont décrits dans l'encadré 8 avec leurs impacts probables.

Une expansion à grande échelle des plantations forestières et bioénergétiques peut avoir divers impacts dont la réduction de la fertilité des sols, l'érosion du sol et une utilisation accrue des ressources en eau. La culture intensive accroît et concentre la consommation d'eau, qui est une ressource de plus en plus rare dans de nombreux pays. Certaines cultures produisant des agrocombustibles ont besoin de beaucoup d'eau. En mars 2006, l'Institut international de gestion des ressources en eau a publié un rapport mettant en garde contre «la ruée vers les biocombustibles liquides» qui pourrait aggraver les pénuries d'eau qui sévissent dans certains pays. Par exemple, en Chine et en Inde, les ressources en eau sont rares et la production

d'agrocombustibles est en grande partie basée sur l'irrigation (GRAIN, 2007). Cela pourrait réduire les ressources en eau disponibles pour les cultures vivrières et avoir des effets négatifs sur la sécurité alimentaire. Cependant, ces effets pourraient être atténués par une bonne planification de l'utilisation des terres et une gestion responsable (FAO, 2006b).

Un autre sujet de préoccupation est le risque d'une aggravation de la pollution atmosphérique si la combustion de biomasse augmente (OMS, 2006). Celle du bois, en particulier, dans les installations mal équipées en filtres ou à combustion incomplète, libère de fines particules dont la dangerosité pour la santé est recon-

ENCADRÉ 8

Scénarios pour le développement des biocombustibles

La production à grande échelle de bioénergie qui exige de vastes étendues de terres est un sujet d'inquiétude. On se demande actuellement aussi si les cultures de biocombustibles liquides de la première génération pourraient compromettre la sécurité alimentaire et le couvert forestier. Pour traiter correctement les questions concernant l'utilisation des terres et leurs retombées sur les forêts, on pourrait développer la production de biocombustibles liquides suivant l'un des scénarios ci-dessous ou par une combinaison de quelques-uns :

- **Convertir des terres dégradées ou des terres actuellement occupées par des cultures vivrières à la production de bioénergie, y compris la dendroénergie.** Cette approche ne devrait pas affecter les forêts, mais elle pourrait compromettre la sécurité alimentaire, notamment dans le cas d'opérations à grande échelle, à moins d'accroître la productivité et/ou d'identifier des synergies entre la production alimentaire et la production énergétique.
- **Introduire les cultures de biocombustibles liquides dans des terres boisées.** Cette approche conduirait à la déforestation et nuirait à la biodiversité et aux autres biens et services procurés par les forêts, et augmenterait les émissions de gaz à effet de serre. Les disponibilités en matières premières des industries forestières pourraient s'amenuiser et la demande de matériel de construction et d'autres produits ligneux pourrait diminuer. Les disponibilités de bois pour la production d'énergie s'accroîtraient à court terme.
- **Affecter le bois de forêts existantes à la production d'énergie.** Cette approche aurait un effet négatif sur les revenus et la gestion des forêts naturelles et des plantations, et rendrait plus vive la concurrence pour les ressources entre les utilisateurs de bois. Les disponibilités de bois pour l'industrie forestière déclineraient à court terme et les coûts des produits augmenteraient.
- **Accroître l'efficacité de l'utilisation du bois en améliorant la transformation et utiliser les résidus ligneux et le bois récupéré pour la production bioénergétique.** De très grandes quantités d'énergie pourraient être générées et les effets négatifs sur la foresterie et l'agriculture seraient minimes.

nue. Quelques pays ont établi des normes pour les appareils de combustion, mais leur efficacité pourrait être compromise par la faible qualité du combustible (bois humide, par exemple) et des techniques de combustion inefficaces. Comme l'augmentation de la combustion de la biomasse a des conséquences majeures, dont beaucoup sont interconnectées, une approche globale s'impose pour fixer les objectifs et définir les politiques de lutte contre les changements climatiques (CENUE/FAO, 2007). Il faut consacrer du temps et des efforts précieux à la collecte de combustible plutôt qu'à la poursuite d'entreprises plus rentables, et c'est pour ces raisons que le projet du Millénaire des Nations Unies se propose de réduire de moitié le nombre de ménages qui utilisent la biomasse traditionnelle pour la cuisson des aliments d'ici 2015.

Défrichement des forêts

Les besoins croissants de terre dus à l'augmentation de la production de biocombustibles liquides de la première génération accroîtront probablement la pression sur les forêts partout dans le monde. Dans de nombreux cas, les coûts d'opportunité seront trop élevés pour interdire la conversion des forêts aux utilisations foncières économiquement attractives qui se présenteraient si le développement des biocombustibles poursuit sa trajectoire récente. Cette situation encouragera le défrichement des forêts si les mesures prises pour les protéger et les gérer durablement s'avèrent inefficaces ou ne sont pas appliquées strictement.

Le défrichement des forêts provoquera la libération de carbone et des pertes de biodiversité. Sur les terres soumises à un régime de propriété traditionnel ou dans celles où les droits coutumiers ne sont pas entièrement reconnus, les droits de propriété risquent d'être ignorés. Le soja, la canne à sucre et le palmier à huile ont tous été associés à la déforestation, qui a contribué considérablement aux émissions de gaz à effet de serre dans les pays où la production de ces cultures a proliféré (GRAIN, 2007).

Des études récentes ont laissé entendre que les incitations économiques à produire davantage de biocombustibles encourageraient la conversion des forêts ou des pâturages, ce qui libérerait l'anhydride carbonique emmagasiné dans les plantes et les sols sous l'effet de la décomposition ou des incendies (Searchinger *et al.*, 2008). Dans le calcul des émissions de carbone produites par le développement des bioénergies, on ne peut ignorer l'importance de tenir compte des changements d'affectation des terres. Il a été estimé, par exemple, que si la forêt secondaire est remplacée par des plantations de palmiers à huile gérées durablement, il faudra compter de 50 à 100 ans pour réabsorber le carbone dégagé (Butler, 2007b).

De grandes superficies de forêt ombrophile ont été et sont encore défrichées en faveur de la plantation de palmiers à huile. À l'échelle mondiale, les plantations de palmiers à huile les plus importantes se situent en Indonésie et en Malaisie. Il a été estimé que de 17 à 27 pour cent environ de la déforestation en Indonésie seraient le fait de l'établissement de plantations de palmiers à huile, et en Malaisie ce chiffre atteindrait 80 pour cent. En Indonésie, 3,6 millions d'hectares sont occupés par des plantations de palmiers à huile et cette superficie augmente d'environ 13 pour

cent par an (FAO 2007c). En même temps, 1,8 million d'hectares en moyenne de forêts disparaissent annuellement – soit 2 pour cent du couvert forestier national. Cette situation a, non seulement causé la libération de fortes émissions d'anhydride carbonique dans l'atmosphère, mais a aussi aggravé les risques d'extinction de plusieurs espèces (CENUE/FAO, 2007).

Les émissions d'anhydride carbonique sont particulièrement importantes dans le cas des plantations de palmiers à huile établies sur des tourbières drainées et, d'après une étude réalisée par Hooijer *et al.* (2006), 27 pour cent de ces plantations sont situées précisément dans ces zones. Sur le volume total des émissions d'anhydride carbonique provenant des tourbières drainées d'Indonésie, 1 400 mégatonnes sont dégagées par les incendies des tourbières et 600 mégatonnes par la décomposition des tourbières drainées. Ces chiffres équivalraient à près de 8 pour cent environ des émissions mondiales issues de la combustion de combustibles fossiles, ce qui place l'Indonésie au troisième rang des pays émetteurs d'anhydride carbonique du monde, après les Etats-Unis et la Chine (Hooijer *et al.*, 2006). Quelques signes indiquent que les produits bioénergétiques dont certains sont destinés à l'exportation contribuent à cette tendance. Des quantités considérables d'huile de palme sont utilisées, par exemple, pour la production de biodiesel destiné en particulier à l'Europe (Carrere, 2001; Colchester *et al.*, 2006).

Une augmentation de l'utilisation de bioénergie dans les pays industrialisés pourrait avoir des conséquences diffuses dans le monde. À l'heure actuelle, il s'agirait surtout des biocombustibles liquides facilement transportables. L'avènement des biocombustibles cellulosiques liquides commercialisables pourrait pousser les pays riches en ressources forestières, où les principes de gestion durable ne sont pas respectés, à augmenter l'offre de matières premières bioénergétiques au détriment des forêts.

Les grandes superficies de forêts dégradées sont aussi des cibles probables pour l'extension des plantations bioénergétiques. Malgré leur état de dégradation, ces forêts sont encore riches en biodiversité et renferment de grandes quantités de carbone. En outre elles sont souvent d'importantes sources de vivres et de matériel de construction pour les populations locales. Reste à voir si ces zones pourraient être gérées durablement pour la production de multiples biens et services, y compris la bioénergie, même si les tendances actuelles ne sont guère prometteuses.

En 2007, l'Administration forestière publique de Chine a annoncé son intention d'établir deux sites de plantations de *Jatropha curcas* dans les provinces de Yunnan et de Sichuan pour la production de biocombustibles. Cet organisme a depuis déclaré qu'il entendait affecter plus de 13 millions d'hectares de terres boisées à la production de biocombustibles. Par ailleurs, le Département provincial des forêts du Yunnan envisage l'établissement de 1,3 million d'hectares de plantations d'ici 2015 en vue de produire quatre millions de tonnes de bioéthanol et 600 000 tonnes de biodiesel annuellement (Liu, 2007). Les autorités chinoises ont déclaré que ces plantations seront établies sur des terres forestières et agricoles dégradées qui, d'après les estimations, s'élèveraient à 4 millions d'hectares dans la province du Yunnan seulement. Dans le sud-est de la Chine sont présentes de nombreuses

zones forestières riches en biodiversité capables d'assurer la protection efficace des terres (Perley, 2008).

Les pays doivent évaluer avec attention les émissions de gaz à effet de serre et les autres effets sur l'environnement associés aux diverses options bioénergétiques avant de les mettre en œuvre et de les étudier sur une révolution complète, c'est-à-dire considérer toute la gamme des impacts sur l'environnement de cette production, y compris les changements d'affectation des terres. Le potentiel offert par les projets bioénergétiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre est reconnu. Ces projets sont bien représentés dans la filière mondiale actuelle du Mécanisme pour un développement propre du Protocole de Kyoto. Le Mécanisme ainsi que d'autres initiatives devrait aider à surmonter quelques-uns des obstacles financiers au développement des biocombustibles ayant une bonne efficacité carbone, mais des règlements et des procédures complexes limitent encore l'accès au Mécanisme des pays moins avancés (Peskett, 2007).

6. Options de politique et recommandations

La consommation mondiale d'énergie continuera à s'accroître. Malgré les préoccupations concernant les changements climatiques et la sécurité énergétique, les combustibles fossiles seront encore la principale source d'énergie à l'avenir. Dans le même temps, la montée des prix des combustibles encouragera les pays à accroître leur efficacité énergétique. Le passage graduel des combustibles fossiles à des combustibles de substitution pour la production d'électricité et pour les transports est déjà en cours. Les investissements de recherche-développement sur les bioénergies augmentent. Des technologies permettant la conversion à grande échelle de la cellulose en biocombustibles liquides devraient être bientôt disponibles à des prix économiquement attractifs, ce qui pourrait avoir un impact phénoménal sur la gestion future des forêts.

Les politiques et programmes visant à promouvoir le développement des bioénergies de substitution viennent à peine de faire leur apparition dans la plupart des pays, et ils sont presque tous axés sur les combustibles liquides, notamment pour le secteur des transports. Ces politiques et programmes tendent à avoir une portée limitée et à accorder plus d'attention aux mesures normatives qu'aux investissements dans d'autres domaines, tels que la recherche-développement, la libéralisation du marché, l'information et la formation. Jusqu'ici, les transferts de technologie et d'informations sur la bioénergie, des pays développés aux pays en développement, ont été relativement limités.

Plusieurs pays en développement disposent d'un énorme potentiel de forêts et d'arbres hors forêt à utiliser pour produire de la biomasse à des fins énergétiques, avec des investissements et des risques relativement faibles, mais ce potentiel n'est pas bien reflété dans les stratégies de développement énergétique nationales. La gestion forestière impropre et le manque d'une collecte efficace de données – due souvent aux opérations forestières illégales diffuses – empêchent, dans bien des cas, d'évaluer pleinement les potentialités économiques et sociales de la foresterie et de la production de dendroénergie. Une approche de la foresterie durable et transparente fournira de multiples avantages y compris la production améliorée d'énergie.¹

¹ Les recommandations comprises dans cette section proviennent dans une large mesure des événements et organisations suivants: Événement spécial de haut niveau sur les forêts et l'énergie de la FAO, Rome, 17–24 novembre 2007; Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT) Conférence internationale sur la dendroénergie, Hanovre, Allemagne, 17–19 mai, 2007; Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CENUE) Atelier sur la mobilisation des ressources en bois, Genève, 11–12 janvier 2007; et CENUE/FAO Policy Forum on Opportunities and Impacts of Bioenergy Policies and Targets on the Forest and Other Sectors, Genève, Suisse, 10 octobre 2007.

Les grands projets bioénergétiques ont besoin de vastes étendues de terres et peuvent avoir des effets négatifs sur la sécurité alimentaire, les structures sociales, la biodiversité, l'industrie du bois et la disponibilité de produits ligneux. Pour atténuer les impacts éventuels, les pays devront réglementer les utilisations des terres et tenir compte des intérêts nationaux et des autres politiques et assurer une gouvernance efficace. La participation des parties prenantes à la mise en œuvre de stratégies de développement des bioénergies est très importante pour équilibrer les avantages et les inconvénients économiques, sociaux et environnementaux.

Dans une stratégie nationale il est important d'étudier les gains d'efficacité énergie-carbone de la biomasse forestière et agricole, ainsi que la rentabilité et l'impact sur l'environnement. Les boisements peuvent aider à atténuer les changements climatiques, combattre l'érosion et régénérer les écosystèmes, notamment dans les zones dégradées, mais les plantations monospécifiques industrielles peuvent avoir des effets négatifs sur les sols et les ressources hydriques.

Comme les pays en développement ont généralement des ressources humaines et financières limitées, le développement bioénergétique devrait d'abord se faire sur la base des possibilités d'exploitation de la biomasse déjà disponible et de technologies éprouvées. Intégrer la production d'énergie dans les opérations forestières industrielles est un moyen compétitif de réduire les risques, d'accroître la rentabilité et d'améliorer la gestion forestière. Cela permet aussi de renforcer la sécurité énergétique et de contribuer à l'atténuation des changements climatiques, et devrait donc représenter un domaine de recherche prioritaire.

Tous les pays bénéficieraient d'une amélioration de l'information sur les matières premières ligneuses utilisables pour la production de dendroénergie, y compris la récupération de la biomasse provenant des opérations forestières et du commerce de la biomasse forestière. Il faudra plus de ressources pour évaluer le potentiel de développement des bioénergies et de la dendroénergie, notamment:

- évaluer le potentiel de biomasse forestière pouvant être affectée à la génération de différents produits énergétiques (chaleur, électricité, combustibles celluloseux liquides, par exemple);
- évaluer la contribution à la production dendroénergétique des forêts naturelles, de la biomasse ligneuse hors forêt, des plantations énergétiques, des résidus et des matières recyclées après consommation;
- déterminer les avantages et les inconvénients des différentes options d'utilisation des terres.

L'analyse traditionnelle de l'offre et de la demande de bois, centrée sur les extractions de biomasse de la forêt et les approvisionnements en bois des industries, n'est désormais plus suffisante. Dans les pays plus avancés, une approche plus moderne axée sur l'équilibre des ressources en bois serait probablement plus avantageuse. Dans la mesure du possible, la collecte de données devrait s'aligner sur des processus d'établissement des rapports actuels, tels que l'Évaluation des ressources forestières mondiales de la FAO.

Tous les pays ont besoin de définir des objectifs de politique forestière et énergétique nationale clairs qui reflètent les principes du développement durable

et de la gestion durable des forêts. Les objectifs devront tenir compte des impacts nationaux et internationaux ainsi que de ceux entre les secteurs économiques. Il faudra aussi évaluer attentivement les avantages et inconvénients de la dendroénergie, des agrocombustibles, des autres sources d'énergie et des différents systèmes d'utilisation des terres. Les éléments suivants devront être pris en considération lors de l'élaboration d'une politique dendroénergétique nationale:

- Considérer la bioénergie comme une question intersectorielle et intégrer l'énergie dans les politiques concernant la forêt, l'agriculture et les autres utilisations foncières.
- Organiser des consultations avec les communautés intéressées et effectuer l'analyse des impacts environnementaux, économiques et sociaux conformément aux conditions régionales, nationales et locales.
- Améliorer la communication des informations aux propriétaires forestiers, propriétaires terriens, grand public et consommateurs pour permettre la prise de décisions en connaissance de cause sur la gestion des ressources forestières.
- Accorder le maximum d'attention à l'emploi rural, à la protection de l'environnement, à la gestion de l'utilisation des terres, au secteur des produits forestiers et à d'autres domaines pertinents afin d'exploiter les synergies éventuelles et éviter les impacts négatifs.
- Fournir un soutien efficace au développement des bioénergies en tenant compte de l'éducation et de la formation, et de la recherche-développement, non seulement par des incitations destinées aux producteurs, aux distributeurs et aux consommateurs mais aussi par des mesures réglementant les transports et les infrastructures.
- Chercher à maintenir l'équilibre entre le secteur agricole et forestier, ainsi qu'entre les ressources en biomasse importées et intérieures. Il faudra aussi prendre des mesures visant à éviter la concurrence avec la production vivrière.
- Évaluer les impacts des politiques bioénergétiques sur les autres secteurs économiques afin d'éviter les distorsions entre l'offre et la demande.
- Vérifier que les stratégies et la législation étrangères au secteur forestier n'aient pas un effet négatif sur la mobilisation des ressources en bois pour la production bioénergétique.
- Surveiller régulièrement et systématiquement les politiques pour éviter les impacts nocifs sur l'environnement et les communautés rurales.
- Prendre des mesures visant à atténuer la destruction de ressources naturelles et en biodiversité de valeur élevée.

En ce qui concerne l'approvisionnement en bois et les industries forestières, les questions suivantes devront être prises en compte:

- mobilisation durable des ressources en bois en tenant compte des contraintes juridiques et institutionnelles existantes (régime de propriété des forêts, par exemple), de l'accès aux données, des infrastructures forestières et de la fixation de prix adéquats pour le bois;
- lois, règlements et politiques incitatifs et information et motivation pour les propriétaires forestiers, entrepreneurs et autres intervenants;

- gains d'efficacité grâce à une utilisation plus intensive des ressources forestières existantes, y compris le bois et les résidus forestiers et industriels non utilisés actuellement, la biomasse ligneuse provenant de sources autres que les forêts et les produits ligneux récupérés après consommation;
- expansion à long terme de la superficie des terres boisées et renforcement de la productivité des ressources forestières grâce à des innovations en matière sylvicole et génétique.

Le transfert de technologies énergétiques et dendroénergétiques efficaces aux pays en développement revêtira une importance considérable pour la réalisation des objectifs du développement énergétique, à savoir l'atténuation des changements climatiques. La situation actuelle est, pour le secteur forestier, une excellente occasion d'identifier de nouveaux rôles et de contribuer à la sécurité énergétique et à la lutte contre les changements climatiques en remplaçant les combustibles fossiles et en piégeant le carbone dans les forêts et les produits forestiers.

Glossaire

Il n'existe pas encore de terminologie internationale harmonisée pour la bioénergie. Dans cette publication les termes utilisés sont expliqués ci-dessous:

Agro-énergie

Énergie dérivée de cultures produites expressément à cet effet et de sous-produits agricoles et animaux, de résidus et de déchets.

Biocombustible

Tout combustible solide, liquide ou gazeux produit à partir de la biomasse.

Biocombustible liquide

Combustible d'origine biologique utilisé sous forme liquide, comme le biodiesel et le bioéthanol, tiré aujourd'hui principalement de cultures vivrières comprenant le palmier à huile, la canne à sucre, le maïs, le colza, le sorgho et le blé.

Biocombustibles de la deuxième génération

Combustibles produits à partir de matières cellulosiques, résidus agricoles et déchets agricoles et municipaux.

Biocombustibles de la première génération

Combustible produit à partir de cultures expressément établies.

Biodiesel

Biocombustible produit à partir de différentes matières premières dont les huiles végétales (comme le palmier à huile, les oléagineux, le colza, le pignon d'Inde et le soja), les graisses animales et les algues.

Bioénergie

Tous les types d'énergie tirés de biocombustibles, y compris la dendroénergie et l'agro-énergie.

Bioéthanol

Biocombustible extrait de plantes riches en sucre (comme la canne à sucre, le maïs, la betterave, le manioc, le blé, le sorgho) ou de l'amidon.

Biomasse

Matériel organique aérien ou souterrain, vivant ou mort, comme les arbres, les cultures, les graminées, la litière et les racines.

Biomasse forestière

Toute biomasse trouvée dans la forêt comprenant les arbres, les feuilles, les branches et les racines. Les types particuliers de biomasse destinés à être utilisés dans les systèmes énergétiques comprennent : les houppiers et les branches laissés sur place après les opérations d'exploitation forestière, les arbres de qualité médiocre dans les forêts gérées, les arbres extraits pendant les opérations de défrichage des terres, les déchets ligneux provenant de zones urbaines et les résidus ligneux produits par les scieries.

Biomasse ligneuse

Biomasse tirée de sources ligneuses forestières et non forestières.

Biomasse solide

Bois, déchets ligneux et autres rejets.

Biomasse traditionnelle

Combustibles ligneux, sous-produits agricoles et déjections animales servant à la cuisson des aliments ou au chauffage. Dans les pays en développement ils sont encore largement récoltés et utilisés de manière non durable et dangereuse. Ils sont généralement vendus sur le marché informel et ne sont pas commercialisés.

Bioraffineries

Une nouvelle génération de raffineries qui devraient produire non seulement de l'électricité et de la chaleur, mais aussi des combustibles pour les transports et des produits industriels.

Bois de feu

Bois non traité (comme les copeaux, la sciure de bois et les granulés) utilisé pour la production d'énergie.

Bois de sciage

Bois scié.

Bois de trituration

Bois utilisés dans la fabrication du papier.

Bois rond

Bois à l'état naturel tel qu'il est abattu, avec ou sans écorce.

Cellulose

Principal composant des végétaux contenu dans le bois en association avec l'hémicellulose et la lignine.

Combustible ligneux

Combustible tiré de sources ligneuses comprenant des solides (bois de feu et charbon de bois), des liquides (liqueur noire, méthanol et huile pyrolytique) et des gaz provenant de la gazéification de ces combustibles.

Combustible ligneux gazeux

Gaz produit par la gazéification de combustibles solides et liquides.

Combustible ligneux liquide

Liqueur noire et éthanol, méthanol et huile pyrolytique.

Combustible non renouvelable

Combustible tiré d'une ressource finie, destiné à s'amenuiser et à devenir trop coûteux ou dont la production a des effets trop nocifs sur l'environnement, comme les combustibles fossiles tirés du charbon, du pétrole et du gaz naturel, et l'énergie nucléaire.

Combustibles fossiles

Une source d'énergie non renouvelable produite par les restes d'organismes vivants qui se sont accumulés dans le sous-sol au cours de périodes géologiques sous forme liquide (pétrole), solide (charbon, tourbe) et gazeuse (gaz naturel).

Couvert forestier

Pourcentage de terre couvert de forêts dans une zone particulière.

Culture énergétique

Un végétal planté pour la production de biocombustibles, ou exploité directement pour sa teneur en énergie. Les cultures énergétiques commerciales sont des espèces normalement densément établies et à rendement élevé comme *Miscanthus*, *Salix* ou *Populus*.

Dendroénergie

Énergie tirée des combustibles ligneux, du charbon de bois, des résidus forestiers, de la liqueur noire ainsi que toute autre énergie dérivée des arbres.

Énergie renouvelable

Énergie produite à partir de sources renouvelables indéfiniment, telles que les sources hydroélectriques, solaires, géothermiques et éoliennes ainsi que la biomasse produite durablement.

Gaz à effet de serre

Éléments chimiques présents dans l'atmosphère qui interceptent les rayons du soleil et la chaleur.

Gaz de synthèse

Ou gaz synthétique. Un mélange d'anhydride carbonique et d'hydrogène provenant de la gazéification à température élevée de matières organiques comme la biomasse. Après dépuration il peut être utilisé pour synthétiser les molécules organiques comme le gaz naturel synthétique ou les biocombustibles liquides.

Granulés de bois

Particules de bois utilisées pour la production d'énergie, fabriquées à partir de bois séché, broyé et pressé.

Liqueur noire

Un combustible ligneux liquide, sous-produit de l'industrie de la pâte.

Matières premières

Toute biomasse destinée à la conversion en énergie ou biocombustible. Le blé, par exemple, est la matière première pour la production d'éthanol et l'huile de soja pour la production de biodiesel. La biomasse cellulosique peut devenir une importante source de matière première pour la production de biocombustibles.

Matières premières de la dendroénergie

Bois et biomasse récupérés provenant des forêts et des arbres et utilisés pour la production de combustible.

Pignon d'Inde

Jatropha curcas, en particulier, un arbuste sempervirent présent en Asie, en Afrique et dans les Antilles. Ses graines non comestibles contiennent une proportion élevée d'huile qui peut être utilisée pour produire du biodiesel.

Pyrolyse

La décomposition chimique de matériels organiques par la chaleur en l'absence d'oxygène, une méthode de conversion de la biomasse en biodiesel.

Résidus ligneux

Bois laissé dans la forêt après l'exploitation forestière et sous-produits ligneux de la transformation du bois comme copeaux, dosses, délignures, sciure de bois, et rognures de bois.

Sous-produits municipaux

Déchets comme les boues d'épuration et les gaz d'enfouissement, ainsi que les déchets municipaux solides.

Références

- Abe, H., Katayama, A., Sah, B.P., Toriu, T., Samy, S., Pheach, P., Adams, M.A. et Grierson, P.F.** 2007. Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia. *Biomass and Bioenergy*, 31(9): 656–664.
- Aglionby, J.** 2008. Indonesia faces dispute over biofuels fields. *Financial Times*, 11 février. Disponible à l'adresse: www.ft.com/cms/s/0/aea8136e-d8b1-11dc-8b22-0000779fd2ac.html
- AIE (Agence internationale de l'énergie).** 2003. *Background paper: coal industry advisory board meeting with IEA Governing Board*, 10 décembre. Paris, France. Disponible à l'adresse: www.iea.org/textbase/papers/2003/ciab_demand.pdf
- AIE.** 2004. *World Energy Outlook 2004*. Paris, France.
- AIE.** 2006. *World Energy Outlook 2006*. Paris, France.
- AIE.** 2007a. *Renewables in global energy supply*. Paris, France. Disponible à l'adresse: www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf
- AIE.** 2007b. *World Energy Outlook 2007*. Paris, France.
- Biofuelwatch.** 2007. *Agrofuels: towards a reality check in nine key areas*. Disponible à l'adresse: www.biofuelwatch.org.uk/docs/agrofuels_reality_check.pdf
- Bowyer, J.L. et Stockmann, V.E.** 2001. Agricultural residues: An exciting bio-based raw material for the global panels industry. *Forest Products Journal*, 51(1): 10–21.
- Broadhead, J.S., Bahdon, J. et Whiteman, A.** 2001. *Past trends and future prospects for the utilisation of wood for energy*. Global Forest Products Outlook Study Working Paper No. 5. FAO, Rome.
- Butler, R.A.** 2007a. Is peat swamp worth more than palm oil plantations? *Jakarta Post*, 22 août. Disponible à l'adresse: news.mongabay.com/2007/0717-indonesia.html
- Butler, R.A.** 2007b. *Indonesian palm oil industry tries disinformation campaign*. 8 novembre. Disponible à l'adresse: news.mongabay.com/2007/1108-palm_oil.html
- Carrere, R.** 2001. Oil-palm: the expansion of another destructive monoculture. In *The bitter fruit of oil-palm: dispossession and deforestation*. Londres, Royaume-Uni, World Rainforest Movement.
- CENUE (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe).** 2007. Timber Committee price database. Genève, Suisse. Disponible à l'adresse: www.unece.org/trade/timber/mis/fp-stats.htm
- CENUE/FAO.** 2006. *Forest Products Annual Market Review, 2005–2006*. Genève, Suisse. Disponible à l'adresse: www.unece.org/trade/timber/docs/fpama/2006/fpamr2006.htm
- CENUE/FAO.** 2007. *Forest Products Annual Market Review, 2006–2007*. Genève, Suisse. Disponible à l'adresse: www.unece.org/trade/timber/docs/fpama/2007/fpamr2007.htm
- Colchester, M., Jiwan, N., Andiko, Sirait, M., Firdaus, A.Y., Surambo, A. et Pane, H.** 2006. *Promised land: palm oil and land acquisition in Indonesia – implications for local communities and indigenous peoples*. Forest Peoples Programme, Sawit Watch,

- HuMA and the World Agroforestry Centre. Disponible à l'adresse: www.forestpeoples.org/documents/prv_sector/oil_palm/promised_land_eng.pdf
- EIA (Energy Information Administration).** 2007. *International Energy Outlook 2007*. Washington, DC, E.-U.A. Disponible à l'adresse: www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html
- EIA.** 2008. *Petroleum Navigator*. Washington, DC, E.-U.A. Disponible à l'adresse: tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm
- Faaij, A.P.C.** 2003. Bioenergy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34(3): 322–342.
- FAO.** 1997. *FAO provisional outlook for global forest products consumption, production and trade to 2010*. Rome.
- FAO.** 2000. *The energy and agriculture nexus*. Environment and Natural Resources Working Paper No. 4. Rome.
- FAO.** 2004. *Unified bioenergy terminology*. Disponible à l'adresse: www.fao.org/DOCREP/007/j4504E/j4504e00.htm#TopOfPage
- FAO.** 2006a. *Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: a longer-term perspective*, by J. Schmidhuber. Préparé pour le colloque international: Notre Europe, Paris, 27–29 novembre 2006. Disponible à l'adresse: <http://www.fao.org/es/esd/BiomassNotreEurope.pdf>
- FAO.** 2006b. *Gestion responsable des forêts plantées: directives volontaires*. Document de travail sur les forêts et les arbres plantés 37/F. Rome.
- FAO.** 2007a. Page d'accueil de la bioénergie. Rome, Département de la gestion des ressources naturelles et de l'environnement. Disponible à l'adresse: www.fao.org/nr/ben/ben_fr.htm
- FAO.** 2007b. *Situation des forêts du monde*. Rome. Disponible à l'adresse: www.fao.org/forestry/sofo
- FAO.** 2007c. Base de données FAOSTAT. Rome. Disponible à l'adresse: faostat.fao.org
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. et Hawthorne, P.** 2008. *Land Clearing and Biofuel Carbon Debt*, Scienceexpress. Disponible à l'adresse: www.sciencexpress.org
- Fresco, L.O.** 2006. *Biomass for food or fuel: Is there a dilemma?* Amsterdam, Pays-Bas, Université d'Amsterdam.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2007. *Climate change 2007 – the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press. Disponible à: www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm
- Global Insight.** 2007. *The biofuels boom: A multi-client study*. Waltham, Massachusetts, E.-U.A.
- GRAIN.** 2007. The new scramble for Africa. *Seedling*, Agrofuels special issue. Barcelone, Espagne.
- Hillring, B.** 1997. Price trends in the Swedish wood-fuel market. *Biomass Bioenergy*, 12(1): 41–51.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. et Page, S.** 2006. *Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in South-east Asia*. Delft Hydraulics report Q3943. Delft, Pays-Bas, Delft Hydraulics.

- IATP (Institute for Agriculture and Trade Policy)**. 2007. *Patents: taken for granted in plans for a global biofuels market*. Minneapolis, Minnesota, E.-U.A. Disponible à l'adresse: www.iatp.org/iatp/publications.cfm?refid=100449
- IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal)**. 1979. *Sumário da viabilidade econômica-financeira da produção de etanol à partir da madeira*. Brasília, Brésil.
- Karlsson, Å. et Gustavsson, L.** 2003. External costs and taxes in heat supply systems. *Energy Policy*, 31: 1541–1560.
- Knoef, H. A. M.** 2000. The UNDP/World Bank monitoring program on small scale biomass gasifiers (BTG's experience on tar measurements). *Biomass & Bioenergy*, 18(1): 39–54.
- Liu, Y.** 2007 *Chinese biofuels expansion threatens ecological disaster*. Washington, DC, E.-U.A., Worldwatch Institute. Disponible à l'adresse: www.worldwatch.org/node/4959
- Lugo, A.E., Brown, S. et Chapman, J.** 1988. An analytical review of production rates and stemwood biomass of tropical forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 23(2–3): 179–200.
- Mabee, W.E. et Roy, D.N.** 2001. Fuelwood – an overview. In *A compendium of plant and animal life-cycle and their impact on the environment*, Vol. 2, pp. 310–317. Calcutta, Inde, Srebhumi Publishing Company.
- Mabee, W.E. et Saddler, J.N.** 2007. *Forests and energy in OECD countries*. Forests and Energy Working Paper No. 1. Rome, FAO. Disponible à l'adresse: www.fao.org/forestry/energy
- NAS (National Academy of Science)**. 1980. *Firewood crops: shrub and tree species for energy production*. Washington, DC, E.-U.A. Inédit.
- NRDC (Natural Resources Defense Council)**. 2006. *Ethanol: energy well spent – a survey of studies published since 1990*. New York, E.-U.A. NRDC and Climate Solutions. Disponible à l'adresse: www.nrdc.org/air/transportation/ethanol/ethanol.pdf
- OMS (Organisation mondiale de la santé) Europe**. 2006. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Danemark, WHO Regional Office for Europe. Disponible à l'adresse: www.euro.who.int/document/E88189.pdf
- Perley, C.** 2008. *The status and prospects for forestry as a source of bioenergy in Asia and the Pacific*. Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.
- Peskett, L., Slater, R., Stevens, C. et Dufey, A.** 2007. Biofuels, Agriculture and poverty reduction. *Natural Resource Perspectives 107*. Londres, Royaume-Uni, Overseas Development Institute. Disponible à: www.odi.org.uk/Publications/nrp/NRP107.pdf
- Prasad, B.** 2007. *Role of Indian agricultural cooperatives in development for biofuels*. Rapport présenté à l'atelier régional FAO/Réseau régional pour le développement des coopératives *Role of Agricultural Cooperatives in Bio-Fuel Development at Community-Level for Rural Food and Livelihood Security*, Bangkok, Thaïlande, 4–7 juillet.

- OIBT (Organisation internationale des bois tropicaux).** 2002. *ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests*. ITTO Policy Development Series No. 13. Yokohama, Japon.
- OIBT.** 2005. *Increase in efficiency in conversion of tropical timber and utilization of residues from sustainable sources*. PD 61/99 rev. 4(I). Yokohama, Japon.
- OMC (Organisation mondiale du commerce).** 2004. *International trade statistics*. Genève, Suisse.
- Risø – National Laboratory for Sustainable Energy.** 2003. *Risø energy report 2*. Roskilde, Danemark, Risø Technical University of Denmark.
- Rosegrant, M.W., Msangi, S., Sulser, T. et Valmonte-Santos, R.** 2006. Biofuels and the global food balance. In P. Hazell & R.K. Pachauri, eds. *Bioenergy and agriculture: promises and challenges*. 2020 Focus No. 14. Washington, DC, E.-U.A., Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).
- Rosegrant, M.W., Ringler, C., Msangi, S., Cline, S.A. et Sulser, T.B.** 2005. International model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT-WATER): Model description. Washington, DC, E.-U.A., IFPRI.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa J., Tokgoz, S., Hayes, D. et Yu, T.H.** 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science*, 319: 1238-1240.
- Spitzer, J. et Jungmeier, G.** 2006. *Greenhouse gas emissions of bioenergy systems*. Présenté à la conférence européenne sur la recherche bioénergétique, Helsinki, Finlande, 19–20 octobre.
- STCP Data Bank.** 1983–. STCP Engenharia de Projetos Data Bank. Curitiba, Brésil.
- Steierer, F., Fischer-Ankern, A., Francoeur, M., Wall, J. et Prins, K.** 2007. *Wood energy in Europe and North America: a new estimate of volumes and flows*. Genève, Suisse, CENUE/FAO, 6 février. Disponible à l'adresse: www.unece.org/trade/timber/docs/stats-sessions/stats-29/english/report-conclusions-2007-03.pdf
- Tomaselli, I.** 1982. Liquidification of wood. In W.R. Smith, ed. *Energy from forest biomass*. Proceedings of the XVII IUFRO World Congress Energy Group. New York, E.-U.A., Academic Press.
- Tomaselli, I.** 2007. *Forests and energy in developing countries*. Rome, FAO.
- Trømborg, E., Buongiorno, J. et Solberg, B.** 2000. The global timber market: implications of changes in economic growth, timber supply, and technological trends. *Forest Policy and Economics*, 1(1): 53–69.
- UN-Energy.** 2007. *Sustainable bioenergy: a framework for decision makers*. Disponible à l'adresse: www.fao.org/docrep/010/a1094e/a1094e00.htm
- Union européenne.** 2007. *Promoting biofuels as credible alternatives to oil in transport*. Communiqué de presse, 10 janvier, Bruxelles, Belgique. Disponible à l'adresse: europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/5
- US Department of Energy.** 2008. *U.S. department of energy selects first round of small-scale biorefinery projects for up to \$114 million in federal funding*. Communiqué de presse. Disponible à l'adresse: www.energy.gov/news/5903.htm

- Wolf, M.** 2007. Biofuels: a tale of special interests and subsidies. *Financial Times*, 30 octobre. Disponible à l'adresse: www.ft.com/cms/s/0/40a71f96-8702-11dc-a3ff-0000779fd2ac.html?nckick_check=1
- Worldwatch Institute.** 2007. *Biofuels for transport: global potential and implications for sustainable energy and agriculture*. Londres, Royaume-Uni, Earthscan.
- Wu, C. Z., Huang, H., Zheng, S. P. & Yin, X. L.** 2002. An economic analysis of biomass gasification and power generation in China. *Bioresource Technology*, 83(1): 65-70.

Les forêts et l'énergie

Questions principales

L'augmentation spectaculaire de la consommation d'énergie et la flambée des prix des combustibles fossiles, les émissions croissantes de gaz à effet de serre et les inquiétudes concernant la dépendance vis-à-vis des produits énergétiques importés stimulent la recherche de sources d'énergie autres que les combustibles fossiles. Les biocombustibles représentent, à l'heure actuelle, la principale source d'énergie renouvelable produite sur la terre. Comme la biomasse, le bois assure des niveaux très élevés de rendement énergie-carbone. La présente publication analyse le rapport entre les forêts et l'énergie. Elle examine la contribution actuelle et future du bois à la production de bioénergie ainsi que les effets du développement des cultures fournissant des biocombustibles liquides sur les forêts. La publication commence par un aperçu de la demande et de l'offre mondiales d'énergie et présente des projections à l'horizon 2030. La contribution de la dendroénergie est ensuite analysée dans le cadre d'un débat général sur les variétés de cultures bioénergétiques et leur emploi dans la production de biocombustibles de première et deuxième générations. L'analyse évalue les gains obtenus par la création de différentes sources de bioénergie et les dangers de la conversion des terres. Elle étudie aussi les forces du marché et les innovations technologiques appliquées actuellement à la production de dendroénergie. Elle présente les politiques et recommandations formulées pour le développement de la bioénergie, en soulignant l'importance de la planification et de la surveillance intégrées de l'utilisation des terres, et du transfert des nouvelles technologies en matière de dendroénergie aux pays en développement. La présente publication servira tant aux spécialistes qu'au grand public intéressé à en savoir davantage sur le rôle des forêts dans la production d'énergie.

ISBN 92-5-205985-1

ISSN 1014-2894



TC/M/10139F/1/05.08/800