



Conseil économique  
et social

Distr.  
GÉNÉRALE

E/C.13/1996/4  
4 avril 1996  
FRANÇAIS  
ORIGINAL : ANGLAIS

---

COMITÉ DES SOURCES D'ÉNERGIE NOUVELLES  
ET RENOUELABLES ET DE L'ÉNERGIE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT  
Deuxième session  
12-23 février 1996

Sources d'énergie renouvelables et en particulier la biomasse :  
progrès et politiques

Rapport du Secrétaire général\*

RÉSUMÉ

L'énergie de la biomasse (ou bioénergie) suscite un regain d'intérêt qui s'explique par la prise en compte de son rôle actuel et de ses potentialités en tant que combustible moderne largement disponible, d'utilisation variée et durable, qui a des effets bénéfiques sur l'environnement local et mondial tout en favorisant le développement et en offrant des possibilités d'investissement. De plus, d'importants progrès techniques ont été enregistrés récemment dans différents domaines de ce secteur. Toutefois, en dépit de tous ces avantages, le développement de la bioénergie est entravé par un certain nombre de contraintes d'ordre économique, institutionnel et technique. En dépit de son importance pour de nombreux pays tant du point de vue socio-économique qu'énergétique, on ne lui affecte que peu de ressources.

La biomasse constitue un énorme potentiel inexploité que l'on pourrait mettre en valeur en utilisant mieux les ressources disponibles comme les forêts et autres ressources telluriques, en augmentant la productivité des centrales et en utilisant des procédés de conversion efficaces grâce aux techniques de pointe. Ainsi, la biomasse pourrait fournir davantage d'énergie utile à moindre coût. Il est tout à fait possible de moderniser

---

\* Initialement présenté au Comité sous la cote E/C.13/1996/CRP.1.

les biocarburants pour en faire des sources d'énergie commodes et moins polluantes telles que l'électricité, les gaz et les carburants pour véhicules, parallèlement aux utilisations traditionnelles de la biomasse. Lorsqu'elle est produite de manière efficace et viable, l'énergie de la biomasse présente de nombreux avantages sociaux et écologiques : création d'emplois, utilisation des terres agricoles inexploitées dans les pays industrialisés, fourniture de sources d'énergie modernes aux communautés rurales des pays en développement, amélioration de l'aménagement du territoire et réduction des émissions de gaz carbonique et de soufre dans l'atmosphère.

La plupart des techniques de production d'énergie à partir de la biomasse n'ont pas encore atteint le stade de compétitivité permettant aux seules forces du marché d'en amener l'adoption. Leur coût est variable et dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment les matières premières, les méthodes de gestion, le type de technique utilisé et les considérations écologiques. La commercialisation des techniques de production d'énergies renouvelables, en particulier la bioénergie, se heurte notamment au fait que le marché actuel de l'énergie ne tient guère compte des coûts sociaux et écologiques ni des risques liés à l'utilisation des combustibles classiques, aux subventions déguisées, au coût à long terme de l'épuisement des ressources non renouvelables ainsi qu'aux approvisionnements auprès de sources extérieures. Toutefois, les pressions croissantes sur l'environnement, les progrès techniques et l'amélioration du rendement et de la productivité font que l'énergie de la biomasse suscite un intérêt économique accru dans de nombreuses régions du monde. Grâce aux progrès techniques, de nouveaux débouchés s'ouvrent pour la bioénergie qu'on considérait encore, il y a à peine quelques années, comme une perspective à long terme. Parmi les techniques nouvelles figurent notamment : les turbines à vapeur avec cogénération; la combustion simultanée avec les combustibles fossiles; les gazogènes intégrés; les turbines alimentées par des biocombustibles bruts; la production de méthanol et d'hydrogène à partir de la biomasse; les piles à combustible pour véhicules, etc. La demande d'énergie continuera de croître en fonction de la population, de la croissance économique et des progrès technologiques. La bioénergie, aussi bien dans ses formes classiques que modernes, peut contribuer dans une très grande mesure à assurer un approvisionnement durable, à favoriser le développement socio-économique et à dépolluer l'environnement à condition qu'elle ne soit plus considérée comme le "combustible du pauvre".

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Paragraphe</u> s	<u>Page</u>
INTRODUCTION . . . . .	1	6
I. GÉNÉRALITÉS . . . . .	2 - 4	6
II. LE POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DES RESSOURCES DE LA BIOMASSE . . . . .	5 - 17	7
A. Historique . . . . .	5 - 10	7
B. Les potentialités actuelles . . . . .	11 - 12	9
C. Les perspectives d'avenir . . . . .	13 - 17	10
III. LES RÉPERCUSSIONS ÉCOLOGIQUES ET SOCIALES . . . . .	18 - 35	12
A. Les répercussions écologiques . . . . .	18 - 27	12
1. Le rôle de la biomasse dans l'atténuation de la production de gaz à effet de serre (utilisation des forêts) . . . . .	19 - 23	12
2. Le piégeage du carbone comparé au remplacement des combustibles fossiles . . . . .	24	14
3. Estimations des coûts de la réduction des émissions de gaz carbonique . . . . .	25	15
4. Les problèmes écologiques associés à l'afforestation . . . . .	26 - 27	15
B. Les effets sociaux . . . . .	28 - 35	17
1. L'utilisation des sols et les ressources en terres disponibles . . . . .	29 - 30	17
2. L'impact sur la production alimentaire : cultures vivrières contre combustibles . . . . .	31 - 33	18
3. La création d'emplois . . . . .	34 - 35	19

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Paragraphe</u> s	<u>Page</u>
IV. L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES ET LA BIOÉNERGIE MODERNE	36 - 65	20
A. L'évolution des techniques . . . . .	36 - 45	20
1. La combustion/gazéification directe de la biomasse en vue de produire de la chaleur, de la vapeur et de l'électricité . . . . .	37 - 40	20
2. La production de combustibles liquides . . .	41	22
3. La production de charbon de bois . . . . .	42	23
4. La conversion thermochimique de la biomasse	43	23
5. La digestion anaérobie des résidus de biomasse, des déchets et des déjections animales . . . . .	44	23
6. L'évolution des politiques en matière de technologie . . . . .	45	23
B. Les utilisations modernes . . . . .	46 - 65	24
1. Dans les pays en développement . . . . .	46 - 47	24
2. Dans les pays industrialisés . . . . .	48 - 53	24
3. Le briquetage . . . . .	54	25
4. Les combustibles liquides . . . . .	55 - 61	26
5. Le biogaz . . . . .	62 - 65	28
V. BILAN ÉCONOMIQUE ET COÛTS DE L'OPTION BIOMASSE . . .	66 - 86	29
A. La production de biomasse . . . . .	69 - 73	30
B. L'énergie électrique et thermique . . . . .	74 - 76	31
C. Les combustibles liquides et gazeux . . . . .	77 - 80	32
D. Comparaison des coûts de la biomasse calculée au moyen d'une méthode unique . . . . .	81	33
E. Les coûts externes . . . . .	82 - 85	33
F. Résumé . . . . .	86	35

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Paragraphes</u>	<u>Page</u>
VI. IMPÉRATIFS ET INCIDENCES DES POLITIQUES EN MATIÈRE DE BIOÉNERGIE . . . . .	87 - 100	35
A. Les incitations financières . . . . .	90 - 91	36
B. Les tendances futures en matière d'énergie . . .	92 - 98	37
1. L'énergie en général . . . . .	93	37
2. La bioénergie . . . . .	94	38
3. Les biocombustibles . . . . .	95 - 98	38
C. Les principales lacunes de la recherche . . . .	99 - 100	39
VII. CONCLUSIONS . . . . .	101 - 112	40
VIII. RECOMMANDATIONS . . . . .	113	43

## INTRODUCTION

1. À sa première session (7-18 février 1994), le Comité des sources d'énergie nouvelles et renouvelables et de l'énergie pour le développement a demandé au Secrétaire général d'établir un rapport sur les sources d'énergie renouvelables : progrès, politiques et coordination<sup>1</sup>. À sa session extraordinaire, le Comité a modifié le sujet du document, pour en faire un rapport sur les sources d'énergie renouvelables et en particulier la biomasse : progrès et politique<sup>2</sup>. Le Conseil économique et social, par sa décision 1995/240, a approuvé cette modification à sa session de fond de juillet 1995. Le présent rapport, établi à la demande du Comité, se fonde sur une étude approfondie commanditée par le Secrétariat<sup>3</sup>.

### I. GÉNÉRALITÉS

2. L'intérêt croissant que suscite, à travers le monde, la bioénergie en tant que vecteur énergétique moderne est dû aux facteurs suivants :

a) Prise de conscience de ses énormes potentialités; prise en compte de la nécessité de fournir une source d'énergie moderne à un prix abordable, notamment pour les pauvres des zones rurales et urbaines; effets des progrès techniques considérables enregistrés au cours des 10 dernières années, notamment dans le monde industrialisé; possibilité de transformer la biomasse en sources d'énergie commodes et "modernes" comme l'électricité et les combustibles liquides et gazeux, ce qui pourrait contribuer à stimuler l'industrialisation rurale et à limiter la migration vers les zones urbaines; et, enfin, reconnaissance des possibilités qu'offre l'énergie de la biomasse de diversifier les sources d'énergie et de stimuler la compétitivité;

b) Prise de conscience de l'impact sur l'environnement de l'utilisation des combustibles fossiles d'une part, et des effets bénéfiques pour l'environnement local et mondial de la bioénergie, de l'autre;

c) Prise de conscience accrue des avantages économiques potentiels de l'utilisation de la biomasse au niveau local et du fait que les installations techniques pour la production de ce type d'énergie sont relativement petites et adaptables par rapport à la plupart des systèmes actuels, ce qui permet d'accélérer le rythme de développement des bioénergies lorsque les conditions favorables sont réunies; création d'emplois (au Brésil, le secteur bioénergétique moderne emploie près d'un million de personnes);

d) Avantages économiques évidents en dépit de la baisse des prix du pétrole qui s'expliquent par le souci de préserver l'environnement, la viabilité, les progrès techniques, l'accroissement de la demande d'énergie, etc.;

e) Possibilité de réduire les subventions publiques aux agriculteurs grâce à la production économiquement rentable de biomasse sur les terres inexploitées et intérêt croissant des exploitants pour la production de nouvelles cultures, en plus des cultures vivrières, et pour les nouveaux débouchés offerts aux cultures traditionnelles, en raison des contraintes liées aux questions d'environnement et de viabilité.

3. Toutefois, en dépit de l'intérêt qu'elle suscite, la bioénergie se heurte encore à certaines contraintes, notamment :

- a) L'insuffisance de l'appui politique, financier et institutionnel;
- b) Le manque de fonds pour les activités de recherche-développement et démonstration, notamment dans les pays en développement;
- c) Le fait que l'analyse économique ne tient pas compte des coûts externes et des avantages non monétaires de l'énergie de la biomasse par rapport aux sources d'énergie classiques;
- d) La baisse des cours du pétrole;
- e) Le caractère varié et parfois imprévisible des sources d'énergie de la biomasse et de leurs utilisations;
- f) La crainte de voir les cultures énergétiques concurrencer la production alimentaire.

Autre obstacle de taille, les sources d'énergie de la biomasse, notamment le bois de feu, sont toujours disponibles gratuitement ou presque, en particulier dans les pays en développement, ce qui explique le peu d'empressement à améliorer le rendement énergétique ou à rechercher de nouvelles sources d'énergie, à moins que leur prix de revient ne soit compétitif. C'est pourquoi l'amélioration du rendement énergétique de la biomasse n'a pas toujours été une priorité, contrairement à d'autres facteurs secondaires, la commodité par exemple.

4. On ne peut évaluer avec certitude le rôle que joue l'énergie de la biomasse en raison du manque de données fiables sur son utilisation aux niveaux national, régional et mondial. Selon les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 6 % de l'énergie produite dans le monde provient de la biomasse, mais, selon d'autres estimations, ce taux se situe à 14 % [soit l'équivalent de 55 exajoules (EJ)]. C'est pour cela que les planificateurs du secteur de l'énergie ont négligé la bioénergie, ce qui risque de pénaliser certains pays qui pourraient satisfaire entre 80 et 90 % de leur besoins énergétiques en utilisant la biomasse.

## II. LE POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DES RESSOURCES DE LA BIOMASSE

### A. Historique

5. L'utilisation de la biomasse peut être classée en quatre catégories :

- a) Besoins primaires (aliments, fibres, etc.);
- b) Énergie (domestique et industrielle);
- c) Matériaux (pour construction, etc.);

d) Utilisations écologiques et culturelles (différentes utilisations du feu, etc.).

L'utilisation de la biomasse a considérablement évolué au cours des siècles en fonction de l'importance de la population et de la disponibilité des ressources.

6. Le bois et le charbon de bois ont assuré le développement industriel de l'Europe pratiquement jusqu'à la fin du XIXe siècle. Aux États-Unis, les forêts ont joué un rôle prépondérant dans le développement socio-économique du pays. À partir du XVIIe siècle et jusqu'au début du XXe, le bois était considéré par les Américains comme la matière première la plus précieuse. Aujourd'hui encore, les ressources de la biomasse sont utilisées par de nombreuses industries de biens et services à travers le monde (briqueteries et tuileries, sidérurgie, métallurgie et tissage, transformation de produits alimentaires et restaurants). C'est ainsi qu'en Inde, par exemple, près de 50 % de la production industrielle en zone rurale est alimentée par la biomasse. En République-Unie de Tanzanie, plus de 2 millions de tonnes de bois de feu ont été consommées par ces industries en 1992. La plupart des industries rurales continueront à utiliser la biomasse comme principale source d'énergie à court et à moyen terme. Toutefois, les techniques utilisées sont généralement grosses consommatrices d'énergie.

7. L'utilisation de l'énergie de la biomasse, notamment sous ses formes traditionnelles, est difficile à quantifier, ce qui crée de nouveaux problèmes. Il y a à cela deux raisons principales : premièrement, la biomasse est généralement considérée comme un combustible de second ordre réservé aux pauvres, de sorte qu'elle ne figure pas dans les statistiques officielles – et quand on la mentionne, on en dénigre l'importance. Les utilisations traditionnelles de la biomasse (bois de feu, charbon de bois, déjections animales et résidus des récoltes) sont liées à tort aux problèmes de déforestation et de désertification. Ainsi, en Zambie, la région du centre qui fournit l'essentiel de la production de charbon de bois du pays ne présente aucun signe de dégradation des sols du fait du déboisement découlant du ramassage de bois de feu, que ce soit pour le chauffage ou la fabrication de charbon. Deuxièmement, la biomasse étant une source d'énergie éparsée et mal utilisée, elle est très peu rentabilisée. Ainsi, le charbon de bois, qui est un combustible dominant dans de nombreux pays en développement, donne des rendements très faibles qui se situent autour de 12 % du poids anhydre en Zambie et de 8 à 10 % au Rwanda. Il est toutefois possible d'accroître la productivité comme ce fut le cas au Brésil où les meilleurs fours produisent un rendement d'environ 35 %.

8. Les vecteurs modernes de la bioénergie se distinguent des techniques traditionnelles par leur capacité à produire une énergie à la fois propre, commode et à fort rendement grâce à l'utilisation des techniques modernes, souvent parallèlement à une activité principale, comme la production d'électricité à partir de la bagasse de canne à sucre, des déchets forestiers ou des résidus de bois utilisés dans l'industrie de la pulpe de papier. Ainsi, aux États-Unis par exemple, la plupart des installations de production d'énergie de la biomasse se composent de systèmes de production d'électricité et de cogénération indépendants (d'une capacité de 10 à 25 MW) dont beaucoup sont situés près des usines de pulpe de papier et de papier où les résidus sont



abondants. On estime que d'ici à l'an 2020, entre 5 et 10 % de l'électricité des États-Unis sera produite par ce type de centrales. En revanche, la bioénergie traditionnelle est le plus souvent utilisée à petite échelle dans le cadre d'une économie locale non structurée et non monétaire.

9. La biomasse, qui jusqu'à présent était quelque peu dévalorisée, commence à susciter un regain d'intérêt pour trois raisons principales :

a) Des efforts considérables ont été déployés au cours des dernières années pour présenter une image plus rationnelle et plus réaliste de l'exploitation de la biomasse et de ses potentialités à travers des études, des démonstrations et des installations pilotes;

b) La biomasse est de plus en plus utilisée comme vecteur énergétique moderne, notamment dans les pays industrialisés;

c) Prise de conscience croissante des effets bénéfiques de la biomasse sur l'environnement local et mondial ainsi que de la nécessité de prendre des mesures pour limiter les émissions de gaz carbonique et de soufre.

10. Contrairement aux idées répandues, le taux d'utilisation de la biomasse est resté constant ou a augmenté avec l'accroissement de la population, de l'urbanisation et de l'amélioration du niveau de vie. Ainsi, plus le niveau de vie augmente, plus la population des zones rurales et urbaines des pays en développement utilise les différentes ressources de la biomasse (charbon de bois, matériaux de construction, industrie artisanale, etc.). On voit donc que l'urbanisation n'a pas nécessairement pour corollaire l'utilisation systématique des combustibles fossiles. C'est ainsi que dans les districts de Thazi et de Meiktila, au Myanmar, la croissance démographique et la prospérité des industries artisanales ont eu pour effet d'augmenter substantiellement la consommation de bois de feu au cours des dernières années. De même, en Zambie et au Rwanda, l'urbanisation a renforcé la consommation du bois de chauffage sous forme de charbon. À Madagascar, on a constaté que malgré l'amélioration de leur niveau de vie, les citadins continuent d'utiliser le bois de feu et le charbon.

#### B. Les potentialités actuelles

11. La biomasse constitue la source de combustible renouvelable la plus importante et la plus durable du monde avec un potentiel de production annuelle primaire de l'ordre de 220 milliards de tonnes anhydres (environ 4 500 EJ). La quantité d'énergie produite annuellement par photosynthèse est de 8 à 10 fois supérieure à la quantité totale d'énergie utilisée actuellement dans le monde. Il ne s'agit donc pas d'un problème de disponibilité; il s'agit plutôt d'assurer une gestion durable et d'acheminer l'énergie vers ceux qui en ont besoin. Dans la pratique, en raison de diverses contraintes d'ordre économique et écologique, seuls quelques produits de la biomasse peuvent être sérieusement considérés comme des sources potentielles d'énergie. Ainsi, les résidus de la sylviculture et de l'agriculture ont une valeur inestimable en tant que source d'énergie immédiatement disponible et relativement peu coûteuse qui peut fournir la matière première nécessaire aux nouvelles industries de la bioénergie. L'exploitation de ces résidus, qui est une méthode écologiquement rationnelle

/...

dans la mesure où elle permet d'éliminer des déchets inutiles et polluants sans risque pour l'environnement, devra néanmoins tenir compte de la nécessité de préserver l'environnement à long terme. Ainsi, la cendre provenant des brûleurs et les effluents des digesteurs pourraient être utilisés comme fertilisants. À l'échelle mondiale, le potentiel énergétique des résidus récupérables est d'environ 93 EJ par an. En supposant qu'il soit possible d'en récupérer ne serait-ce que 25 %, on pourrait couvrir 7 % de la consommation mondiale d'énergie.

12. Si, dans un premier temps, les résidus pouvaient alimenter l'industrie de la bioénergie, la production à grande échelle devra probablement s'appuyer sur des cultures énergétiques spécialement prévues à cet effet, comme la canne à sucre, le miscanthus, le panic raide et les essences à croissance rapide. Par ailleurs, il faudrait relever la productivité de la biomasse, qui est actuellement très faible (beaucoup moins de 5 tonnes anhydres à l'hectare par an pour les essences ligneuses). Il est à présent possible, grâce à une bonne gestion, aux travaux de recherche et à la plantation d'essences et de clones sélectionnés sur des terres appropriées, d'obtenir des rendements de l'ordre de 10 à 15 tonnes à l'hectare par an dans les zones tempérées, et de 10 à 25 tonnes dans les pays tropicaux. C'est ainsi qu'au Brésil et en Éthiopie, les plantations d'eucalyptus ont produit un rendement record de 40 tonnes à l'hectare par an. Il est également possible d'obtenir de bons rendements avec les cultures herbacées (non ligneuses), comme c'est le cas au Brésil où la production moyenne d'éthanol à partir de la canne à sucre est passée de 2 400 litres à l'hectare en 1976-77 à 5 000 litres en 1993-94.

### C. Les perspectives d'avenir

13. La plupart des projections établies au cours des dernières années mettent l'accent sur le développement du rendement énergétique et des énergies renouvelables; certaines d'entre elles comportent une étude détaillée de la biomasse et font une large place à la bioénergie. Ainsi, d'après le scénario dit de l'exploitation intensive des sources d'énergie renouvelables dans le monde, la biomasse est appelée à jouer un rôle décisif durant le siècle prochain. Ainsi, d'ici à l'an 2050, les sources d'énergie renouvelables pourraient fournir trois cinquièmes de l'électricité mondiale et deux cinquièmes des combustibles utilisés directement. D'après ce même scénario, la biomasse devrait fournir environ 38 % des combustibles et 17 % de l'électricité. Par ailleurs, d'après des analyses régionales détaillées, l'Amérique latine et l'Afrique pourraient devenir de gros exportateurs de biocarburants.

14. Selon le scénario dit de la production d'énergie compatible avec l'environnement, qui a été mis au point par l'Institut international pour l'analyse de systèmes appliqués, d'ici à 2020, la production d'énergie primaire atteindra 12,7 Gt d'équivalent pétrole (533 EJ) dont 12 % (62 EJ) seront obtenus à partir des déchets et résidus, des cultures énergétiques et des forêts. Ces chiffres ne tiennent pas compte des utilisations traditionnelles de l'énergie de la biomasse non commerciale comme le bois de feu dans les pays en développement. Quant au scénario dit de l'énergie provenant des sources non fossiles, établi par Greenpeace, il prévoit que d'ici à 2030, la biomasse pourrait fournir 24 % (91 EJ) de l'énergie primaire (sur un total de 384 EJ) contre 7 % aujourd'hui (22 EJ) sur un total de 338 EJ. La biomasse pourrait provenir aussi bien des pays en développement que des pays industrialisés.

15. Le Conseil mondial de l'énergie a fait une analyse prospective de la demande mondiale d'énergie à l'horizon 2020 en envisageant une hypothèse dite "basse" ou écologiquement rationnelle de 475 EJ, une hypothèse dite "très haute" de 722 EJ, et une hypothèse dite "de référence" de 563 EJ. Dans le premier cas, la biomasse traditionnelle fournirait environ 9 % de l'énergie totale, tandis que la biomasse moderne fournirait 5 % supplémentaires, soit 24 EJ. L'ensemble des énergies renouvelables (biomasse, énergie solaire, éolienne, etc.) compterait pour 12 % du total. Dans l'hypothèse d'une forte demande, ces chiffres passeraient à 8 et 5 % respectivement. L'Agence internationale de l'énergie a étudié la demande mondiale d'énergie primaire pour les 15 prochaines années, qu'elle estime à 486 EJ en 2010, contre 330 EJ aujourd'hui. La plus grande partie de la demande supplémentaire concerne les pays non membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Dans son analyse, l'Agence internationale de l'énergie intègre la biomasse dans la catégorie "charbon et autres combustibles solides", dont la demande mondiale devrait augmenter de 2,1 % par an. Selon le scénario d'évolution classique qui se fonde sur une hypothèse prudente, en 2050, la bioénergie fournira environ 4 à 5 % (36 à 45 EJ) de la demande mondiale d'énergie primaire (plus de 900 EJ). Le scénario optimiste (GREENS) prévoit que la biomasse pourrait fournir 75 % de l'énergie mondiale dès 2015. Quant au scénario réaliste classique, il estime que la production d'électricité à partir des cultures énergétiques utilisant les terres inexploitées et 10 % des terres dans les pays en développement, pourrait atteindre 46 EJ (33 %) sur une demande totale de 136 EJ en 2050, soit 12 % de la production prévue d'énergie primaire produite par les centrales à combustibles fossiles et les centrales nucléaires.

16. La compagnie Shell International Petroleum a établi deux scénarios. Le premier, dit de croissance durable, prévoit une offre abondante d'énergie à des prix de plus en plus compétitifs dans un contexte de marché ouvert. La consommation mondiale moyenne d'énergie par habitant passera de 13 barils d'équivalent pétrole (75 GJ) aujourd'hui à 25 barils (133 GJ) en 2060, et à 40 barils (229 GJ) en 2100. En 2020, les énergies renouvelables, notamment la biomasse, l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne, joueront un rôle déterminant avec près de 10 % (80 EJ) de la production mondiale d'énergie. En 2050, elles assureront entre 40 et 50 % de la production mondiale. Toujours selon cette hypothèse, en 2060, près de 200 EJ d'énergie primaire pourront être produites par 400 millions d'hectares de plantations de biomasse, avec une productivité moyenne de 25 tonnes à l'hectare. La Shell, dans son scénario dit de dématérialisation, prévoit que les besoins de la population seront couverts grâce à des techniques et systèmes consommant beaucoup moins d'énergie. La consommation mondiale moyenne d'énergie par habitant se stabilisera à 13 barils d'équivalent pétrole par an (la production totale étant de 1 200 EJ, contre 400 EJ aujourd'hui), puis atteindra 17 barils (57 EJ) en 2100. Selon cette projection, les techniques de conservation d'énergie deviendront économiquement plus efficaces et la biomasse bénéficiera des progrès technologiques.

17. Ce qui ressort à l'évidence de l'étude de tous ces scénarios est que la biomasse pourrait jouer un rôle important à l'avenir, notamment en tant que combustible moderne, tout en continuant de jouer son rôle de combustible traditionnel, surtout dans les pays en développement. La contribution de la bioénergie au cours du siècle prochain dépendra de nombreux facteurs implicitement envisagés dans les différents scénarios proposés dans chaque étude.

### III. LES RÉPERCUSSIONS ÉCOLOGIQUES ET SOCIALES

#### A. Les répercussions écologiques

18. L'utilisation intensive de la biomasse a influé sur l'environnement de diverses manières, en fonction de son ampleur et de sa viabilité du point de vue de l'environnement, mais on ne connaît pas encore la portée de cette influence. Certains auteurs ont avancé que les sociétés préindustrielles étaient capables de manipuler l'environnement dans une grande échelle. Indépendamment de l'impact des activités préindustrielles sur le cycle global du carbone, même des populations non industrialisées et peu nombreuses peuvent modifier les sites d'une manière telle qu'il faudra des décennies, voire des siècles, pour les remettre en état. Aujourd'hui, l'usage de la biomasse peut influencer de diverses façons sur l'environnement, mais la préoccupation majeure reste les émissions de gaz carbonique provenant de la combustion de la biomasse, qu'elles soient délibérées (le plus souvent) ou accidentelles. Lorsque la bioénergie est produite et utilisée d'une manière écologiquement viable, le gaz carbonique qu'elle émet est absorbé, ce qui donne un bilan d'émission nul. Dans la pratique, toutefois, ce n'est pas toujours le cas car l'énergie de la biomasse est souvent utilisée d'une manière très inefficace et peu respectueuse de l'avenir dans de nombreuses zones rurales des pays en développement. La biomasse contribue directement aux émissions de gaz carbonique de trois manières surtout :

a) Les utilisations traditionnelles de l'énergie de la biomasse présentent deux problèmes majeurs qui sont interdépendants, à savoir des rendements très bas qui entraînent une consommation excessive de biomasse pour produire une petite quantité d'énergie utile, et souvent des coûts monétaires très bas qui n'incitent guère à améliorer le rendement ou à remplacer les arbres et les autres sources de biomasse. Le résultat en est que l'abattage est beaucoup plus important que le repeuplement ou la repousse des forêts;

b) La déforestation tropicale, en particulier pour des usages autres que la production d'énergie;

c) Les feux de brousse, qui sont également une source importante d'émission de gaz à effet de serre. De vastes étendues sont brûlées chaque année, environ 750 millions d'hectares rien qu'en Afrique.

#### 1. Le rôle de la biomasse dans l'atténuation de la production de gaz à effet de serre (utilisation des forêts)

19. On peut d'ores et déjà prendre diverses mesures pour ralentir, stabiliser ou réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour réduire le niveau de gaz carbonique dans l'atmosphère à l'aide de forêts, on peut avoir recours à trois stratégies : préserver les forêts existantes, planter des arbres pour créer des puits où le gaz carbonique reste piégé, ou encore remplacer directement les combustibles fossiles par des combustibles provenant de la biomasse. Aucune de ces trois options n'est nécessairement bon marché ou facile.

20. Préserver les forêts semble être l'option la plus raisonnable à court terme. Celles-ci continueront ainsi à servir de réservoir de carbone tout en réduisant le rythme du déboisement et en réduisant du même coup les émissions

de gaz carbonique dans l'atmosphère. Toutefois, cette option comporte au moins deux problèmes : la tendance à la surexploitation forestière résultant de facteurs socio-économiques rend sa mise en oeuvre difficile, en particulier dans les pays en développement; et les peuplements forestiers adultes poussent lentement et absorbent donc moins de gaz carbonique que les arbres à croissance rapide.

21. Le reboisement à l'aide d'arbres à croissance rapide des terres non agricoles a été très souvent recommandé comme une excellente méthode pour piéger le gaz carbonique. À mesure que les arbres poussent, ils absorbent le gaz carbonique de l'atmosphère et en ralentissent ainsi l'accumulation. C'est peut-être la stratégie la plus souvent proposée jusqu'à présent, étant donné qu'elle peut aussi fournir des avantages secondaires importants (préservation des sols et de l'eau, produits commerciaux, protection de la diversité biologique, etc.). Toutefois, elle est de plus en plus remise en question à mesure que sa complexité devient plus apparente. Sa mise en oeuvre est difficile si l'on n'amène pas les populations locales à y participer activement à l'aide d'incitations importantes et de garanties à long terme. Les plantations forestières peuvent accumuler de grandes quantités de biomasse, en particulier sous les tropiques où des taux de productivité de l'ordre de 70 tonnes anhydres par hectare et par an de biomasse ont été enregistrés lors d'activités expérimentales. Les chiffres souvent cités pour une forêt bien gérée vont de 15 à 25 tonnes par hectare et par an de biomasse anhydre. À l'échelle mondiale, un rendement de 10 tonnes par hectare et par an serait plus réaliste, mais la productivité va probablement augmenter de façon très importante dans les années à venir grâce à l'application de techniques modernes d'aménagement et de reproduction forestières.

22. Un certain nombre d'études ont été réalisées pour quantifier le potentiel de piégeage du gaz carbonique que présente le reboisement, mais elles doivent être considérées comme des indications approximatives, étant donné les difficultés que comporte l'obtention d'estimations fiables à si long terme et les nombreux échecs retentissants essuyés par des plantations forestières de divers types. Les plantations forestières sont passées d'environ 80 millions d'hectares au milieu des années 60 à environ 130 millions d'hectares en 1990, mais ce chiffre est insignifiant par rapport aux 14 à 20 millions d'hectares qui sont déboisés annuellement (encore qu'au cours de ces dernières années le taux de déboisement semble avoir quelque peu baissé). Il est possible de réduire sensiblement les émissions globales de gaz carbonique en adoptant diverses mesures telles que des pratiques optimales de gestion des écosystèmes et l'utilisation de la bioénergie. Selon la Commission d'enquête allemande (Bonn), compte tenu des obstacles écologiques, économiques, organisationnels et socioculturels et d'après des estimations approximatives, on pourrait obtenir un taux de fixation du carbone se situant entre environ 2,6 milliards et  $\pm$  1,1 milliard de tonnes de carbone par an grâce au reboisement des terres disponibles, ce à quoi s'ajouterait un taux de 0,1 à 1,1 milliard de tonnes de carbone par an résultant de l'utilisation de la bioénergie (voir tableau 1).

Tableau 1

Impact actuel et potentiel des activités humaines sur  
 les forêts et sur le bilan du carbone forestier

	Zone d'abattage annuelle en pourcentage de la superficie forestière totale utilisable	Évolution du peuplement forestier actuel (millions d'hectares par an)	Potentiel de fixation du carbone résultant du reboisement (GtC par an)	Réduction supplémentaire potentielle du carbone résultant de l'utilisation du bois comme source d'énergie (GtC par an)
Forêts boréales	Environ 0,5	- 0,7 <sup>3</sup>	0,07±0,02	—
Forêts tempérées	Environ 2,5	+1,4 <sup>4</sup>	0,54±0,2	0,1-0,9
Forêts tropicales	Environ 0,5	- 17,0	2,0±0,9	0,0-0,2
Total	Environ 0,8	- 16,7	2,6±1,1	0,1-0,1

Source : Commission d'enquête du Bundestag allemand, Protecting Our Green Earth, douzième rapport (Bonn, Economica Verlag, 1995), tableau 6.13.

Ce phénomène sera particulièrement positif si les zones sont déboisées depuis longtemps. Si toutes les terres disponibles (150 à 1 200 millions d'hectares) étaient boisées, le potentiel de fixation du carbone serait de l'ordre de 1 milliard à 7,5 milliards de tonnes de carbone par an.

23. L'on a établi un modèle simple du piégeage du carbone pendant la croissance des forêts et de ce qu'il advient de ce carbone quand des coupes sont pratiquées et le bois utilisé comme combustible à la place de combustibles fossiles. Selon ce modèle, les arbres contribuent tout autant à empêcher l'accumulation de gaz carbonique en éliminant une unité de carbone de l'atmosphère qu'en fournissant une quantité d'énergie renouvelable remplaçant une unité de carbone qui serait émise par des combustibles fossiles. Les principales conclusions à tirer sont que, pour les forêts comprenant d'abondants stocks de biomasse et à faible productivité, la stratégie la plus efficace est la protection; pour les terres à stocks de biomasse peu abondants et à faible productivité, mieux vaut avoir recours à l'afforestation ou à d'autres types d'aménagement des terres propices à la croissance de forêts et au stockage du carbone; et s'agissant des forêts où la productivité peut être élevée, mieux vaut y pratiquer régulièrement des coupes d'arbres et utiliser le bois de la manière la plus efficace possible, pour en tirer soit des produits durables, soit des combustibles de remplacement des combustibles fossiles.

## 2. Le piégeage du carbone comparé au remplacement des combustibles fossiles

24. Le remplacement direct des combustibles fossiles par la biomasse semble être la stratégie la plus efficace pour réduire les émissions de gaz carbonique produites par les combustibles fossiles puisque les avantages en résultant peuvent être plus importants. Si la quantité de biomasse produite comme source

d'énergie était égale à la quantité de biomasse consommée pendant une période de temps donnée, il n'y aurait pas d'accumulation nette de gaz carbonique, dans la mesure où la quantité de gaz produite par la combustion serait compensée par celle qui serait absorbée par la biomasse pendant la photosynthèse. Par exemple, pour des rendements de conversion égaux, chaque gigajoule de biomasse remplaçant du combustible fossile diminuerait les émissions de la teneur en carbone de chaque gigajoule de combustible fossile remplacé (soit 0,014 tonne de carbone pour le gaz naturel, 0,019 à 0,020 tonne de carbone pour le pétrole et 0,023 à 0,025 tonne de carbone pour le charbon). Le remplacement d'énergies non renouvelables par l'énergie verte s'impose de plus en plus. Des incitations fiscales existent, par exemple, aux États-Unis, en Suède, au Danemark, etc., pour les installations de chauffage et d'électricité fonctionnant à la biomasse. En Inde, où entre 1980 et 1992 environ 17 millions d'hectares ont été boisés essentiellement pour répondre aux besoins en bois de feu des communautés locales, la production annuelle de biomasse à partir du bois a été estimée à 58 millions de tonnes en 1993. La demande annuelle de bois de feu en Inde étant d'environ 227 millions de tonnes, et une grande partie des coupes étant pratiquées sans respect de l'avenir, la part des plantations forestières dans ce chiffre global est très importante. En Chine également, environ 6 millions d'hectares ont été boisés pour répondre aux besoins en bois de feu (toutefois, la biomasse provenant de l'afforestation est encore relativement peu importante par rapport au volume annuel de charbon utilisé).

### 3. Estimations des coûts de la réduction des émissions de gaz carbonique

25. Les estimations des coûts de la réduction des émissions de gaz carbonique varient considérablement (souvent d'un facteur de 2 ou 3) en raison des nombreuses variables en jeu, qui vont de la productivité aux questions socio-économiques et politiques. Le coût de la réduction des émissions de gaz carbonique par piégeage du carbone dans les arbres dépend directement du coût de production de la biomasse. Les coûts des plantations forestières peuvent être extrêmement variés, car ils tendent à être fortement tributaires des facteurs locaux ainsi que d'un grand nombre d'autres facteurs (biologiques, topographiques, transports, etc.). Les estimations des coûts de l'afforestation sont encore controversées et mal documentées : le chiffre de 400 dollars par hectare a souvent été avancé dans les études à ce sujet. Mais il pourrait être quatre ou cinq fois plus élevé si l'on y ajoute les coûts d'entretien et de protection, etc. à assumer pendant toute la durée de vie de la forêt. En France et au Royaume-Uni, les coûts d'afforestation étaient de 2 000 à 2 500 dollars par hectare et, en Allemagne, d'environ 12 500 dollars par hectare en 1993.

### 4. Les problèmes écologiques associés à l'afforestation

26. Les effets à court et à long terme sur l'environnement de l'utilisation sur une grande échelle de plantations forestières destinées à la production d'énergie suscitent des préoccupations. Toutefois, d'après des études récentes, tous les effets qui pourraient être préjudiciables à l'environnement dépendent dans une large mesure des pratiques de gestion. Pour que la bioénergie contribue au bilan énergétique de manière aussi importante, il faut que sa production, sa conversion et son utilisation soient durables, respectueuses de l'environnement et pleinement acceptées par la population. Le remplacement des forêts naturelles par des plantations forestières aurait des effets destructeurs

sur l'environnement et des effets négatifs sur les bilans du carbone et doit donc être évité. Par contre, les projets d'afforestation de sols dégradés ou de terres cultivables abandonnées peuvent avoir maints effets positifs sur l'environnement. Le boisement et le reboisement de terres de ce type peuvent améliorer la structure des sols ainsi que leur teneur en éléments organiques et en nutriments, réduire le ruissellement et accroître la capacité de rétention des eaux des sols, accroître les précipitations locales et modifier la température locale, augmenter la diversité biologique et préserver les habitats de la faune sauvage, diminuer la surexploitation des ressources forestières naturelles, créer des coupe-vent et, bien sûr, stocker du carbone. Après les expériences récentes du programme de réserves de préservation des États-Unis, le taux d'érosion avait diminué de 92 % sur 14 millions d'hectares de terres cultivables temporairement soustraites à la production et plantées d'arbres et d'herbes vivaces. Une sélection soigneuse des espèces et une bonne conception et gestion des plantations peuvent permettre de lutter contre les maladies et les ravageurs et les déprédateurs, rendant inutile l'utilisation de pesticides chimiques si ce n'est dans des conditions spéciales. Des plantations bien conçues comprennent des zones réservées à la flore et la faune locales qui abriteront des prédateurs naturels pour la lutte antiparasitaire et peut-être des "blocs" réservés à des clones et/ou espèces différents. Si une invasion de parasites se déclare dans un "bloc" contenant un seul clone, la pratique désormais courante dans les plantations bien gérées est de laisser l'invasion suivre son cours pour permettre aux prédateurs de la zone réservée à cet effet de la stopper. Les plantations brésiliennes bien gérées laissent à présent 20 à 30 % de la zone (pourcentage exigé par la loi) à l'état naturel. La création et l'entretien de réserves naturelles contribuent également à préserver la diversité biologique; toutefois, la préservation de la diversité biologique à l'échelle régionale nécessite une planification de l'utilisation des sols reliant des parcelles de forêt naturelles au moyen d'un réseau de couloirs à l'état naturel (zones tampons riveraines, rideaux de plantations et haies entre les champs) et permettant ainsi à une espèce d'émigrer d'un habitat à un autre.

27. Il ne faut pas oublier la fertilité des sols à long terme, ce qui suppose aussi une gestion des sols. Pour les plantations forestières à rotation rapide, il est en général préférable de laisser les feuilles et les brindilles sur place étant donné que les éléments nutritifs ont tendance à se concentrer dans ces parties de l'arbre. Les éléments nutritifs récupérés sous forme de cendres dans les installations de conversion de l'énergie doivent également être ramenés sur le site. Les espèces peuvent être sélectionnées en fonction du rendement de leur utilisation des éléments nutritifs; en outre, la sélection d'une espèce fixatrice d'azote ou l'alternance d'une culture primaire et d'une espèce fixatrice d'azote peuvent garantir l'autosuffisance en azote de la plantation forestière. L'intérêt des stratégies d'assolement ressort de 10 années d'expérience menées à Hawaii, où des rendements de 25 tonnes à l'hectare par an ont été obtenus sans additions annuelles d'engrais azotés grâce à l'alternance de plantations d'eucalyptus et d'albizies fixateurs d'azote. Les substances agrochimiques biodégradables devraient être utilisées dans toute la mesure du possible et leurs applications soigneusement planifiées en fonction des besoins des plantes. En outre, une gestion attentive des ressources en eau devrait réduire les risques de pollution de l'eau par ruissellement et permettre d'optimiser l'utilisation des eaux de pluie dans les zones arides. De bonnes pratiques de gestion des feux doivent également être prévues.



## B. Les effets sociaux

28. Les trois grandes catégories d'effets sociaux de la production de bioénergie concernent l'utilisation des terres et les ressources en terres disponibles, le choix entre cultures vivrières et combustibles et la création d'emplois.

### 1. L'utilisation des sols et les ressources en terres disponibles

29. De nombreuses études sur la disponibilité de terres ont été effectuées, et leurs résultats varient considérablement selon les sources de données et les hypothèses utilisées. Il existe dans les zones tropicales de vastes étendues de terres dégradées et abandonnées qui pourraient être régénérées grâce à la création de plantations forestières pour la production de biomasse qui soient écologiquement viables. La disponibilité des terres est considérée comme un obstacle à la production de biomasse sur une grande échelle; et pourtant, des superficies considérables seraient d'ores et déjà disponibles même compte tenu des systèmes de production actuels. Aux États-Unis, les cultivateurs sont payés pour laisser en friche environ 10 % de leurs terres, et dans les pays de la Communauté européenne environ 15 % des terres arables sont "gelés". Aux États-Unis, sans compter les plus de 30 millions d'hectares de terres arables qui y sont "gelés" pour réduire la production ou protéger la nature, 43 millions d'hectares de terres arables ont des taux d'érosion élevés et 43 autres millions d'hectares ont des problèmes d'humidité qui pourraient être réglés par l'adoption de diverses cultures énergétiques vivaces. Dans la Communauté européenne, au moins 15 à 20 millions d'hectares de bonnes terres agricoles devraient cesser d'être cultivées d'ici 2000 à 2010. Si toutes ces terres étaient utilisées pour des plantations forestières, on disposerait dans un proche avenir d'un puits de carbone d'une capacité annuelle de 90 à 120 millions de tonnes de carbone. Par ailleurs, des terres de cette superficie pourraient fournir 3,6 à 4,8 millions exajoules (EJ) par an de bioénergie, remplaçant 90 à 120 millions de tonnes d'émissions de carbone dues à la combustion de charbon, 60 à 96 millions de tonnes dues à celle du pétrole ou 50 à 67 millions de tonnes dues à celle du gaz naturel. On a estimé qu'en Europe occidentale, il suffisait d'utiliser 10 % des terres exploitables (33 millions d'hectares) et 25 % des résidus récupérables pour que la biomasse fournisse 9 à 13,5 EJ d'énergie, soit environ 17 à 30 % des besoins énergétiques prévus pour l'an 2050.

30. Dans les pays tropicaux, il existe de vastes étendues de terres déboisées et dégradées qui pourraient être régénérées par des plantations forestières productrices de bioénergie. L'analyse de 117 pays tropicaux a fait apparaître que dans 11 pays le couvert forestier pourrait représenter jusqu'à 553 millions d'hectares. Selon une autre étude, dans 50 pays tropicaux, 67 millions d'hectares pourraient être facilement transformés en plantations forestières pendant les 60 prochaines années, plus de 200 millions d'hectares pourraient être régénérés, et 63 autres millions d'hectares être utilisés pour l'agroforesterie. La superficie des terres qui serait théoriquement nécessaire pour répondre à tous les besoins énergétiques actuels au moyen de la biomasse (scénario tout à fait improbable) a été estimée. Dans l'hypothèse d'une productivité de 12 tonnes anhydres à l'hectare par an et de l'utilisation des résidus récupérables (25 % des résidus qui pourraient l'être), on a constaté

qu'il faudrait 950 millions d'hectares de cultures productrices de bioénergie pour remplacer tous les combustibles fossiles dans les zones industrialisées, et 305 millions d'hectares dans les pays en développement. La superficie des terres disponibles à l'échelle mondiale donc suffit pour que la biomasse puisse avoir un impact important sur le niveau de carbone dans l'atmosphère et la production d'énergie sans nuire à la production alimentaire.

2. L'impact sur la production alimentaire : cultures vivrières contre combustibles

31. L'opposition entre cultures vivrières et combustibles est un problème ancien, controversé et complexe dont l'analyse détaillée dépasse la portée du présent document. À l'échelle mondiale, les terres sont disponibles; de plus, les cultures productrices de bioénergie nécessitent beaucoup moins d'eau et d'apports nutritifs que les cultures vivrières. D'aucuns affirment que les sombres prédictions concernant la baisse de la production alimentaire reposent sur plusieurs conceptions erronées et qu'il faut soigneusement tenir compte des éléments suivants :

a) Dans l'ensemble, les disponibilités alimentaires ont considérablement progressé depuis les années 50, passant de 300 kg d'aliments par habitant à 350 kg par habitant dans les années 80;

b) La baisse de la production céréalière mondiale résulte davantage de la réduction de la production céréalière des États-Unis et de la Communauté européenne que de l'accroissement de la population;

c) En général, l'accroissement de la production alimentaire mondiale a été supérieur à la croissance démographique, et les régimes alimentaires sont désormais plus diversifiés; les terres soustraites à la production céréalière ont été consacrées à la production d'aliments d'une plus grande valeur nutritive;

d) La production céréalière moyenne par habitant est un mauvais indicateur des disponibilités alimentaires mondiales. Même en cas d'augmentation de la production par habitant, il y aura baisse de la consommation alimentaire par habitant parce que la croissance démographique sera surtout attribuable aux pays pauvres;

e) Dans les deux pays les plus peuplés, la Chine et l'Inde, l'accroissement de la production alimentaire est supérieur à la croissance démographique. L'Inde constitue un bon exemple de l'évolution des tendances de la production alimentaire, de l'énergie, de la population et de l'environnement : en 1995, elle disposait d'un excédent céréalier de plus de 30 millions de tonnes tout en ayant arrêté le déboisement, accru le manteau forestier et continué à cultiver la même superficie de terres.

32. La base de données sur les zones agroécologiques de la FAO a été utilisée pour estimer les terres qui seraient disponibles en 2025 une fois les besoins alimentaires satisfaits. Théoriquement, dans l'hypothèse d'un rendement de la biomasse de 10 tonnes à l'hectare sur les "terres restantes", la biomasse ainsi produite pourrait fournir suffisamment d'énergie pour les pays en développement.

En Afrique, par exemple, il semblerait que les facteurs socioculturels (notamment le rôle clef que de nombreuses femmes jouent dans la production alimentaire) soient essentiels pour stopper l'engrenage fatal que constituent surpopulation, faible productivité agricole et dégradation de l'environnement. Une étude approfondie des ressources en terres et de l'alimentation mondiales au XXI<sup>e</sup> siècle se termine sur des "conclusions encourageantes" assorties de quelques mises en garde portant sur les dispositions institutionnelles, l'agriculture viable et la surexploitation des terres; l'Afrique et le Moyen-Orient sont présentés comme les zones les plus vulnérables.

33. Il convient de noter que les aliments et les combustibles répondent les uns comme les autres à des besoins importants qui ne devraient pas entrer en concurrence, en particulier lorsque la planification assure la protection de l'environnement et la viabilité des méthodes de production. Des programmes et politiques forestiers comme l'agroforesterie et les systèmes d'exploitation agricole intégrés peuvent en fait améliorer la sécurité alimentaire en fournissant des aliments (directement à partir des arbres et des animaux vivant dans l'habitat créé), du fourrage, de l'énergie et des revenus pour l'achat d'aliments. Par exemple, au Brésil où la superficie utilisée pour la production d'éthanol à partir de la canne à sucre représente moins de 0,2 % de l'ensemble des terres arables, l'assolement dans les zones à canne à sucre a permis d'augmenter certaines cultures vivrières, tandis que quelques sous-produits de l'industrie servent d'aliments pour les animaux.

### 3. La création d'emplois

34. Les possibilités d'emploi ont été saluées comme un grand avantage de la biomasse en raison des nombreux effets de multiplication qui contribuent à développer l'activité économique et à renforcer l'économie locale, en particulier dans les zones rurales. Aux États-Unis, la National Wood Energy Association a estimé que la production de bioénergie, qui est de 6 500 MW, fournit directement 66 000 emplois et pourrait faire vivre jusqu'à 284 000 salariés d'ici à 2010. Le Wisconsin Energy Bureau a récemment découvert que l'utilisation de sources renouvelables d'énergie créait environ trois fois plus d'emplois, de salaires et de ventes dans le Wisconsin que le même volume de combustibles fossiles importés et d'investissements dans ces combustibles. En partant de l'hypothèse d'une augmentation de 75 % de l'utilisation par l'État d'énergies renouvelables, le Bureau a estimé que le Wisconsin créerait plus de 62 000 nouveaux emplois, 1,2 milliard de dollars de salaires supplémentaire et 4,6 milliards de dollars de ventes supplémentaires. D'après une autre étude récemment terminée dans le Vermont, l'industrie de l'énergie du bois créait près de 53 000 emplois dans le nord-est et générait 2,9 milliards de dollars de recettes. L'utilisation du bois d'énergie remplace annuellement environ 4 millions de tonnes de pétrole, dont 65 % seraient importés d'ailleurs. Les activités dans le secteur de l'énergie à partir du bois de la région rapportent chaque année environ 46 millions de dollars en impôts de l'État et impôts locaux et 355 millions de dollars en impôts fédéraux.

35. Dans l'ensemble de la Communauté européenne, d'après la Déclaration de Madrid (1994), la satisfaction de 15 % de la demande d'énergie primaire par des énergies renouvelables d'ici à 2010 pourrait créer entre 300 000 et 400 000 nouveaux emplois, portant le chiffre d'affaires de l'industrie des

/...

énergies renouvelables à 6 milliards d'écus et réduisant les émissions de gaz carbonique de 350 millions de tonnes. On a estimé que, si la Communauté européenne mettait en place un secteur de la bioénergie de grande ampleur, environ 7 millions de nouveaux emplois pourraient être créés soit directement soit indirectement dans les 40 prochaines années. Au Royaume-Uni, une étude préliminaire a également démontré ce potentiel de création d'emplois, en particulier dans les zones souffrant de taux de chômage élevés. D'ici à 2005, environ 48 700 emplois pourraient être créés dans le secteur des énergies renouvelables, dont 11 600 seraient des créations nettes d'emplois. Un autre exemple bien connu est celui du Brésil où la production d'éthanol est à l'origine d'environ 700 000 emplois et le secteur du charbon fournit directement quelque 200 000 emplois. La fabrication du charbon emploie un nombre considérable d'habitants des zones rurales et constitue une activité majeure, en particulier en Afrique. La valeur du marché du charbon pour les 26 pays de l'Afrique subsaharienne dépasse 1,8 milliard de dollars par an. Au Kenya et au Cameroun, ce secteur emploie 30 000 personnes, et en Côte d'Ivoire, environ 90 000.

#### IV. L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES ET LA BIOÉNERGIE MODERNE

##### A. L'évolution des techniques

36. Certaines techniques d'exploitation de la biomasse, qu'elles soient récentes ou issues de méthodes déjà anciennes, peuvent avoir des applications immédiates, concernant notamment les procédés de production d'électricité associant un gazogène intégré à biomasse et une turbine à gaz; les techniques améliorées de récolte, de transport et de stockage de la biomasse; la gazéification de débris végétaux (balles du riz par exemple); l'agglomération; le traitement de matières cellulosiques par vapocraquage, puis éventuellement par hydrolyse chimique ou biologique en vue de produire de l'éthanol ou d'autres combustibles; les techniques de cogénération; les techniques d'exploitation de biocombustibles bruts; la combustion simultanée; les techniques des piles à combustible utilisant du méthanol et de l'hydrogène obtenus à partir de la biomasse; les petits moteurs Sterling améliorés, qui peuvent utiliser des biocombustibles avec un bon rendement. On trouvera ci-après un exposé des principales tendances de ces dernières années.

##### 1. La combustion/gazéification directe de la biomasse en vue de produire de la chaleur, de la vapeur et de l'électricité

37. D'importants travaux de recherche-développement ont été consacrés à la gazéification car ce domaine est l'un de ceux que l'on juge les plus prometteurs. Des progrès ont été réalisés dans la conception des foyers et des chaudières dans lesquels sont brûlés différents types de biomasse, tels que les foyers à projection alimentés avec du bois et de l'écorce, les foyers suspendus et les systèmes de combustion sur lit fluidisé. En revanche, on peut regretter l'insuffisance des travaux réalisés en ce qui concerne les techniques visant à répondre aux besoins des industries rurales dans les pays en développement, notamment la mise au point de foyers bon marché, efficaces et simples, dont la production donnerait la possibilité de créer des entreprises. Dans le secteur de l'énergie domestique, on peut se féliciter de l'installation de millions de cuisinières améliorées (dont quelque 129 millions en Chine de 1982 à 1992,

0,78 million au Kenya et 0,2 million au Burkina Faso et au Niger) qui ont permis d'économiser en moyenne 20 %, voire plus de 60 % de l'énergie utilisée.

38. Le rendement des centrales qui produisent de l'énergie à partir de la combustion de biomasse est actuellement de l'ordre de 15 à 20 %, pour des coûts compris entre 0,05 et 0,08 dollar des États-Unis le kilowatt/heure. En revanche, les rendements potentiels des cycles de production d'énergie perfectionnés atteignent 35 à 40 % pour des coûts allant de 0,45 à 0,55 dollar/kWh. Parmi les techniques les plus importantes actuellement élaborées pour produire de l'électricité à partir de la biomasse, il convient de citer la chauffe directe de la biomasse, la combustion simultanée de biomasse et de charbon, la gazéification et la pyrolyse de la biomasse en vue de produire un biocombustible brut, sous forme liquide ou gazeuse.

39. Lorsque des turbines à gaz à circuit ouvert sont utilisées, les gaz d'échappement chauds sont directement rejetés dans l'atmosphère, ce qui représente une déperdition d'énergie considérable (le rendement énergétique de ces turbines est d'environ 33 %). Or, il serait possible de récupérer la chaleur dégagée en l'acheminant dans un générateur pour la convertir en vapeur, celle-ci passant à son tour dans un système de cogénération où elle serait reconvertie en chaleur, pour être réinjectée soit dans une turbine à gaz, ce qui augmenterait la puissance utile et le rendement, soit dans une turbine à vapeur, ce qui permettrait de produire davantage d'électricité. Le rendement des turbines à gaz à circuit fermé est de 40 %, celui des turbines à cycle mixte (gaz/vapeur) est de 48 %. Les turbines à gaz perfectionnés permettent donc déjà d'obtenir des rendements nettement plus élevés que les turbines à vapeur classiques et leurs performances pourraient encore être considérablement améliorées. Qui plus est, elles supposent un investissement moindre.

40. Les conclusions de la plupart des travaux réalisés sur les systèmes associant un gazogène alimenté au charbon et une turbine à gaz sont directement applicables aux systèmes associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz et aux turbines à cycle mixte. Les gazogènes intégrés à biomasse et les turbines à cycle mixte utilisent une gazéification à basse pression ou une gazéification sous pression. La gazéification sous pression donne un meilleur rendement, mais risque de revenir plus cher pour les systèmes de capacité limitée. La biomasse est plus facile à gazéifier que le charbon car elle a une meilleure réactivité, et sa teneur en soufre est très faible. Par ailleurs, les techniques associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz aux fins de la cogénération ou dans le cadre d'installations autonomes devraient permettre, dans de nombreux cas, de produire de l'électricité pour un coût moindre que la plupart des autres techniques mises en oeuvre, que ce soit dans les grandes centrales thermoélectriques à vapeur alimentées au charbon avec désulfuration des gaz, les centrales nucléaires ou les centrales hydroélectriques. Les rendements des techniques de gazéification du charbon en cours d'élaboration, qui dépassent déjà 40 % au milieu des années 90, pourraient atteindre 57 % d'ici à 2025. Les industries de la canne à sucre qui produisent du sucre et de l'éthanol destiné à être utilisé comme carburant, ainsi que les industries de la pâte de bois, du papier et des produits forestiers, devraient bénéficier rapidement des applications des techniques associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz. Les gazogènes intégrés à biomasse et les turbines à cycle mixte seront mis sur

le marché d'ici à l'an 2000. En Suède, on construit actuellement à Vaernamo un système utilisant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à cycle mixte, d'une capacité de 6 MWe + 9 MW pour le chauffage urbain. Une centrale de démonstration de 30 MWe utilisant le même principe devrait être mise en service vers 1997 dans le nord-est du Brésil pour un coût total de 75 millions de dollars, dont 30 millions sont couverts par un don du Fonds pour l'environnement mondial. Les futures plantations du nord-est du Brésil devraient permettre d'atteindre une capacité potentielle de quelque 200 GW. La Communauté européenne envisage d'exécuter des projets de gazéification commerciale de la biomasse. Elle devrait installer des centrales électriques de 8 à 15 MWe utilisant un gazogène intégré et des turbines à cycle mixte d'ici à la fin des années 90, de 20 à 30 MWe d'ici à l'an 2000, puis de 50 à 80 MWe d'ici à 2005. Les installations doivent être alimentées par la biomasse, permettre d'utiliser des cultures énergétiques à rendement élevé, mettre en oeuvre des systèmes de conversion d'énergie avancés et être écologiquement rationnelles. Trois centrales de démonstration utilisant la gazéification bénéficient déjà d'un appui financier de la Communauté européenne : il s'agit d'une centrale de 11,9 MWe en Italie et d'une de 8 MWe au Royaume-Uni, ainsi que d'une centrale de chauffage urbain par cogénération au Danemark. On prévoit également la construction d'une autre centrale de 15 à 30 MWe à Haarlem (Pays-Bas). D'autres projets sont en cours aux États-Unis avec l'appui financier du Ministère de l'énergie. Ils concernent une centrale électrique de 3 à 5 MWe utilisant un système de gazéification de bagasse, à air pulsé sous pression sur lit fluidisé à bulles, pour alimenter des turbines à gaz à Hawaii et une centrale de 45 MWe capable de traiter 200 tonnes de biomasse par jour à Burlington, dans le Vermont.

## 2. La production de combustibles liquides

41. L'éthanol est produit essentiellement à partir de plantes comme la canne à sucre et le maïs. En ce qui concerne ce procédé, des progrès ont été réalisés dans les domaines suivants : fermentation continue de l'éthanol (procédés Melle-Boinot et Biostil), saccharification et fermentation simultanées, fermentation anaérobie, utilisation de bactéries, récupération de chaleur au cours de la distillation, et meilleure utilisation des sous-produits (par exemple, la bagasse sert à la fois à la nourriture animale et à la production d'électricité par cogénération). Le Brésil et Maurice sont deux des pays qui utilisent la bagasse pour produire de l'électricité par cogénération. Au Brésil, cela fait des siècles que la vapeur produite à partir de la bagasse est utilisée sur place, mais sans aucun souci de rendement. Comme on disposait de grandes quantités de bagasse, on ne se souciait guère d'améliorer le rendement; par contre, se débarrasser des excédents posait souvent de gros problèmes. Aujourd'hui, de nombreuses distilleries de canne à sucre produisent suffisamment d'énergie pour répondre à leurs propres besoins et certaines en vendent même à de grandes compagnies de distribution. Maintenant que les sucreries et les distilleries d'alcool peuvent utiliser des turbines à gaz à circuit fermé, la production d'électricité pourrait bien devenir l'une de leurs principales activités.

### 3. La production de charbon de bois

42. Des progrès considérables ont été accomplis dans certains domaines de l'industrie du charbon de bois : techniques de carbonisation, rendement énergétique des fours, utilisation des sous-produits, hauts fourneaux, aciéries intégrées alimentées au charbon, etc. On a notamment mis au point des techniques viables pour récolter les produits des forêts naturelles et multiplié les plantations d'essences pouvant être utilisées pour produire de l'énergie, et l'on a davantage pris conscience de l'impact de ces systèmes de production sur l'environnement. Ainsi, en 1993, environ 43 % du charbon de bois produit au Brésil (contre 12 % en 1978) provenait de plantations; il était utilisé essentiellement pour la fabrication de fonte brute, d'acier et de ciment, ainsi que dans la métallurgie. Toutefois, le charbon de bois industriel est progressivement remplacé par du coke importé, avec les conséquences que cela suppose pour l'environnement mondial, et les produits dérivés du charbon de bois sont peu utilisés.

### 4. La conversion thermochimique de la biomasse

43. Dans ce domaine, les progrès accomplis concernent la pyrolyse à basse température, la pyrolyse rapide, la liquéfaction catalytique directe (le passage à la phase liquide se faisant avec un meilleur rendement thermique), ainsi que la réduction du temps de réacteur.

### 5. La digestion anaérobie des résidus de biomasse, des déchets et des déjections animales

44. L'intérêt croissant que les entreprises manifestent pour ce secteur tient en partie à des considérations liées à l'environnement (et à l'approvisionnement en énergie), tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Les stimulants financiers, l'amélioration du rendement énergétique et la diffusion de la technologie sont venus faciliter ce processus; il y a également eu des progrès dans la formation du personnel, en particulier en Chine et en Inde. Au cours des quelques dernières années, cette technologie a été examinée de près au Danemark, pays d'avant-garde pour ce qui est de l'exploitation en démonstration de grandes usines commerciales de biogaz pour le traitement du fumier et la production de chaleur et d'énergie. Il s'est produit un changement de tendance radical : on s'attache désormais davantage à la valeur écologique des techniques qu'au taux de rendement énergétique, ce qui permet de combiner l'évacuation des déchets avec la production d'énergie et d'engrais. Dans nombre de situations, la technologie du biogaz est arrivée à maturité tant du point de vue technique qu'économique.

### 6. L'évolution des politiques en matière de technologie

45. Les questions non techniques qui ont récemment retenu l'attention sont, notamment, les facteurs environnementaux et écologiques (piégeage du carbone, reboisement et restauration du couvert végétal); le fait que la biomasse est un produit de remplacement des combustibles fossiles dont le bilan d'émission de gaz carbonique est nul et qui produit peu de soufre; le fait que, au niveau de l'intervention politique et de la planification, on reconnaît de plus en plus l'importance de la bioénergie, en particulier les vecteurs de bioénergie

modernes; les études sur les effets préjudiciables de la bioénergie, en particulier des utilisations traditionnelles d'énergie, sur la santé; et la prise de conscience accrue de la nécessité d'internaliser les coûts externes des vecteurs d'énergie classiques, de façon à les placer davantage à égalité avec les sources d'énergie de substitution.

## B. Les utilisations modernes

### 1. Dans les pays en développement

46. En Inde, l'on accorde une grande attention à la gazéification, car c'est un processus susceptible d'être largement commercialisé pour répondre à toute une variété de besoins en énergie (irrigation par pompage et électrification des villages, production d'énergie industrielle captive et production d'électricité en réseau, etc.) à partir de plantations énergétiques. D'après des estimations récentes, le potentiel de production d'énergie par gazéification en Inde est de 17 000 MW, et celui de l'utilisation des résidus de canne à sucre de 3 500 MW.

47. À Maurice, l'économie est dominée par la culture du sucre, qui couvre environ 88 % de la superficie cultivable. La production d'électricité et de vapeur par combustion de bagasse dans l'industrie de la canne à sucre permet de satisfaire environ 10 % des besoins énergétiques totaux du pays. Le potentiel est estimé théoriquement à 2 500 MW à un taux de conversion de biomasse en électricité de 30 % et à 3 500 MW à un taux de 40 %.

### 2. Dans les pays industrialisés

48. L'Autriche tire environ 13 % [147 picajoules (PJ)] de son énergie primaire du bois, soit six fois plus qu'il y a 15 ans. D'après une étude approfondie du potentiel bioénergétique, ce chiffre pourrait doubler et atteindre 280 PJ d'ici à 2015. L'investissement total serait de l'ordre de 600 millions d'écus, et l'opération pourrait permettre de créer de 10 000 à 15 000 nouveaux emplois permanents.

49. En 1994, environ 7 % (19 PJ) de l'énergie produite au Danemark était de la bioénergie. Le potentiel est estimé à 127 PJ, soit 16 % de la consommation brute d'énergie du pays, ou environ 140 PJ si l'on utilisait aussi les terres "gelées" (quelque 230 000 hectares) pour la production de bioénergie. En juin 1993, le Parlement a convenu d'étendre l'utilisation de la biomasse pour la production d'électricité à 1,2 millions de tonnes de paille et à 0,2 millions de tonnes de bois d'ici à l'an 2000, ce qui ajoutera 20 PJ à l'élément biomasse.

50. La Finlande est l'un des pionniers de l'utilisation de la bioénergie moderne. La consommation d'énergie primaire du pays en 1993 était de 1 260 PJ, dont plus de 19 % (240 PJ) venait de la biomasse, 14 % du bois et 5 % de la tourbe. L'objectif du Gouvernement est de porter ce chiffre à 25 % d'ici à 2005.

51. La Suède tire environ 17 % de son énergie (256 PJ) des biocombustibles. Leur utilisation se répartit entre quatre secteurs : l'exploitation forestière (157 PJ), les ménages (40 PJ), le chauffage urbain (49 PJ), secteur en expansion rapide, et la production d'électricité par cogénération à partir de divers bois



de feu (9 PJ). Il existe encore bien d'autres possibilités de produire de l'énergie à partir de combustibles autochtones venant de la biomasse, en particulier à partir des déchets agro-industriels et des cultures énergicoles cultivées sur des terres marginales ou autres. On fait pousser actuellement plus de 14 000 hectares de saules à rotation rapide dans le cadre de plans d'exploitation de la bioénergie. La Suède importe également une petite quantité de biocarburants, ce qui démontre le potentiel de développement du commerce international de ce produit. D'après les conclusions d'une étude menée récemment sur une centrale bioénergétique de 205 MW pour le chauffage urbain à Vaxjo, c'est une combinaison de facteurs monétaires et sociaux qui a rendu la première centrale bioénergétique suédoise commercialement viable.

52. Au début des années 90, les sources d'énergie renouvelables représentaient à peine 1 % de l'énergie primaire au Royaume-Uni (un tiers venant de la biomasse, le reste étant de l'énergie hydroélectrique). Toutefois, la contribution potentielle de ces sources à la production d'électricité est estimée à 5-25 % en 2005 et à 5-63 % en 2025. La Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO) (obligation de ne pas utiliser les combustibles fossiles), qui habilite le Gouvernement à promulguer des ordonnances obligeant les services de production et de distribution d'électricité à employer, par contrat, des quantités minimum spécifiées de sources de combustibles non fossiles pour produire l'électricité, a stimulé l'utilisation de sources d'énergie renouvelables. L'objectif est de parvenir à une production de 1 500 MW d'électricité à partir de sources renouvelables d'ici à l'an 2000; on en produit aujourd'hui 900 MW, avec relativement peu de subventions de l'État, contrairement à l'énergie nucléaire et au charbon, grâce à un processus d'appel d'offres compétitif. Les projets de cogénération par biomasse ont récemment été inclus dans la NFFO.

53. Les États-Unis tirent actuellement 4 % de leur énergie de la biomasse, et ont récemment installé une capacité d'environ 9 000 MW (niveau record) d'électricité produite par combustion de biomasse. Un ensemble de facteurs (faibles prix du pétrole, intensification de la concurrence dans le secteur des services de distribution, fermeture de centrales obsolètes et moins efficaces et réduction de la demande d'énergie) a ramené cette capacité à un peu plus de 7 000 MW. Le Ministère de l'énergie, en coopération avec le secteur privé, intensifie ses efforts pour doubler le taux de conversion de la biomasse et réduire les coûts de production d'électricité. L'on estime que d'ici à 2010, on pourrait installer une capacité de plus de 13 000 MW d'énergie produite à partir de la biomasse, ce qui permettrait d'assurer plus de 170 000 emplois. D'après d'autres projections, les chiffres iraient jusqu'à 22 000 MW et 50 000 MW de capacité et environ 283 000 emplois d'ici à 2010.

### 3. Le briquetage

54. Le briquetage, ou agglomération, connaît un regain d'intérêt dans un certain nombre de pays en raison de divers facteurs : existence de résidus qu'on peut se procurer facilement, commodité, progrès de la technologie de compactage, coût avantageux et possibilités de créer des entreprises. Dans l'État de Sao Paulo (Brésil), 30 000 tonnes de briquettes sont consommées par mois – 20 000 par le secteur privé (boulangeries et pizzerias par exemple), et 10 000 par le secteur industriel. Les briquettes d'agglomérés sont produites à partir de

sciure de bois et d'autres résidus traités. Parmi les principales raisons avancées en faveur de l'utilisation d'agglomérés, on cite leur commodité, leur homogénéité et forte teneur en énergie, et leur prix. L'Inde possède elle aussi de bonnes possibilités : 260 millions de tonnes par an de résidus agricoles, dont 100 millions sont inutilisés, pourraient servir à la fabrication d'agglomérés.

#### 4. Les combustibles liquides

55. L'intérêt qu'on porte dans le monde aux biocombustibles liquides pour les transports s'est considérablement accru ces 10 dernières années, malgré les faibles prix du pétrole, et il existe des études détaillées sur les coûts et les facteurs écologiques de ces combustibles. Un comité de la Communauté européenne a proposé comme objectif que, d'ici à 2010, le bioéthanol et le biodiesel constituent jusqu'à 5 % du marché des combustibles liquides; une superficie cultivée de 7 millions d'hectares (soit 5,5 % de la superficie agricole utilisée de la Communauté) serait nécessaire pour produire 7 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep). Les principaux producteurs mondiaux de biocombustibles liquides sont le Brésil et les États-Unis d'Amérique, suivis des pays de la Communauté européenne. Par comparaison, les autres pays peuvent être considérés comme des petits producteurs.

56. Le biodiesel comprend les esters éthyliques ou méthyliques des huiles comestibles. L'ester méthylique de colza (EMC), produit à partir de colza oléagineux, en est la principale source en Europe et au Canada, tandis qu'aux États-Unis l'on utilise l'huile de soja. Les avantages du biodiesel du point de vue de l'émission de gaz carbonique dépendent des intrants utilisés et de l'utilisation des sous-produits, et sont donc variables. Parmi les autres avantages écologiques, on peut citer des émissions négligeables de soufre, des émissions réduites de particules, et le fait qu'il s'agit d'un produit qui se biodégrade en quelques jours (ce qui le rend particulièrement indiqué pour usage sur les voies d'eau intérieures et autres environnements fragiles). En outre, le biodiesel fabriqué à partir de graines de colza a des propriétés lubrifiantes supérieures. Le biodiesel est aussi fabriqué dans divers pays en développement, comme le Brésil, le Mali et la Thaïlande. Au Mali, un projet est en cours pour déterminer le potentiel de production d'huile végétale à partir du médiciner comme substitut du diesel, et d'autres applications ont donné des résultats encourageants.

57. Le bioéthanol est produit à partir de cultures ayant une forte teneur en sucre ou en amidon. Les alcools ont des caractéristiques de combustion favorables : ils brûlent sans polluer et avec un indice d'octane élevé. Le bioéthanol présente en outre de nombreux avantages écologiques, en particulier pour ce qui est des émissions de plomb, de gaz carbonique, de dioxyde de soufre, de particules, d'hydrocarbures et d'oxyde de carbone. Le Brésil et les États-Unis ont fait oeuvre de pionnier pour ce qui est des programmes de production à grande échelle d'éthanol combustible, de même que le Zimbabwe, le Kenya et le Malawi sur une plus petite échelle. Certains pays ont modifié leurs industries sucrières et sont en mesure de produire du sucre, de l'alcool et de l'électricité avec de faibles coûts de production. Dans la Communauté européenne, on produit du bioéthanol à titre expérimental en Allemagne, en Italie et en Suède, et on mélange déjà une petite quantité de bioéthanol à

l'essence en France. Les produits de départ les plus prometteurs sont les céréales, la betterave à sucre, le sorgho à sucre, le topinambour et le raisin.

58. Le Brésil est l'un des principaux utilisateurs de la biomasse, en particulier dans les applications industrielles modernes. Depuis que le Programme ProAlcool a été établi en 1975, quelque 180 milliards de litres de bioéthanol ont été produits, et remplacent actuellement environ 200 000 barils par jour de pétrole importé. Au niveau record (à la fin des années 80), 5 millions d'automobiles marchaient au bioéthanol pur, et 9 autres millions utilisaient un mélange d'alcool et d'essence à 20-22 %. À la fin des années 80, une combinaison de facteurs (forte demande d'éthanol, hausse du prix du sucre et politique gouvernementale incertaine) a provoqué une pénurie d'éthanol, et le pourcentage de nouvelles voitures utilisant de l'éthanol pur est tombé de 51 % en 1989 à moins de 20 % en 1994. Depuis 1976, l'on a remplacé quelque 119 milliards de litres d'essence par de l'éthanol, d'une valeur totale de 27 milliards de dollars (valeur de 1994). Par comparaison, les investissements totaux dans le Programme ProAlcool s'élevaient à 11,3 milliards de dollars. Le Gouvernement a établi plusieurs mécanismes d'appui : il a assuré un marché, garanti un prix, offert des stimulants financiers aux producteurs d'éthanol et aux propriétaires de voitures marchant à l'éthanol, et investi dans la recherche-développement. Le programme a permis de créer directement 700 000 emplois, et indirectement 3 à 4 fois ce chiffre. Toutefois, il s'est heurté à certaines difficultés économiques, essentiellement en raison des changements survenus sur les marchés de l'huile et de la canne à sucre, qu'il faudra surmonter. L'avenir de cette industrie ne sera pas assuré tant que l'offre et la demande d'alcool ne seront pas stabilisées.

59. Les États-Unis sont le deuxième producteur mondial d'éthanol combustible. En 1994, la production était d'environ 5,3 milliards de litres (1,4 milliard de gallons américains), et de nouvelles installations d'une capacité de 908 millions de litres (240 millions de gallons) sont en construction. On prévoit de développer encore cette industrie, car l'on s'attend à ce que l'éthanol pénètre sur le marché de l'éther sous la forme de MTBE et en tant que carburant "propre". L'éthanol est produit actuellement dans 21 États, représente 10 % des ventes américaines de carburant, et est utilisé par plus de 100 millions d'automobilistes. Il est produit à partir de céréales, de fromage de petit-lait, de déchets d'agrumes et de résidus forestiers, mais la source prédominante est le maïs. Les dispositions du Clean Air Act de 1990 et du National Energy Policy Act de 1992 ont créé de nouveaux marchés pour l'éthanol, le méthanol et le gaz naturel, en introduisant progressivement l'obligation pour les véhicules d'utiliser des carburants plus propres. La société General Electric estime que, d'ici à 2005, environ 5 millions de véhicules utiliseront des carburants non pétroliers.

60. Au Zimbabwe, on a pu, depuis 1983, produire environ 40 millions de litres d'éthanol par an, sauf au cours de la grave sécheresse de 1991. L'usine d'éthanol de Triangle fonctionne avec succès depuis près de 15 ans, avec un financement assuré essentiellement par des capitaux locaux, en utilisant autant que possible les techniques autochtones plutôt que le matériel trop sophistiqué venant de l'étranger. L'investissement initial était de seulement 6,4 millions de dollars (aux prix de 1980), montant par litre le plus bas de toutes les usines d'éthanol de la planète. L'usine de Triangle présente un exemple de

bonne utilisation de techniques relativement simples, d'infrastructure locale, et d'engagement politique.

61. Jusqu'à une date récente, on ne considérait pas le méthanol combustible, ou méthanol dérivé de la biomasse, comme un substitut prometteur des combustibles fossiles étant donné le coût élevé des produits de départ de la biomasse et des économies d'échelle. Toutefois, d'importants progrès techniques réalisés ces dernières années ont modifié cette opinion. Le méthanol dérivé de la biomasse peut contribuer pour beaucoup à répondre aux besoins énergétiques des transports routiers si on l'utilise sur des véhicules équipés de piles à combustible. De tels systèmes sont économiquement attrayants à l'horizon 2010, et peuvent offrir l'avantage à la fois de très faibles émissions de polluants atmosphériques locaux et de faibles émissions nettes de gaz carbonique si la biomasse est cultivée de façon écologiquement rationnelle.

#### 5. Le biogaz

62. Le biogaz est produit par la fermentation anaérobie de matières organiques. Les systèmes de production sont relativement simples, peuvent fonctionner sur petite ou grande échelle pratiquement n'importe où, et le gaz produit sert à autant d'usages que le gaz naturel. La digestion anaérobie peut contribuer pour beaucoup à l'élimination des déchets ménagers, industriels et agricoles. L'économie de la production de biogaz a retenu une attention considérable, en particulier dans les pays industrialisés où la production d'énergie est combinée au traitement des déchets, à la réduction de la pollution atmosphérique et à l'application de la législation en matière d'environnement.

63. En Chine, à la fin de 1993, environ 525 millions de ménages agricoles étaient équipés de digesteurs, avec une production annuelle d'environ 1,2 million de mètres cubes. En outre, la Chine possède plus de 600 usines de biogaz, grandes ou moyennes, qui utilisent les déchets organiques provenant des fermes d'élevage et exploitations avicoles, des établissements vinicoles, etc., avec une capacité combinée de 220 000 mètres cubes. Ces usines traitent approximativement 20 millions de tonnes de déchets organiques par an, et desservent 84 000 ménages. La Chine a aussi construit 24 000 digesteurs de purification du biogaz pour traiter les déchets des zones urbaines, avec une capacité de près d'un million de mètres cubes, qui traitent les eaux usées de 2 millions de personnes. La Chine utilise également le biogaz pour produire de l'électricité. Il y existe environ 190 unités de production d'énergie électrique au biogaz, avec une puissance installée totale de près de 3 500 kW et une production annuelle de 3 GW/h d'électricité.

64. En Inde, en 1980, quelque 80 000 usines de biogaz familiales étaient déjà en exploitation; en 1993, il y en avait 1,85 million, dont les deux tiers opérationnelles, et 875 usines de biogaz communautaires. Le potentiel de marché des usines de biogaz familiales est estimé au total à environ 12 millions d'unités. Le programme national de mise en valeur du biogaz vise essentiellement à fournir une énergie propre pour la cuisson des aliments, produire du fumier enrichi comme appoint aux engrais chimiques, améliorer la qualité de vie des femmes rurales et assurer un meilleur assainissement et une meilleure hygiène.

65. Au Danemark, depuis le milieu des années 80, 10 usines de biogaz centralisées et 10 usines desservant une seule exploitation agricole ont été établies, avec une production de 14 millions de mètres cubes par an (0,5 PJ). Le concept des usines centralisées y est bien développé. Ces usines traitent à la fois les déjections animales et les déchets végétaux, et produisent du biogaz et des engrais. La capacité va de 50 à 500 tonnes de produits de départ par jour, et la production de 1 000 à 1 500 mètres cubes de biogaz par jour. La plus grande partie du biogaz sert à la production combinée de chaleur et d'électricité. Le coût du biogaz (impôts non compris) est de 1,6 à 1,7 couronne danoise (soit 0,15 à 0,16 dollar) le mètre cube, aux prix d'octobre 1994.

#### V. BILAN ÉCONOMIQUE ET COÛTS DE L'OPTION BIOMASSE

66. La plupart des techniques bioénergétiques n'ont pas encore atteint le stade auquel les seules lois du marché peuvent les faire adopter. L'un des principaux obstacles à la commercialisation de toutes ces techniques tient au fait que les marchés actuels de l'énergie ne tiennent guère compte des coûts et des risques, pour la société et l'environnement, de l'utilisation des combustibles classiques. En outre, les sources d'énergie classiques tendent à bénéficier de subventions et d'un appui considérables. On estime par exemple que la valeur totale des coûts externes de l'énergie aux États-Unis est de 100 à 300 milliards de dollars par an et que, dans nombre de pays en développement, les prix de l'énergie sont subventionnés à concurrence de 30 à 50 %. Parmi les autres coûts externes de l'énergie classique dont on ne tient habituellement pas compte, on peut citer le coût à long terme de l'épuisement des ressources non renouvelables et le coût des mesures visant à assurer des approvisionnements de sources étrangères.

67. La concurrence sur les marchés mondiaux de l'énergie ne se déroule pas sur une base équitable. Les infrastructures en place, les régimes fiscaux, les ressources financières consenties à la recherche-développement et le pouvoir des groupes d'intérêt politique tendent tous à oeuvrer en faveur des combustibles fossiles et de l'énergie nucléaire au détriment des sources d'énergie renouvelables comme la biomasse. Ainsi, à l'heure actuelle, la biomasse peut difficilement concurrencer les combustibles fossiles, sauf dans certains créneaux de marché ou lorsqu'il existe suffisamment d'incitations fiscales. Pour améliorer la situation, il faut axer les efforts sur deux domaines clefs : réduire le coût de production des combustibles et produits intermédiaires à base de biomasse, ainsi que les dépenses d'équipement concernant les usines de conversion de biomasse en vecteurs énergétiques utiles (électricité ou combustibles liquides par exemple).

68. Les dépenses d'équipement pour les installations de production de bioénergie sont généralement élevées du fait qu'il s'agit d'une technologie nouvelle (sauf dans le cas de l'éthanol) et que l'échelle en est relativement petite. Ces facteurs font monter les prix par rapport aux centrales alimentées aux combustibles fossiles, qui bénéficient des économies d'échelle et de l'expérience. Il faut donc mettre en place des usines de démonstration de techniques plus récentes et plus prometteuses que l'on pourrait reproduire et améliorer progressivement. D'après un auteur, les dépenses d'équipement des centrales électriques utilisant le système associant un gazogène intégré à

biomasse et une turbine à gaz passeraient de 3 000 dollars le kilowatt à 1 300 dollars le kilowatt après la construction de 10 unités.

#### A. La production de biomasse

69. Les cultures servant à produire de la bioénergie comme le maïs, la canne à sucre et la graine de colza, après de longs travaux de recherche-développement, donnent déjà des rendements élevés. En revanche, les arbres et les herbacées énergicoles, qu'on étudie actuellement comme produits énergétiques de départ, commencent à faire l'objet de travaux de recherche visant à obtenir des espèces à haut rendement en vue de la production d'énergie. Dans des stations expérimentales aux États-Unis, des cultivars de peupliers hybrides peuvent produire jusqu'à 29,6 tonnes anhydres à l'hectare par an dans le nord-ouest et ceux de panic raide jusqu'à 30,4 tonnes anhydres/ha par an dans le sud-est.

70. À titre de référence, le charbon commercialisé sur les marchés internationaux coûte à l'heure actuelle 1,8 dollar le gigajoule (45 dollars la tonne). Selon les prévisions du Ministère de l'énergie des États-Unis, ce chiffre tombera d'ici à 2010 à 1,3 dollar/GJ pour le charbon fourni aux compagnies de distribution d'électricité. Pour que se développe un vaste marché, il faut une offre fiable de biomasse à un prix égal ou inférieur à 2 dollars le gigajoule, soit une quarantaine de dollars la tonne anhydre. Au Brésil, les coûts moins élevés et les meilleures conditions de culture permettent de produire à meilleur marché de la biomasse d'origine végétale. On estime que 13 exajoules par an de biomasse pourraient être produits à partir de plantations dans le nord-est du Brésil à un coût égal ou inférieur à 1,5 dollar des États-Unis le gigajoule (valeur de 1988).

71. Les autres sources de biomasse comprennent les résidus industriels (par exemple les déchets provenant de la pâte à papier et du papier) ainsi que les résidus forestiers et agricoles (par exemple la paille). Ces sources peuvent être exploitées à très faible coût, voire gratuitement, en fonction de la demande et des facilités de transport. D'une manière générale, les coûts dans le secteur agricole sont plus élevés en Europe qu'aux États-Unis; il en va de même de la production de bioénergie. Les coûts actuels se situent entre 4 et 6 dollars/GJ contre ,5 et 4 dollars/GJ aux États-Unis.

72. Les résidus industriels constituent la forme de biomasse la moins chère. Les résidus agricoles comme la paille sont actuellement meilleur marché que le bois de plantation et pourraient être désavantagés à l'avenir par les rejets formés par les plantations à rotation rapide. Au Danemark, les biocombustibles utilisés pour le chauffage urbain sont compétitifs du fait de la forte imposition des combustibles fossiles. Les impôts sur l'énergie et les émissions de gaz carbonique ont relevé les prix du charbon et du gaz naturel qui sont passés respectivement de 3,03 dollars à 8,64 dollars le gigajoule et de 3,03 dollars à 10,15 dollars le gigajoule. Selon une étude réalisée aux Pays-Bas, il reviendrait en fait moins cher d'importer du bois des États baltes ou des pays en développement que d'en produire localement.

73. Les prix du bois de plantation en Suède (2,39 à 3,39 dollars/GJ) et en Finlande (3,1 dollars/GJ) sont comparables à ceux pratiqués dans des pays en développement comme le Brésil (1,41 à 1,50 dollar/GJ), l'Inde (1,41 à

1,91 dollar/GJ), la Thaïlande (1,69 à 1,91 dollar/GJ) et les Philippines (1 dollar/GJ). Malgré le faible coût de plantation dans les pays en développement, le bois peut souvent être obtenu à des tarifs encore plus bas par l'abattage des forêts naturelles. Le charbon de bois est un produit de grande valeur au Brésil, où il fournit 41 % de l'énergie utilisée en sidérurgie. Le charbon produit à partir du bois de plantation coûte entre 3,03 et 3,15 dollars/GJ contre 1,43 dollar/GJ pour le bois provenant de l'exploitation forestière illégale et 2,05 dollars/GJ pour celui de l'exploitation forestière autorisée. Il faut intensifier les travaux de recherche-développement si l'on veut élever le rendement et réduire le coût du bois de plantation de façon à décourager la poursuite du déboisement dans les régions tropicales.

#### B. L'énergie électrique et thermique

74. L'électricité est un vecteur énergétique ayant beaucoup plus de valeur que les combustibles solides ou liquides. De manière générale, les prix de gros de l'électricité sont de 5 cents/kWh, soit 14 dollars/GJ, contre à 5 dollars/GJ pour les combustibles liquides. Par conséquent, la conversion en électricité d'un produit de départ à coût relativement élevé comme la biomasse devrait être économiquement intéressante. Cela dit, la biomasse demeure en concurrence directe avec les combustibles fossiles, en particulier le charbon, pour la production d'électricité. Les systèmes associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz pourraient bénéficier d'investissements initiaux plus faibles que la technologie du charbon propre étant donné qu'ils n'exigent pas de désulfuration des gaz de combustion, et qu'à la différence du charbon, la gazéification du bois exige des températures plus basses. Certains auteurs prévoient des coûts de production d'électricité d'environ 5 cents/kWh (14 dollars/GJ) dans un proche avenir dans les pays industrialisés et à l'heure actuelle au Brésil.

75. La vente de l'énergie thermique provenant de centrales de production combinée de chaleur et d'électricité pourrait générer des revenus qui réduiraient le coût net de la production d'électricité à partir de la biomasse. Cette vente serait un important moyen de rendre la biomasse plus compétitive étant donné les économies d'échelle dont bénéficient les grandes centrales alimentées aux combustibles fossiles. Une étude réalisée au Royaume-Uni fait état d'un prix de vente plus bas pour l'énergie thermique, qui se situe à 1,56 cent/kWh. La conclusion en est que le coût net de l'électricité serait de 7,6 cents/kWh si elle est produite à partir de résidus ligneux et de 14,4 cents/kWh à partir de déchets de plantations à rotation rapide.

76. La biomasse coûte entre 30 et 40 % plus cher que les combustibles fossiles, ce que vient confirmer une expérience réalisée en Autriche où l'écorce humide (sous-produit des scieries) est vendue à entre 2,8 et 8,3 dollars/GJ et utilisée pour le chauffage urbain. La chaleur se vend à entre 6 et 9 cent/kWh. La biomasse servant au chauffage urbain coûte environ 30 % plus cher que le fioul dans ce pays. Un problème chronique auquel se heurte la promotion de l'énergie de biomasse est le fait que le manque de débouchés décourage les fournisseurs potentiels alors que l'absence de sources d'approvisionnement sûres décourage les utilisateurs potentiels. En France, des subventions à l'investissement sont accordées au chauffage à la biomasse, mais seulement lorsqu'un nombre suffisamment important d'installations sont envisagées dans une zone donnée.

Cette politique vise à créer des débouchés sûrs pour les producteurs de biomasse et les concepteurs de techniques de conversion. La combustion simultanée de la biomasse et des combustibles fossiles dans des centrales électriques classiques pourrait également offrir des débouchés stables aux producteurs de biomasse. La combustion simultanée suscite un regain d'intérêt chez les producteurs d'électricité car elle pourrait être une méthode à faible coût permettant de respecter les normes en matière d'émissions de soufre. La combustion simultanée de résidus organiques pourrait être la technique la plus économiquement attrayante dont on dispose actuellement pour convertir la biomasse en énergie.

### C. Les combustibles liquides et gazeux

77. On trouvera au tableau 2 la comparaison entre trois types de production de biogaz en Europe. Le premier est essentiellement un système de traitement des éléments organiques des déchets municipaux ou des déchets organiques provenant de la transformation des produits alimentaires. Les recettes proviendraient, dans une large mesure, des droits sur l'élimination des déchets plutôt que de la vente de biogaz. Cependant, le fort rendement en biogaz de ces déchets en fait un complément précieux des déjections animales dans le programme danois d'exploitation du biogaz, l'augmentation du rendement entraînant une amélioration de la rentabilité économique générale. L'Agence danoise de l'énergie se propose de réduire les frais d'exploitation à 3,75 dollars par mètre cube de produit de départ. Les recettes provenant de la vente de gaz (destiné au chauffage urbain ou aux centrales de production combinée de chaleur et d'électricité) sont estimées à 6,68 dollars par mètre cube de produit de départ. On pense que des subventions à l'investissement d'environ 20 % demeurent nécessaires. Le troisième exemple, la digestion anaérobie à petite échelle dans l'exploitation agricole elle-même peut être économiquement viable. Il convient de signaler toutefois que les petits moteurs utilisés pour produire de l'électricité sur place sont très peu performants, alors qu'il existe des moteurs diesel à deux carburants plus performants. Il faudrait un prix de vente de l'électricité de 10 à 15 cents/kWh pour que les agriculteurs et les investisseurs européens s'intéressent sérieusement à la production d'électricité par biogaz. Dans le cas du Royaume-Uni, si le biogaz agricole est utilisé pour la production combinée de chaleur et d'électricité et que l'énergie thermique est vendue à 1,56 cent/kWh, on obtient un coût net de l'électricité de 9,1 cents/kWh.

78. On trouvera au tableau 3 des données concernant la monographie d'une installation communautaire de production d'électricité à partir de biogaz dans un village du sud de l'Inde, avec comme produit de départ le fumier. L'étude conclut qu'à des taux d'intérêt élevés (plus de 7,5 %) et avec une grande capacité d'utilisation (heures par jour), l'installation pourrait produire de l'électricité à un coût moindre que le réseau centralisé.

79. Dans les pays industrialisés qui connaissent des excédents alimentaires, les exploitants agricoles s'intéressent vivement à la diversification en faveur de ces cultures afin d'utiliser les terres, les machines et la main-d'oeuvre inexploitées. Cependant, les cours du pétrole étant actuellement bas, le coût de ces cultures est généralement deux à trois fois supérieur à celui des combustibles fossiles concurrents (le prix de gros de l'essence est de 4 à 5 dollars/GJ et le prix au détail d'environ 7,5 dollars/GJ aux États-Unis).



C'est au Brésil que l'on trouve les coûts les plus bas du fait que les coûts de la production de canne à sucre sont faibles, et que l'expérience aidant, les dépenses d'équipement sont moindres. Les coûts de production ont baissé de 4 % par an de 1979 à 1988, et une baisse supplémentaire de 23 % serait possible avec un investissement relativement modeste. Les recettes provenant de la vente d'électricité produite à partir de la bagasse de canne (au moyen de techniques associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz) pourraient rendre l'éthanol concurrentiel au Brésil, même dans le contexte des faibles prix actuels du pétrole. Dans les pays industrialisés, on s'efforce de trouver des produits de départ bon marché.

80. La biomasse ligneuse pourrait fournir le produit de départ bon marché voulu pour rendre les combustibles liquides produits à partir de biomasse plus compétitifs. On estime que l'éthanol produit à partir de biomasse ligneuse coûterait, à l'heure actuelle, 15,1 dollars/GJ. Ce coût pourrait tomber jusqu'à 8,6 dollars/GJ. En revanche, on prévoit une augmentation du prix de gros de l'essence, qui passerait de 4,5 dollars/GJ (moyenne de 1993) à 6,8 dollars/GJ en 2010. Le méthanol suscite de l'intérêt comme carburant éventuel pour les véhicules utilisant des piles à combustible. Il est normalement produit à partir de gaz naturel ou de charbon. Sur la base des calculs effectués, il faudrait que le prix de la biomasse comme produit de départ tombe à 1,5 dollar/GJ pour soutenir la concurrence avec le charbon. En comparaison, les estimations des coûts de production du méthanol à partir de gaz naturel et de charbon sont respectivement de 7,3 dollars/GJ et de 11,7 dollars/GJ. Le tableau 4 donne le coût de production et le prix de vente du biodiesel. Le diesel est le combustible fossile concurrent, et son prix de gros se situe à environ 5,5 dollars/GJ. Des coproduits utiles (alimentation animale et glycérol) peuvent permettre de réduire le coût de production net. S'il est imposé à 10 % du taux frappant le diesel, le biodiesel pourrait occuper une part du marché européen. Des créneaux de marché pourraient exister dans les zones où la qualité de l'eau et de l'air revêt une importance particulière, notamment les parcs nationaux, les voies d'eau et les aires de ski.

#### D. Comparaison des coûts de la biomasse calculée au moyen d'une méthode unique

81. Il est difficile de comparer les différentes formes de bioénergie en raison des différentes hypothèses utilisées dans les calculs. Dans un modèle de calcul des coûts de la bioénergie en Australie prenant en compte les ressources disponibles, les débouchés et l'impact sur l'environnement, les sept systèmes les plus prometteurs sont (dans le désordre) : a) la conversion des résidus ligneux en électricité; b) la conversion de déchets municipaux solides en électricité; c) la conversion de déchets animaux et humains en électricité; d) la conversion de la biomasse ligneuse en éthanol; e) la conversion de la biomasse ligneuse en méthanol; f) la conversion des oléagineux en esters (biodiesel); et g) la conversion de biomasse en composés oxygénés.

#### E. Les coûts externes

82. Il est difficile d'estimer les coûts pour l'environnement et la société car l'on ne peut attribuer une valeur fixe à la vie humaine et aux agréments de l'environnement. Il est plus facile d'estimer les coûts médicaux ou les coûts

de nettoyage – par exemple le déversement de pétrole par l'Exxon Valdez a coûté 2,2 milliards de dollars et l'accident nucléaire de Three Mile Island en a coûté un milliard. Le coût des effets externes sur l'environnement de la production d'électricité (1982) en Allemagne est estimé à entre 0,011 et 0,061 deutsche mark/kWh pour les combustibles fossiles et à entre 0,012 et 0,120 deutsche mark/kWh pour l'énergie nucléaire. En y ajoutant les autres coûts externes et les dépenses d'appui, le coût total (1982) se situe entre 0,039 et 0,088 deutsche mark/kWh pour les combustibles fossiles et entre 0,097 et 0,208 deutsche mark/kWh pour l'énergie nucléaire.

83. Ainsi, les sources d'énergie renouvelables qui engendrent peu ou pas de coûts externes et ont plusieurs effets extérieurs positifs sont systématiquement défavorisés. Il faut donc, en priorité, s'employer à internaliser les coûts et avantages externes et à réorienter les subventions d'une manière plus équitable pour que les ressources renouvelables puissent être comparées sans handicap aux combustibles fossiles. Certains gouvernements s'efforcent d'élaborer des programmes prenant en compte les coûts externes tels que les impôts sur les émissions et les incitations à l'utilisation de carburants moins polluants, mais peu de plans ont à ce jour été mis en pratique, la plupart s'étant heurtés à une forte opposition. De manière générale, les règlements et droits appliqués actuellement aux émissions ne correspondent guère aux dommages réels causés par les combustibles fossiles ni au coût du déversement des déchets, de l'assurance et du déclassement des installations nucléaires étant donné qu'il s'agit souvent de compromis politiques.

84. Les estimations ci-dessus ne tiennent compte que des coûts privés (internes). Toute activité économique, en particulier la production d'énergie, engendre également des coûts externes que supportent les parties tierces autres que l'acheteur et le vendeur. Ces coûts peuvent être liés à l'environnement (par exemple dommages causés aux cultures par la pollution) ou non (par exemple subventions directes, sécurité nationale en matière d'approvisionnement en énergie, coût de la recherche-développement, fourniture publique de biens et services, etc.). Le calcul de la valeur monétaire des facteurs externes est source de controverses. Cela dit, si l'on applique une méthode commune à tous les types de combustibles, on peut en tirer des comparaisons utiles, et les auteurs s'accordant, dans une certaine mesure, sur les valeurs. Dans une étude, sur les coûts externes de l'utilisation de sources d'énergie renouvelables au lieu du charbon pour produire de l'électricité en Écosse, l'énergie éolienne et l'hydroélectricité avaient des coûts externes plus faibles que la biomasse alors que ceux des gaz de rejets et de la combustion de déchets solides urbains étaient plus élevés. On estime le coût externe du charbon à entre 3,55 et 5,4 cents/kWh contre entre 0,44 et 0,59 cent/kWh pour les cultures énergétiques. La prise en compte de ces coûts externes dans la planification des investissements en vue de nouvelles installations de production réduirait le coût de la biomasse par rapport au charbon de l'ordre de 3,1 à 4,8 cents/kWh. Ainsi, au prix actuel de l'électricité, qui est de 4 à 5 cents/kWh, l'électricité produite à partir de la biomasse à un coût de 7 à 10 cents/kWh serait concurrentielle.

85. La méthode d'évaluation des coûts externes adoptée par les services publics de distribution aux États-Unis a été examinée. Au total, 29 États tiennent compte des facteurs externes dans la planification ou l'acquisition de

ressources. Parmi ceux-ci, 22 ne le font que du point de vue de la qualité. Seuls cinq États s'efforcent d'établir la valeur monétaire des coûts externes : Californie, Massachusetts, Nevada, New York et Wisconsin. L'attention était presque exclusivement portée sur les facteurs externes d'ordre écologique (et non économique ou social), et en particulier sur les émissions dans l'atmosphère. Il existe de grandes variations entre les États en matière d'évaluation des facteurs externes, les valeurs adoptées pour les émissions de gaz carbonique allant de 1,21 dollar la tonne dans l'État de New York à 25,24 dollars la tonne dans le Massachusetts. Sur ces cinq États, seul le Massachusetts reconnaît que le piégeage du gaz carbonique au cours de la croissance des plantes atténue les émissions. Dans cet État, cela réduit le coût externe d'un projet sur le bois de plus de 5 cents/kWh à environ 1 cent/kWh.

#### F. Résumé

86. Les formes de bioénergie qui suscitent économiquement le plus d'intérêt sont basées sur les résidus organiques provenant de l'agriculture, de l'exploitation forestière ou de l'industrie. Lorsque ces résidus sont disponibles sur le plan local, la combustion simultanée, la production combinée de chaleur et d'électricité et le chauffage urbain exercent également un certain attrait. À mesure que se réduisent les coûts du bois de plantation et les dépenses d'équipement, la production d'électricité à partir de biomasse devient de plus en plus concurrentielle. Les techniques de gazéification de pointe pour la production d'électricité à partir du bois présentent certains avantages sur le plan du coût par rapport aux installations alimentées aux combustibles fossiles, ce qui les rend particulièrement prometteuses. Les techniques permettant de transformer la biomasse ligneuse en éthanol ne sont pas commercialement éprouvées, et seule une flambée des prix du pétrole les rendrait compétitives. Lorsque le procédé permet d'obtenir des coproduits utiles, comme dans le cas de la production de biodiesel à partir de graines de colza, il s'ensuit une hausse de la rentabilité économique. Le biogaz lui-même est un sous-produit du traitement des déchets organiques, et la vente de l'énergie qui en découle pourrait générer de gros revenus. Dans les régions isolées, la production locale de biocombustibles revient souvent moins cher que la fourniture de combustibles fossiles ou d'électricité de réseau. La prise en compte des coûts externes relatifs de la bioénergie par rapport aux combustibles fossiles permettrait d'accroître considérablement la viabilité économique de la biomasse. Les combustibles liquides et gazeux sont généralement moins compétitifs. Cependant, l'expérience brésilienne a montré que la production d'éthanol à partir de canne à sucre sera bientôt économiquement viable.

#### VI. IMPÉRATIFS ET INCIDENCES DES POLITIQUES EN MATIÈRE DE BIOÉNERGIE

87. Tout système moderne de production de bioénergie doit viser à :

a) Assurer, de façon durable, le maximum de rendement avec le minimum d'apports;

b) Faire profiter au maximum les collectivités locales et l'ensemble de la société des avantages économiques et sociaux;

/...

c) Assurer l'utilisation et la sélection de matières et de procédés appropriés dans les usines;

d) Utiliser au mieux les terres, l'eau et les engrais;

e) Mettre en place une infrastructure appropriée et une base de recherche-développement solide;

f) Prendre en compte les facteurs extérieurs. La plupart de ces éléments n'existent pas encore, surtout dans de nombreux pays en développement.

88. L'on pense que les lois du marché joueront certainement un rôle déterminant dans la mise en valeur de la bioénergie, mais l'expérience passée montre qu'en raison des bas prix des combustibles classiques, des subventions indirectes et des obstacles institutionnels, la bioénergie ne peut connaître de succès que si elle bénéficiait d'un appui politique et financier. Certains pays ont fourni cet appui : l'Autriche assure un appui politique par une législation favorable, des subventions en capital, un financement meilleur marché et l'éducation. Au Danemark, l'énergie verte et le développement durable bénéficient d'un appui politique au plus haut niveau tandis que la Finlande alloue des sommes considérables à la recherche-développement et démonstration. En Suède, la décision d'éliminer progressivement l'énergie nucléaire a joué en faveur de la bioénergie. Au Royaume-Uni, le principal instrument a été l'obligation d'utiliser les combustibles non fossiles par un processus d'appel d'offres. Les États-Unis ont adopté un certain nombre de mesures législatives et économiques visant à faciliter l'utilisation de sources d'énergie de substitution. Dans les pays en développement, la situation est plus difficile. Les prix de l'énergie classique (électricité, gaz de pétrole liquéfié (GPL), kérosène et diesel) sont souvent maintenus à des niveaux artificiellement bas grâce à des subventions visant à faciliter l'industrialisation ou pour d'autres raisons sociales, de sorte que peu de ressources financières sont allouées à la bioénergie. Des pays de vaste superficie comme le Brésil, la Chine et l'Inde ont d'assez importants programmes d'exploitation de sources d'énergie de substitution. Par exemple, le Brésil subventionne la production d'éthanol tandis que la Chine appuie les programmes relatifs au biogaz et aux fourneaux à bois. En Inde, premier pays à avoir créé un ministère des sources d'énergie renouvelables, les prix artificiellement bas des fournitures énergétiques entravent la mise en valeur de la bioénergie dans la plupart des cas.

89. Les subventions aux sources d'énergie renouvelables sont peut-être acceptables politiquement jusqu'à un certain stade de développement, mais, à terme, ce sont les lois du marché qui joueront le rôle principal. Il importe donc de prendre en compte tous les coûts et avantages de l'énergie. Dans le contexte politique actuel, il sera impossible d'accorder des subventions pendant longtemps, car il est probable que les prix de l'énergie suivront les prix pratiqués sur les marchés internationaux.

#### A. Les incitations financières

90. Les impôts et autres incitations financières sont des moyens d'intervention bien établis, que l'on utilise pour encourager la mise en valeur de telle ou telle source d'énergie. Les impôts peuvent être à la fois des obstacles et des

incitations à la promotion de sources d'énergie nouvelles, comme par exemple aux États-Unis où les impôts fédéraux ont joué l'un ou l'autre rôle selon la nature de la mesure fiscale adoptée. Les impôts sur les émissions de carbone constituent un concept relativement nouveau, mais peuvent jouer un rôle décisif dans l'exploitation de sources d'énergie qui, comme la biomasse, n'émettent que peu ou pas du tout de gaz carbonique. Étant essentiellement un moyen d'intervention, ces impôts varient d'un pays à l'autre et selon les circonstances. Dans les années 80, le recours aux impôts a été largement préconisé comme un moyen efficace de promouvoir les sources d'énergie renouvelables et de réduire les gaz à effet de serre. Cette doctrine n'est plus aussi vigoureusement défendue, essentiellement en raison de l'hostilité du secteur industriel et des contraintes politiques. Bien que le montant de l'impôt ne soit pas nécessairement élevé, la perspective d'une augmentation, alliée au caractère mondial du problème ont milité contre son application. Cependant, le concept connaît un début d'application dans certains pays : en Suède, l'impôt sur les émissions de carbone introduit en 1991 équivaut approximativement à 150 dollars par tonne de carbone et frappe le pétrole, le charbon et le gaz naturel; en Norvège, il est d'environ 120 dollars par tonne de carbone.

91. On estime qu'un prélèvement de 0,2 % sur la consommation de combustibles fossiles dans les pays membres de l'OCDE permettrait de mobiliser 833 millions de dollars par an. Si la moitié de cette somme était consacrée à la réduction du coût des systèmes de production d'électricité les plus prometteurs (énergie éolienne, héliothermique, photovoltaïque et de biomasse), ceux-ci pourraient être pleinement commercialisés dans un délai d'une dizaine d'années. Un exemple en la matière est le programme sur l'obligation d'utiliser des combustibles non fossiles (NFFO) qui a favorisé une baisse des prix soumissionnés de l'énergie éolienne, ceux-ci étant passés d'entre 14,4 et 17,6 cents/kWh en 1990 à 6,4 cents/kWh en 1994 grâce à un processus d'apprentissage par la pratique. Pour les 70 projets NFFO-3, portant sur une production totale de 316 MW, les soumissionnés étaient d'environ 6,2 cents/kWh contre 4,2 cents/kWh pour le prix moyen de l'électricité provenant de combustibles fossiles, sans tenir compte des coûts écologiques et sociaux qui, selon les estimations, atteindraient 6,4 cents/kWh. Le montant total des subventions accordées aux projets NFFO-3 est d'environ 27 à 35 millions de dollars, soit 48 à 64 cents par personne par an pour un contrat d'une durée de 20 ans, ce qui représente moins de 0,2 % du montant de la facture nationale d'électricité.

## B. Les tendances futures en matière d'énergie

92. Trois principaux aspects seront examinés ci-dessous : l'énergie en général, la bioénergie et les biocombustibles (liquides et gazeux).

### 1. L'énergie en général

93. Tout indique une structure plus complexe et variée de l'offre future d'énergie dans laquelle les sources d'énergie renouvelable auront une part importante et croissante. Un système plus décentralisé et diversifié d'approvisionnement en énergie permettrait un plus grand contrôle aux niveaux national, régional et local. Le rendement énergétique augmenterait, ce qui assurerait une croissance économique soutenue sans nécessairement entraîner

une augmentation de la consommation d'énergie par habitant dans les pays industrialisés. Dans les pays en développement, la demande d'énergie continuera d'augmenter du fait de la croissance démographique et de l'amélioration du niveau de vie, mais plus lentement du fait des progrès techniques. Les combustibles fossiles continueront d'être utilisés à grande échelle pendant longtemps au cours du siècle prochain mais leur part du marché ira décroissant tandis que celle des sources d'énergie de substitution dites "énergies sans carbone" augmentera assez considérablement. L'importance croissante de l'échange et du traitement de l'information contribuera pour beaucoup à accélérer le passage d'un système énergétique dominé par les combustibles fossiles à un système plus diversifié et décentralisé.

## 2. La bioénergie

94. Il devient évident que la bioénergie pourrait être une importante source d'énergie au cours du siècle prochain. Ses usages modernes augmenteront assez considérablement alors que ses usages classiques iront décroissant en termes relatifs. Cela dit, en termes absolus, du fait de la croissance démographique, il est probable que les utilisations classiques de la biomasse continueront d'augmenter. L'utilisation de la bioénergie sur une large échelle à des fins industrielles exigera de gros progrès en matière de techniques agricoles, si l'on veut augmenter la productivité et réduire les coûts, et de techniques de transformation (par exemple la gazéification). Les débouchés les plus prometteurs pour la bioénergie sont les centrales de production combinée de chaleur et d'électricité et de production de bioélectricité qui peuvent utiliser les techniques déjà éprouvées. À moyen terme, les techniques les plus récentes, notamment les gazogènes intégrés à biomasse, les turbines à gaz à circuit fermé, les systèmes associant un gazogène intégré à biomasse et des turbines à gaz et les turbines à cycle mixte, gaz/vapeur peuvent offrir de nouvelles possibilités économiques.

## 3. Les biocombustibles

95. Les facteurs techniques et écologiques, associés à l'accroissement du rendement énergétique des combustibles, permettent d'introduire de nouveaux carburants dans le secteur des transports à un rythme plus rapide qu'on ne l'aurait pensé il y a 10 ans, malgré le faible niveau des cours du pétrole. Il faudra toutefois une combinaison de facteurs d'ordre politique, commercial et technique. Les combustibles liquides de qualité seront réservés aux transports routiers et aériens et le pétrole restera prépondérant jusqu'en 2050 au moins.

96. Les biocombustibles liquides seront dominés par l'éthanol produit à partir de la canne à sucre au Brésil, du maïs aux États-Unis et de diverses cultures dans la Communauté européenne, les trois principales zones de production. De nombreux pays producteurs de canne à sucre feront probablement leur entrée sur le marché de l'éthanol, mais à plus petite échelle. Les utilisations de l'éthanol à d'autres fins que le transport pourrait comprendre l'industrie chimique et la cuisson des aliments ainsi que le pompage de l'eau dans les zones rurales. À plus long terme, la production d'éthanol par hydrolyse enzymatique à partir de produits de départ ligno-cellulosiques pourrait élargir considérablement le marché, du fait qu'il sera alors possible de produire de l'éthanol à des prix concurrentiels.

97. Le méthanol et l'hydrogène pourraient jouer un rôle vers 2010 s'ils sont utilisés dans les piles à combustible. Au départ, ils seraient produits par reformage du gaz naturel à la vapeur, le procédé le plus économique à court terme. Certes, il reste fort à faire, mais le méthanol et l'hydrogène produits à partir de la biomasse pourraient contribuer pour beaucoup à satisfaire les besoins en carburants pour le transport à des coûts concurrentiels et offrir de nombreux avantages économiques, en particulier lorsqu'ils sont produits dans les zones rurales des pays en développement.

98. Le biodiesel suscite de plus en plus d'intérêt mais, à l'exception de quelques pays comme le Brésil, les États membres de la Communauté européenne et éventuellement les États-Unis, le marché sera étroit et limité à cause des coûts élevés et de la forte demande d'huiles comestibles. Dans les zones rurales les plus reculées de certains pays en développement offrant de grandes possibilités de production, le biodiesel pourrait contribuer à satisfaire les besoins locaux. Par exemple, au Brésil, où l'on dénombre quelque 40 000 petits villages ruraux isolés, il est logique de produire du biodiesel pour satisfaire les besoins locaux (éclairage, pompage de l'eau, etc.). Les coûts élevés peuvent se justifier par le fait que la connexion au réseau national et le transport du diesel coûteraient plus cher. À court terme, l'utilisation du biodiesel sera probablement limitée aux pays de l'OCDE qui, pour des raisons d'ordre écologique, agricole et autre, peuvent se permettre de payer des subventions élevées.

### C. Les principales lacunes de la recherche

99. Malgré l'importance fondamentale de la bioénergie dans de nombreux pays en développement, les responsables des décisions et de la planification en matière d'énergie n'accordent pas l'attention voulue à la gestion de la production, de la distribution et de l'utilisation de la biomasse. Les rares mesures appropriées en vigueur sont souvent inefficaces dans la pratique du fait de l'effet conjugué de facteurs tels que les contraintes budgétaires, le manque de main-d'oeuvre, le faible rang de priorité qui leur est accordé, le manque de données, etc. Davantage de données concernant tous les aspects de la production et de l'utilisation de la biomasse doivent être régulièrement fournies, de façon à ce que, dans la recherche, la bioénergie soit placée sur un pied d'égalité avec les autres sources d'énergie. Le manque de données entrave la planification des programmes énergétiques en vue de la production et de l'utilisation de la bioénergie. Les études détaillées effectuées au niveau national ou régional sont rares. Par exemple, il y a peu de courants d'échange concernant la bioénergie au niveau national, sauf aux États-Unis, au Kenya et au Zimbabwe, et il existe peu de données fiables en la matière. Et pourtant, ces échanges constituent des méthodes très utiles de présentation des données et peuvent donner un bon aperçu des conditions et possibilités nationales, régionales et locales en matière d'offre et d'économies d'énergie.

100. La recherche sur la bioénergie a généralement porté sur les données relatives à l'offre et à la consommation et les procédés de conversion, une attention et des ressources insuffisantes étant accordées à la recherche plus fondamentale sur la production, la collecte et les procédés intégrés de conversion. En outre, peu de travaux de recherche sont effectués sur les tendances du marché, les facteurs économiques et le rôle des entrepreneurs dans

l'approvisionnement des utilisateurs finals en bioénergie et pour déterminer si ces services sont fournis de façon viable.

## VII. CONCLUSIONS

101. L'intérêt croissant que suscite la bioénergie tient à une vaste gamme de facteurs : préoccupations concernant l'environnement, l'écologie et la viabilité; contribution potentielle de la bioénergie tant sous ses formes modernes que classiques; usages multiples et disponibilité de la bioénergie à l'échelle mondiale; avantages sur le plan local; tendance dans les pays industriels à produire des cultures énergicoles sur des terres réservées; enfin, progrès techniques tendant à améliorer la viabilité économique. Pour la première fois, la bioénergie est reconnue comme un élément important dans de nombreux scénarios concernant l'énergie dans l'avenir, sa part dans l'offre d'énergie se situant entre environ 10 % et plus de 30 % d'ici à 2050. Selon le scénario de l'utilisation intensive des énergies renouvelables à l'échelle mondiale, par exemple, 17 % de l'électricité mondiale pourrait être produits à partir de la biomasse moderne d'ici à 2050. Étant donné la nature de la bioénergie, qui est si mal présentée et sous-évaluée dans de nombreuses statistiques officielles, la situation ne peut être valablement présentée avec plus de précision. Ayant été pendant longtemps la principale source d'énergie dans de nombreux pays pauvres et un élément important dans l'approvisionnement de nombreux pays industriels, la biomasse pourrait à l'avenir jouer un rôle de premier plan comme source d'énergie moderne. Cependant, si elle est utilisée sous ses formes classiques, sa contribution pourrait être relativement moins importante (mais pas en termes absolus).

102. Un problème majeur que posent les formes classiques de la bioénergie tient au fait qu'elles sont souvent utilisées de manière peu rationnelle, peu d'énergie utile étant en fait produite. Davantage d'énergie peut être économiquement produite à partir de la biomasse à l'heure actuelle, ce qui en accroîtrait considérablement le potentiel énergétique. En effet, la recherche de solutions au faible rendement énergétique, en particulier dans les zones rurales des pays en développement, n'a pas fait l'objet de mesures appropriées, ni été une priorité. Utilisée de manière peu rationnelle, la bioénergie peut être préjudiciable à l'environnement. En revanche, si elle est produite de manière rationnelle et durable, la bioénergie offre de nombreux avantages écologiques et sociaux par rapport aux combustibles fossiles. Ces avantages comprennent le développement socio-économique, le contrôle et l'élimination des déchets et le recyclage des nutriments, la création d'emplois, l'atténuation des émissions de gaz carbonique et une meilleure gestion des terres et sont fonction de la nature de la source d'énergie et de la technique concernée. Parmi les diverses stratégies examinées en vue d'atténuer la production de gaz à effet de serre, la substitution de la biomasse aux combustibles fossiles est une option de plus en plus acceptée car elle semble être une stratégie efficace tant sur le plan économique qu'écologique, en particulier en matière de réduction des émissions de carbones (la possibilité de réduction du gaz carbonique est de 1 Gt à 3,5 Gt par an).

103. Une préoccupation majeure, peut-être méconnue, est l'impact à long terme des grandes plantations de monocultures énergicoles sur l'environnement. L'expérience et les travaux de recherche récents montrent qu'en ayant recours



à des pratiques judicieuses en matière de gestion, à la planification de l'occupation des sols et à un choix approprié des espèces et clones, on peut prévenir les effets négatifs et favoriser les aspects positifs.

104. La disponibilité de terres et la production de bioénergie sont intimement liées. De nombreuses études ont été effectuées pour déterminer la superficie des terres disponibles à l'échelle mondiale qui pourraient être utilisées à des fins autres que l'agriculture. Celle-ci se situe entre 150 millions d'hectares et 1 200 millions d'hectares, ce qui atteste le manque de critères appropriés pour classer les terres dégradées et abandonnées. Ces études et bien d'autres semblent ainsi démontrer que les craintes concernant les terres ne sont pas bien fondées, si l'on fait abstraction des priorités locales en matière d'utilisation des terres. Ce dont on ne peut douter est que, dans la Communauté européenne et aux États-Unis, de vastes superficies sont enlevées de la production alors que dans les pays tropicaux en développement, de vastes superficies de terres déboisées et dégradées inadaptées à l'agriculture pourraient être améliorées par la création de plantations bioénergétiques.

105. La concurrence entre bioénergie et production alimentaire est une autre source de préoccupation. Pour bien analyser le choix à faire entre production alimentaire et production de combustibles, il convient de se pencher de près sur certaines questions, notamment la production et la consommation alimentaires, les modes de distribution, la faim, le manque de pouvoir d'achat, les inégalités, les terres et les céréales utilisées pour l'élevage, la sous-utilisation des terres agricoles, l'insuffisance des investissements, les cultures d'exportation, le régime foncier, les guerres et les ingérences politiques.

106. Lorsqu'ils bénéficient de l'appui voulu (recherche-développement, infrastructure, ressources financières, etc.), les agriculteurs ont démontré qu'ils pouvaient produire considérablement plus de denrées alimentaires. Pour que davantage de produits alimentaires soient mis à la disposition de ceux qui n'en ont pas suffisamment actuellement, il faut modifier le système actuel de production et de distribution. Il importe également de se rappeler que la production alimentaire et l'énergie sont intimement liées et complémentaires. Associés à l'agroforesterie et à l'exploitation agricole intégrée, les programmes d'exploitation de la bioénergie peuvent accroître la production alimentaire en fournissant de l'énergie et en créant des revenus lorsqu'il y en a besoin.

107. Parmi les nombreux avantages sociaux de la bioénergie, la création d'emplois a été présentée comme l'un des plus importants. La production traditionnelle de bioénergie est une activité à forte intensité de main-d'oeuvre qui occupe un grand nombre de personnes qui, souvent, ne sont pas enregistrées. Par exemple, la production de charbon de bois en Afrique subsaharienne est, du point de vue énergétique et économique, une importante activité qui rapporte environ 2 milliards de dollars et emploie des centaines de milliers de personnes; pourtant elle est largement méconnue des pouvoirs publics et des organismes d'assistance. La production moderne de bioénergie est une activité à plus faible intensité de main-d'oeuvre, mais elle crée plus d'emplois que des activités industrielles similaires.

108. Du fait des progrès techniques, de nouvelles possibilités s'offrent à la bioénergie qui étaient considérées il y a seulement quelques années comme relevant des perspectives à long terme. Des progrès notables ont été accomplis en matière de gazéification et d'autres techniques sous l'impulsion de la Communauté européenne et des États-Unis (gazogènes intégrés à biomasse, turbines à cycle mixte, combustion simultanée, biocombustibles bruts, etc.), le Brésil et l'Inde jouant également un rôle de plus en plus important. En ce qui concerne les biocombustibles, le Brésil et les États-Unis dominent le marché de l'éthanol tandis que le Danemark, la Chine et l'Inde dominent celui du biogaz. Le méthanol et l'hydrogène produits à partir de la biomasse sont prometteurs car ils offrent des possibilités d'utilisation dans les véhicules alimentés aux piles à combustibles. La plupart des sources de bioénergie n'ont pas encore atteint un stade où les seules lois du marché peuvent en rendre l'adoption possible. Parmi les exceptions on peut citer l'utilisation de résidus agricoles et forestiers, lorsqu'ils sont facilement disponibles, pour produire de la chaleur, de l'électricité et du biogaz qui peuvent être vendus à des prix concurrentiels. L'un des principaux obstacles à la commercialisation des sources d'énergie renouvelables est le fait que les marchés énergétiques actuels méconnaissent largement les coûts et les risques sociaux et écologiques associés à l'utilisation des combustibles classiques, les subventions indirectes, les coûts à long terme de l'épuisement des ressources non renouvelables et les coûts des mesures tendant à assurer des approvisionnements fiables de sources étrangères.

109. Les pressions croissantes sur l'environnement, ainsi que les progrès techniques et l'accroissement du rendement et de la productivité rendent les produits de départ de la biomasse économiquement attrayants dans de nombreuses parties du monde. La cogénération (chaleur et électricité) offrent les perspectives commerciales les plus immédiates, sous l'impulsion des industries du papier et de la pâte à papier et du bois, et ce, grâce à l'utilisation des déchets ligneux, de la bagasse provenant de l'industrie de la canne à sucre ainsi que d'autres résidus agricoles utilisés dans l'agro-industrie.

110. Le succès de la bioénergie, en particulier sous ses formes modernes, exige qu'elle soit traitée sur un pied d'égalité avec les combustibles fossiles bien établis. Pour ce faire, il faudrait fournir au départ des incitations sous forme de subventions, d'avantages financiers, d'impôts sur les émissions de carbones, etc. L'expérience des pays qui ont fait une contribution considérable à la mise en valeur de la bioénergie moderne en témoigne clairement. À plus long terme, il faudrait laisser les lois du marché jouer leur rôle.

111. Prévoir les tendances énergétiques est, on le sait bien, très difficile. Les futurs systèmes d'approvisionnement en énergie pourraient être plus décentralisés, les sources d'énergie renouvelables y jouant un rôle de plus en plus important. L'accroissement du rendement énergétique allant de pair avec les progrès techniques pourrait réduire la demande d'énergie. Les combustibles fossiles continueront d'être prépondérants pendant longtemps au siècle prochain, mais la part des différentes formes de bioénergie dans le marché augmentera. Le pétrole continuera d'être la principale source d'énergie dans le secteur des transports, mais les combustibles liquides à base de biomasse joueront un rôle de plus en plus important. Quant au biodiesel, il pourrait également devenir plus important dans les pays membres de l'OCDE mais son utilisation sera limitée

dans certains pays en développement. Le méthanol et l'hydrogène produits à partir de la biomasse sont des sources d'énergie éventuelles à long terme.

112. Les principales lacunes en matière de recherche-développement doivent être surmontées, en particulier lorsqu'elles ont trait à la production et à l'utilisation écologiquement rationnelles de l'énergie. Un problème majeur est le fait que, jusqu'à une date récente, un faible rang de priorité était accordé à la bioénergie dans l'allocation des ressources consacrées à la recherche-développement, à la planification et à la mise en oeuvre des politiques. Il faudra du temps pour inverser cette tendance.

#### VIII. RECOMMANDATIONS

113. Il n'est ni possible ni souhaitable de proposer une série uniforme et universelle de recommandations étant donné la nature de la bioénergie. Cependant, pour favoriser l'introduction de la bioénergie, on recommandera les grandes orientations ci-après :

a) Élaborer des politiques claires visant à mettre la bioénergie sur un pied d'égalité avec les sources d'énergie classiques grâce à la fixation de prix rationnels de l'énergie;

b) Fournir des incitations financières à l'exploitation de la bioénergie, en particulier aux services publics de distribution et aux entrepreneurs locaux, et permettre la vente de bioélectricité, de chaleur et de gaz par des producteurs privés; fournir des capitaux et des crédits pour encourager les activités commerciales;

c) Orienter les travaux de recherche-développement vers les domaines les plus prometteurs de l'exploitation de la biomasse de sorte à accroître l'offre d'énergie et améliorer la base technologique;

d) Examiner minutieusement les succès et les échecs passés de façon à faire des recommandations motivées à l'adresse des décideurs, en particulier eu égard à une exploitation écologiquement acceptable et rationnelle de l'énergie aux niveaux local et régional;

e) Prendre en compte les coûts externes et les avantages de la bioénergie; mettre au point des méthodes à cet effet;

f) Mettre en place des systèmes de distribution de la bioénergie qui facilitent la consommation et l'utilisation;

g) Examiner les aspects socio-économiques corrélatifs de la bioénergie;

h) Accorder une plus grande attention à la production et à l'utilisation rationnelles des produits de départ de la bioénergie, aux méthodes de conversion et aux flux énergétiques à haut rendement;

i) Effectuer davantage de travaux de recherche-développement sur les techniques de lutte contre la pollution (notamment au niveau local), le rendement énergétique et la mise au point de nouveaux systèmes de conversion;

j) Renforcer les capacités en matière de gestion de la bioénergie en tirant parti des connaissances locales et encourager les approches multidisciplinaires;

k) Promouvoir l'exploitation viable de grandes plantations de production de biomasse de sorte à réduire les coûts et à les rendre écologiquement acceptables;

l) Offrir de meilleurs débouchés et conditions aux fournisseurs potentiels et accroître l'offre sur les marchés potentiels.

#### Notes

<sup>1</sup> Documents officiels du Conseil économique et social, 1994, Supplément No 5 (E/1994/25).

<sup>2</sup> Documents officiels du Conseil économique et social, 1995, Supplément No 5 (E/1995/25), chap. I.

<sup>3</sup> D. O Hall, F. Rosillo-Calle, et J.I. Scrase "Biomass: an environmentally acceptable and sustainable energie source for the future".

Tableau 2

Rendement et coût des installations de production de biogaz et recettes provenant de la vente d'énergie en Europe

Type d'installation	Rendement en gaz (m <sup>3</sup> par m <sup>3</sup> de produits de départ)	Valeur du gaz (dollars É.-U. par m <sup>3</sup> de produits de départ) <sup>a</sup>	Dépenses d'équipement et d'exploitation (dollars É.-U. par m <sup>3</sup> de produits de départ)	Valeur nette de l'énergie (dollars É.-U. par m <sup>3</sup> de produits de départ)
Installation spécialisée pour les déchets solides municipaux <sup>b</sup>	60 — 150	7 — 18	80 — 150	< — 60 <sup>c</sup>
Programme centralisé danois sur le biogaz	20 — 80	2 — 10	7 — 14	-12 — +3
Production à faible coût dans les exploitations agricoles (Suisse et Allemagne)	5 — 20	1 — 2	1 — 5	-4 — +1

Source : Département de la coordination des politiques et du développement durable du Secrétariat de l'ONU.

<sup>a</sup> Le prix de vente du biogaz était de 0,12 dollar par m<sup>3</sup> de gaz.

<sup>b</sup> Déchets solides municipaux triés à la source ou déchets provenant de fruits, légumes, jardins, potagers, etc.

<sup>c</sup> Les recettes de ce type d'installation proviendront essentiellement des droits d'élimination des déchets.

Tableau 3

Coût d'un petit système communautaire de production d'électricité à partir du biogaz à Pura (Inde)

Coût par kWh de capacité installée (1992)	1 014 dollars É.-U.
Coût de l'électricité si elle est produite 4,2 heures par jour	0,25 dollar É.-U./kWh
Coût de l'électricité si elle est produite 20 heures par jour	0,07 dollar É.-U./kWh
Taux d'intérêt minimum auquel la production d'électricité à partir du biogaz est meilleur marché qu'un système de production centralisé	7,5 %

Source : Département de la coordination des politiques et du développement durable du Secrétariat de l'ONU.

Tableau 4

## Coût du biodiesel en Europe et aux États-Unis d'Amérique

Année	Lieu	Produits de départ	Coût (cents É.-U. par litre)	Coût (dollars É.-U./GJ)
1994	États-Unis	Soja	81,9	22,7 <sup>a</sup>
1994	États-Unis	Graines de colza	72,7	19,8 <sup>a</sup>
1994	Communauté européenne/États-Unis	Graines de colza	81,7 — 115,8	24,9 — 35,3 <sup>b</sup>
1995	Royaume-Uni	Graines de colza	51,3	15,6 <sup>c</sup>
1995	Royaume-Uni	Graines de colza	79,1	24,1 <sup>d</sup>
1995	Communauté européenne	Graines de colza	57	17,7
2005	Communauté européenne	Graines de colza	42	12,8
Avenir	Communauté européenne/États-Unis	Graines de colza	41,0 — 50,3	12,5 — 15,3 <sup>b</sup>

Source : Département de la coordination des politiques et du développement durable du Secrétariat de l'ONU.

<sup>a</sup> Prix de l'huile comestible produite dans des usines dans le Montana et le Missouri.

<sup>b</sup> Le prix de 1994 représente un coût de production calculé sur la base d'un taux d'actualisation de 5 % et des coûts de facteur pour les matières premières (c'est-à-dire le prix du marché plus le montant moyen des subventions aux exploitants agricoles). Le coût pour "l'avenir" est basé sur le prix le plus bas de 1991 ou le prix du marché, et un taux d'actualisation de 5 %.

<sup>c</sup> Le coût de production de 85,1 cents É.-U. par litre moins les recettes provenant des sous-produits à 34,8 cents par litre suppose un remboursement de l'investissement sur une période de 5 ans à un taux d'intérêt de 10 %.

<sup>d</sup> Prix de vente, en supposant que le biodiesel est imposé à 10 % du taux de l'impôt sur le diesel minéral (prix de vente 85,1 cents le litre).

-----