

**Conseil économique et social**

Distr. générale
12 janvier 2001
Français
Original: anglais

Commission du développement durable**Neuvième session**

16-27 avril 2001

Dialogue multipartite sur l'exploitation de l'énergie durable et des transports**Note du Secrétaire général****Additif****Document de travail présenté par les milieux scientifiques et technologiques*****Table des matières**

	<i>Page</i>
Le rôle des milieux scientifiques	2
Thème 1. Mesures visant à assurer un accès équitable à une énergie moins polluante	4
Thème 2. Options en matière de production, de distribution et de consommation d'énergie . . .	7
Thème 3. Partenariats publics et privés au service de l'énergie durable dans le transport	13
Thème 4. Planification du transport durable : choix et modèles pour la conception des établissements humains et solutions de rechange aux véhicules	15

* Établi conjointement par le Conseil international des unions scientifiques et l'Union mondiale pour la nature; les vues et opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement celles de l'Organisation des Nations Unies.

Le rôle des milieux scientifiques

1. Quatre grandes questions ayant trait au passage à des systèmes d'exploitation durable de l'énergie et des transports à l'échelon mondial sont examinées dans le présent document¹. L'accent est mis sur les aspects liés à la science et à la technologie. Il s'agit d'aspects importants puisque les différents scénarios énergétiques établis pour l'avenir correspondent pour l'essentiel à différentes hypothèses avancées quant au rythme et à la nature des progrès technologiques.

2. Toutefois, pour progresser avec succès dans la voie de l'exploitation durable de l'énergie et des transports, il faut plus que des connaissances scientifiques et technologiques. Il faut des outils économiques et des politiques gouvernementales rationnelles. Les efforts dans ce sens se sont jusqu'à présent heurtés plus à des politiques inappropriées et aux choix politiques qui les sous-tendent qu'à des difficultés d'ordre scientifique et technologique. L'exploitation durable de l'énergie peut nécessiter des ajustements sociaux encore plus fondamentaux². Les systèmes de valeur doivent réduire au

maximum l'importance actuellement accordée aux matériaux et à l'énergie et encourager leur utilisation plus rationnelle afin d'introduire des modes de consommation plus viables. La science et la technologie peuvent favoriser une telle transition mais n'y suffiront pas à elles seules. En effet, il n'existe pas de « panacée technologique ». Les sciences sociales ont un rôle de premier plan à jouer à cet égard.

3. Dans Action 21, on a reconnu l'importance des milieux scientifiques et technologiques pour atteindre les objectifs fixés en matière d'environnement et de développement, notamment en raison de leur capacité de fournir des informations en vue d'aider les décideurs à élaborer et choisir des politiques appropriées. On y a également souligné la nécessité d'améliorer les communications et la coopération entre les milieux scientifiques et technologiques, les décideurs et le grand public. Des mesures ont été prises en ce sens lors de la Conférence mondiale sur la science du CIUS/UNESCO, tenue à Budapest en juin 1999 et de la Conférence des Académies scientifiques mondiales, organisée par le Groupe interacadémies sur les questions internationales à Tokyo en mai 2000. La participation pour la première fois des milieux scientifiques et technologiques aux délibérations de la Commission du développement durable est une autre initiative prise à cette fin.

4. Avant d'aborder les points de l'ordre du jour consacrés à l'énergie et aux transports, les milieux scientifiques et technologiques internationaux souhaitent appeler l'attention sur plusieurs questions d'ordre général qui méritent un examen attentif et la prise de mesures par la neuvième session de la Commission du développement durable et d'autres instances.

5. Le premier problème concerne la contraction des dépenses au titre de la recherche-développement dans le domaine énergétique. Entre 1980 et 1999, les dépenses publiques engagées à ce titre par les pays membres de l'Agence internationale de l'énergie, qui représentent la majeure partie de ces dépenses dans le monde entier, ont diminué de plus de 50 %. (Les dépenses publiques dans tous les types de recherche-développement sont elles aussi demeurées inchangées dans de nombreux pays mais sans pour autant chuter si brutalement). La chute des dépenses de recherche-développement dans le domaine des sources d'énergie renouvelables et de l'énergie nucléaire a été supérieure

¹ Le Conseil international des unions scientifiques (CIUS), composé de 98 membres nationaux pluridisciplinaires (académies des sciences ou conseils de la recherche scientifique) et de 26 unions scientifiques internationales unidisciplinaires, est une importante tribune internationale pour les milieux scientifiques. L'Union mondiale pour la nature (UICN) est la plus grande organisation mondiale de défense de la nature, puisqu'elle réunit dans le cadre d'un partenariat mondial 76 États, 111 organismes gouvernementaux, 732 organisations non gouvernementales, 36 affiliés et quelque 10 000 scientifiques et experts originaires de 181 pays. Il convient aussi de remercier la Fédération mondiale des organisations d'ingénieurs (FMOI) et le Groupe interacadémies sur les questions internationales pour leurs importantes contributions au présent document. Ces entités ont consulté leurs membres en vue de réunir des vues très diverses sur les sciences naturelles, sociales et médicales et les sciences de l'ingénieur. Toutefois le présent document ne représente pas une position ni une déclaration officielle de ces entités.

² *Transition to Sustainability in the 21st Century: The Contribution of Science and Technology*, Déclaration des Académies scientifiques mondiales, mai 2000, <http://interacademies.net/intracad/tokyo2000.nsf/all/sustainability_statement>. Voir aussi déclaration du Conseil scientifique japonais, *Towards a Comprehensive Solution to Problems in Education and the Environment based on a Recognition of Human Dignity and Self-Worth*, juillet 2000.

à ce chiffre moyen³. Il semble aussi que les dépenses privées aient été sensiblement réduites, et la plupart de la recherche-développement dans le domaine de l'énergie réalisée par le secteur privé est entreprise dans un nombre restreint de pays (essentiellement développés). Par ailleurs, il semble que tant le secteur public que le secteur privé abandonnent la recherche fondamentale à long terme au profit de projets de recherche-développement dans le domaine de l'énergie à plus court terme présentant moins de risques. Ce phénomène est particulièrement préoccupant car le respect des engagements concernant la réduction des émissions de gaz carbonique prévue dans le Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques exigera à terme des progrès décisifs dans le domaine des technologies énergétiques si l'on veut assurer la croissance des pays en développement. La recherche fondamentale n'est pas coûteuse par rapport aux interventions en aval, telles que l'achat au rabais de technologies afin d'en réduire le coût unitaire, et représente donc une assurance bon marché sur l'avenir. Il importe de se garder d'avoir une vision étroite des types de recherche pouvant se révéler importants pour l'exploitation durable de l'énergie et des transports. Les résultats de la recherche fondamentale sont imprévisibles et des données utiles peuvent surgir de sources inattendues. Ainsi, des domaines tels que les sciences de l'atmosphère, les technologies de l'information, la science des matériaux et la biotechnologie peuvent déboucher sur des découvertes qui favorisent l'exploitation durable de l'énergie et des transports. Le recours exclusif au marché a peu de chances de produire le niveau et le type voulus de recherche-développement dans le domaine de l'énergie car les entreprises ont beaucoup de mal à chiffrer ses avantages de la recherche-développement à long terme et à haut risque, qui bénéficie donc généralement de crédits insuffisants⁴.

6. En deuxième lieu, un effort énorme doit être consenti pour renforcer les capacités scientifiques et

technologiques de pays en développement et en transition. Une masse critique de compétences et infrastructures scientifiques et techniques (laboratoires, matériel, organismes de soutien, etc.) est nécessaire pour que ces pays puissent mettre au point, adapter et produire des technologies répondant à leurs besoins, introduire efficacement ces technologies sur le marché et assurer en permanence l'entretien requis.

7. En troisième lieu, des échanges nombreux et ouverts de données et informations scientifiques et technologiques sont essentiels pour la recherche et l'éducation. L'accès à ces données et informations est indispensable pour relever les défis du développement durable – y compris dans les domaines de l'énergie et des transports. Les tentatives visant à restreindre cet accès ou à en accroître le coût se multiplient. Avec l'évolution des attitudes et des politiques à l'égard des droits de propriété intellectuelle, l'importance d'un plein et libre accès aux données et informations est sous-estimée, lorsqu'elle n'est pas franchement ignorée. Ce phénomène met gravement en danger l'effort scientifique en général et risque d'avoir des répercussions particulièrement néfastes sur les pays en développement et en transition.

8. Un quatrième aspect concerne la déontologie scientifique et la responsabilité des milieux scientifiques. Pour venir à bout des problèmes scientifiques et politiques, notamment ceux liés à l'énergie et aux transports, il est indispensable de faire preuve d'intégrité et d'objectivité dans la pratique de l'activité scientifique. Ce principe a été évoqué lors de la Conférence mondiale sur la science et en d'autres occasions mais doit être réitéré et renforcé dans le cadre de la Commission du développement durable.

9. Enfin, le public ne comprend toujours pas très bien les questions liées à l'énergie et à l'environnement. Il convient donc d'entreprendre des activités d'éducation dans ces domaines, à l'intention du grand public mais aussi des hommes politiques et fonctionnaires qui élaborent et appliquent les politiques.

10. Propositions de caractère général :

a) Les gouvernements, de même que les organisations scientifiques et internationales, agissant en coopération avec le secteur privé et, le cas échéant, d'autres organismes, devraient entreprendre à l'échelon international une évaluation de l'adéquation et de l'efficacité des dépenses publiques et privées actuellement consacrées à la recherche-développement dans les

³ Agence internationale de l'énergie, base de données sur la recherche-développement dans le domaine de l'énergie, <http://data.iea.org/iea/link_wds.asp>.

⁴ *Funding and priority policy for energy and environment research*, déclaration liminaire de H.J. Koch lors du Séminaire sur la recherche-développement scientifique et technologique du Commissariat italien à l'énergie atomique et aux énergies nouvelles, tenu à Frascati (Italie), en octobre 1998, <<http://www.iea.org/new/speeches/koch/1998/italy.htm>>.

domaines de l'énergie et des transports. Cette évaluation devrait permettre de recommander le niveau de financement requis, les moyens de mobiliser auprès de sources à la fois publiques et privées toutes les ressources supplémentaires dont on estime avoir besoin et les priorités en matière de recherche. Il faudrait examiner, entre autres, la proposition présentée par la Royal Society du Royaume-Uni touchant la création d'une banque internationale de l'énergie dotée de ses propres ressources, qui allouerait des fonds sur la base des recommandations formulées par un comité international de scientifiques, d'ingénieurs et d'économistes⁵;

b) Les gouvernements, les organisations internationales, les grands groupes et autres entités devraient étudier les activités actuellement menées pour renforcer les capacités scientifiques dans les pays en développement et en transition (englobant les sciences naturelles, sociales, médicales ainsi que les sciences de l'ingénieur) et prendre les mesures recommandées dans cette étude pour renforcer et développer lesdites activités. Il convient d'envisager de créer des centres régionaux afin de promouvoir la diffusion d'informations et le transfert de technologies dans les secteurs de l'énergie et des transports;

c) Les gouvernements et, le cas échéant, d'autres organisations devraient prendre des mesures pour assurer le plein et libre accès aux données et informations requises pour la recherche et l'éducation scientifiques, pour l'environnement et le développement en général et pour l'énergie et les transports en particulier;

d) Les milieux scientifiques, avec le concours et la coopération d'autres organismes compétents, devraient analyser et suivre les incidences déontologiques et les modalités de réglementation de l'activité scientifique, faire mieux comprendre au public les incidences déontologiques de la connaissance scientifique et de ses applications et encourager les débats sur ce sujet, et élaborer et adopter des codes de déontologie et de conduite régissant l'activité scientifique et en assurer le respect;

e) Les milieux scientifiques, de même que les gouvernements et, le cas échéant, d'autres entités, devraient mettre en oeuvre, à l'intention du grand public et des responsables de l'élaboration et de l'application

des politiques, des programmes dynamiques d'information et d'éducation sur les questions d'énergie et d'environnement relevant de leurs domaines respectifs de compétence.

Thème 1. Mesures visant à assurer un accès équitable à une énergie moins polluante

11. **Énoncé du problème.** Quelque deux milliards de personnes, principalement dans les zones rurales des pays en développement, n'ont accès à aucune forme moderne d'énergie. Ce chiffre n'a pratiquement pas changé depuis 1970, la croissance démographique dans ces zones ayant annulé les résultats obtenus dans l'action menée depuis lors pour approvisionner en électricité et autres énergies modernes plus d'un milliard de personnes. La pénurie d'énergie non polluante et commode a de graves répercussions sur la santé, la qualité de la vie et l'économie. Le recours à des combustibles (non transformés) et méthodes de cuisson traditionnels provoque un peu partout des maladies respiratoires. La nécessité de transporter à dos d'homme du bois de feu sur des distances toujours plus grandes prend beaucoup de temps, cause des maladies du système ostéoarticulaire et des muscles et détourne la main-d'oeuvre de tâches plus productives. Elle aggrave les problèmes connexes de déboisement et d'érosion des sols. Elle contribue aussi à perpétuer les inégalités entre les sexes étant donné que ce fardeau retombe essentiellement sur les femmes et les filles. Le manque d'énergie dans les zones rurales dans les quantités et formes requises pour la transformation des matières premières et d'autres applications industrielles freine les possibilités de croissance économique de ces régions. La crise de l'emploi qui en résulte entraîne un exode vers les villes, qui vient exacerber les problèmes d'urbanisation.

12. En tout état de cause, la croissance démographique future des pays en développement aura essentiellement lieu dans les zones urbaines. Ainsi, le défi à relever consiste non seulement à intégrer les pauvres des zones rurales dans l'économie moderne de l'énergie mais aussi à répondre aux besoins énergétiques des citoyens dans les pays en développement, à la fois de ceux qui n'ont pas encore accès aux formes d'énergie modernes et des milliards d'autres qui viendront grossir leurs rangs dans les décennies à venir. C'est ce que l'on appelle le « problème des 2+2 milliards » : satisfaire les besoins énergétiques de ceux qui sont actuellement exclus du système moderne et répon-

⁵ Royal Society, *Nuclear energy: The future climate*, Londres, 1999.

dre à ceux de la population qui, selon les prévisions, viendra s'y ajouter et qui se trouvera presque exclusivement dans le Sud et dans les villes.

13. La satisfaction des besoins énergétiques du Sud suivant le modèle adopté dans le Nord entraînerait de graves problèmes écologiques aux niveaux mondial et local. Il serait donc souhaitable d'utiliser les sources d'énergie les moins polluantes qui sont compatibles avec les besoins pressants de ces pays en matière de développement.

14. **Solutions.** S'il s'agit d'un vaste problème en termes de population et de superficie, il est modeste du point de vue des ressources énergétiques requises. Ainsi, les besoins pour la cuisson des aliments des deux milliards de personnes n'ayant pas accès à des combustibles modernes représentent environ 1,3 % de la consommation mondiale d'énergie commerciale et 3 % de la consommation mondiale de pétrole⁶. Le marché ne devrait pouvoir satisfaire qu'une part de ces besoins – plus faibles dans les zones rurales que dans les zones urbaines – du fait de la faiblesse des revenus des intéressés et du coût élevé des infrastructures nécessaires. En conséquence, il faut aussi des interventions gouvernementales judicieusement conçues.

15. Si elles étaient introduites efficacement et plus largement, les technologies actuelles contribueraient pour beaucoup à résoudre le problème. Ainsi, les fourneaux plus perfectionnés utilisant la biomasse – essentiellement pour la cuisine mais aussi pour le chauffage – mis au point et utilisés massivement depuis une vingtaine d'années environ ont apporté des améliorations sensibles en ce qui concerne la réduction de la pollution de l'air dans les habitations et à l'extérieur et en termes de commodité. Les combustibles fossiles courants comme le charbon de bois, le kérosène et le gaz de pétrole liquéfié peuvent jouer un rôle plus important dans la mesure où ils sont abordables et où l'infrastructure requise est en place. Les gaz dérivés de la biomasse – les biogaz résultant de l'action bactérienne sur les déchets animaux en l'absence d'oxygène

et le gaz de gazogène provenant de la transformation chimique des résidus végétaux – présentent des avantages par rapport à la biomasse non transformée et sont de plus en plus utilisés pour la cuisson des aliments dans de nombreuses régions du Sud. Les possibilités d'utilisation accrue, en particulier du gaz de gazogène, sont innombrables. L'électrification rurale demeure indispensable pour l'agriculture moderne et l'industrie rurale ainsi que pour l'amélioration du niveau de vie des populations rurales. Entre 1970 et 1990, l'approche centralisée traditionnelle de l'électrification a donné accès à l'électricité à 800 millions de ruraux qui se trouvaient pour la plupart en Chine. (La Chine a également favorisé la distribution décentralisée d'énergie, notamment dans le cadre d'un vaste programme de production d'hydroélectricité par microcentrale). Bien que mal adaptés aux régions faiblement peuplées et aux secteurs les plus pauvres de la population qui n'ont pas les moyens, les réseaux de distribution nationaux continueront d'être élargis. L'efficacité de la production, de la distribution et de l'utilisation finale revêt une importance particulière pour la production centralisée d'électricité.

16. L'évolution vers des systèmes de production et de distribution d'électricité décentralisés (« distribués ») – certains nouveaux, d'autres traditionnels – offrent de nouvelles possibilités aux communautés rurales. Cette évolution n'est pas cantonnée aux zones rurales ou aux pays en développement. Les principales technologies en question sont l'énergie photovoltaïque; les petites turbines éoliennes; les petites centrales hydroélectriques; la bioénergie provenant du gaz de gazogène; les petites (ou micro) turbines à gaz; l'énergie géothermique; les piles à combustible; les moteurs à piston; un panachage de ces divers types d'énergie pour tirer parti des ressources disponibles. Les systèmes de production disséminés dotés de miniréseaux de distribution permettent d'éviter les coûts élevés et les pertes inhérentes aux réseaux de transmission et de distribution traditionnels, et sont mieux adaptés aux zones reculées et faiblement peuplées. Ils polluent relativement peu et sont d'un entretien facile et permettent d'éviter la nécessité de transporter du carburant et la pollution du carburant diesel. Autre avantage : ils peuvent être possédés et gérés localement et attirer des capitaux privés. Leur essor sera favorisé à la fois par les progrès techniques et l'évolution institutionnelle (déréglementa-

⁶ Perspectives énergétiques mondiales, Programme des Nations Unies pour le développement, Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, et Conseil mondial de l'énergie, New York, 2000. Le présent document est fortement inspiré de ce rapport de base auquel les nombreux scientifiques ont apporté de nombreuses contributions et qui représente un bilan sérieux et complet de l'état actuel des connaissances sur l'énergie et le défi que pose son exploitation durable.

tion) qui facilite l'approvisionnement des réseaux de distribution en électricité produite localement⁷.

17. Le principal obstacle à la généralisation de ces technologies a été leur coût. L'accès à l'électricité ne suscite pas forcément la consommation d'électricité; il faut aussi que son coût soit abordable pour les revenus locaux. Le prix de l'électricité a baissé. Pour les zones rurales, les technologies durables peuvent être plus économiques que les technologies traditionnelles si les coûts et pertes de transmission et de distribution sont pris en compte et si les coûts écologiques et sociaux externes (les « facteurs externes » qui ne sont pas actuellement intégrés dans le coût des projets) sont dûment inclus. Compte tenu des progrès spectaculaires abruptes, on peut raisonnablement s'attendre à de nouvelles réductions importantes, à mesure que ces technologies se généraliseront comme c'est le cas notamment des téléphones portables et des ordinateurs personnels⁸. Le coût en capital des piles à combustible, qui oscille actuellement entre 5 000 dollars et 10 000 dollars/kW pourrait tomber à 250 dollars/kW et deviendrait alors compétitif par rapport aux turbines à gaz actuelles⁹. Dans de bonnes conditions, le gaz de gazogène est déjà plus économique que sa production à partir de carburant diesel importé. La recherche-développement et démonstration accélérée, de même que l'achat au rabais pourraient hâter ce processus de compression des coûts. Les Perspectives énergétiques mondiales contiennent un tableau très utile proposant quelques solutions à court, moyen et long terme pour la production d'énergie en milieu rural.

18. Propositions :

a) Les gouvernements des pays en développement, avec l'aide des donateurs bilatéraux et multilatéraux et des milieux scientifiques et technologiques, devraient encourager la création de marchés énergétiques compétitifs et dûment réglementés, en particulier pour les secteurs de la population qui n'ont pas actuellement accès à l'énergie commerciale. Les politiques énergétiques devraient reconnaître l'importance du rôle que doivent jouer à la fois les marchés et les capitaux

privés et, lorsque les forces de marché ne permettent pas de satisfaire les besoins, les interventions gouvernementales, telles que l'octroi de subventions à groupes cibles ou d'incitations tarifaires;

b) Les gouvernements, agissant en collaboration avec des partenaires compétents, devraient établir des bilans systématiques, des sources d'énergie renouvelables exploitables région par région. Il faudrait recueillir des données fiables sur les sources d'énergie solaire, pluviale, éolienne et de la biomasse, et les diffuser au public afin d'aider les investisseurs à prendre les décisions touchant le financement des projets de mise en valeur des sources d'énergie renouvelables;

c) Les gouvernements des pays industrialisés, agissant en coopération avec des organismes compétents, devraient créer de nouveaux programmes de coopération avec les partenaires des pays en développement et en transition, et renforcer ceux qui existent déjà en vue de mettre en place des systèmes intégrés faisant appel aux technologies d'exploitation des sources d'énergie renouvelables (y compris celles à fort rendement énergétique) et des systèmes mixtes utilisant aussi l'énergie fossile en vue d'offrir des services énergétiques complets aux zones à la fois urbaines et rurales;

d) Les gouvernements, agissant de concert avec les organismes scientifiques et le secteur privé, devraient promouvoir la coopération internationale en ce qui concerne la recherche-développement dans le domaine de l'énergie, et les technologies de conversion de l'énergie de la biomasse à l'échelle industrielle, privilégiant celles qui permettent de produire à la fois de l'électricité et un ou plusieurs produits dérivés (chaleur, combustibles fluides, produits chimiques, denrées alimentaires/aliments pour animaux/fibres);

e) Les gouvernements et les organisations internationales, avec le concours et les conseils de toutes les sources appropriées, devraient dresser des bilans globaux des besoins énergétiques des pays en développement et définir les moyens de satisfaire ces besoins, compte tenu non seulement de critères économiques étroits mais aussi de considérations sociales plus larges telles que la création d'emplois, l'égalité des sexes et les effets sur la santé. Ces bilans devraient contenir des recommandations touchant les mécanismes de financement et de réglementation, définir les contraintes institutionnelles et les possibilités de réforme et d'innovation et proposer des stratégies propres à créer

⁷ The electric revolution, The Economist, 3 août 2000.

⁸ N. Nakicenovic et al, ed., Global Energy Perspectives, Cambridge (Royaume-Uni), 1998, p. 50.

⁹ Communication du Committee on Science and Technology in Developing Countries (COSTED), sur la base des informations fournies par le Electric Power Research Institute (Institut de recherche sur l'électricité).

à l'échelon local des capacités suffisantes pour concevoir, adapter, produire, diffuser, appliquer et entretenir les technologies énergétiques appropriées. Il faudrait s'attacher en priorité à approvisionner les zones rurales en énergie afin de répondre aux besoins élémentaires de la population, de créer des emplois ainsi que des activités génératrices de revenus, et ce faisant d'atténuer la pauvreté et améliorer la qualité de la vie.

Thème 2. Options en matière de production, de distribution et de consommation d'énergie

19. **Énoncé du problème.** Les systèmes énergétiques actuels ne répondent pas aux besoins d'une grande partie de la population mondiale et l'on tolère de moins en moins les disparités des modes de consommation d'énergie. La consommation énergétique par habitant des pays riches est actuellement huit fois supérieure à celle des pays pauvres. Les modes actuels de consommation d'énergie ne sont pas viables : ils provoquent de graves problèmes de pollution atmosphérique aux niveaux domestique, local, régional et mondial. Parmi ces problèmes, le plus grave et le plus complexe semble être celui de la concentration plus élevée des gaz à effet de serre, principalement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et les changements climatiques perceptibles qui résultent sans doute de ce phénomène. Dès 1995, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) était parvenu à la conclusion selon laquelle les éléments d'information recueillis donnaient à penser que l'homme avait une influence sensible sur l'évolution du climat. Le GIEC contribue utilement à la prise en compte des données scientifiques lors de la formulation des politiques internationales en la matière.

20. Les tendances ne sont pas favorables. En l'absence de changement notable, la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone devrait considérablement augmenter (d'environ 60 % d'ici à 2020), avec le développement économique dans le monde et l'accroissement de la consommation énergétique par habitant et totale (en raison de la croissance démographique) dans les pays du sud. Rien n'indique une volonté politique et économique de changement, et même si elle finit par se manifester, l'introduction à l'échelle voulue de nouveaux systèmes énergétiques nécessitera beaucoup de temps, vu la lenteur du renouvellement des équipements actuels. Il faudra attendre encore plus longtemps avant que la réduction des émissions de

dioxyde de carbone grâce aux nouveaux systèmes ait un quelconque effet sur la stabilité du climat.

21. **Solutions.** Les répercussions écologiques résultent de l'effet conjugué de la taille de la population, des niveaux et modes de consommation et des technologies utilisées. On dispose actuellement des technologies et des ressources énergétiques susceptibles de contribuer de concert à rendre plus viables la production et la consommation mondiales d'énergie. Toutefois, elles ne suffiront probablement pas en l'absence de dispositions visant à la fois à limiter et stabiliser la croissance démographique mondiale et à opter pour des modes de consommation à plus faible intensité d'énergie et de matières¹⁰.

22. Divers scénarios quantifiés estiment la production et la consommation énergétiques mondiales selon diverses hypothèses démographiques, économiques, technologiques et politiques¹¹. Les scénarios concernant le passage à une exploitation durable de l'énergie prévoient des systèmes énergétiques, qui, tout en permettant la poursuite de la croissance économique, sont plus propres et plus économiques. Par rapport aux systèmes actuels, ils consommeraient proportionnellement moins de pétrole et de charbon et davantage de gaz naturel, de sources d'énergie renouvelables et, selon certains scénarios, d'énergie nucléaire. Les progrès technologiques concernant ces énergies sont examinés ci-après.

23. Il est probable que l'on ait davantage recours aux piles à combustible utilisant de l'hydrogène ou à des combustibles riches en hydrogène comme que le méthane ou le méthanol et cette tendance devrait être encouragée. À l'instar de l'électricité, lorsque l'hydrogène est utilisé, il ne provoque quasiment aucune émission de polluants et de dioxyde de carbone. Outre cet avantage intrinsèque, les piles à combustible

¹⁰ Royal Society, *Towards sustainable consumption: A European perspective*, Londres, 2000.

¹¹ N. Nakicenovic, op. cit.; Brown, M., M. Levine, *Scenarios of U.S. Carbon Reductions: Potential Impacts of Energy Technologies by 2010 and Beyond*, Interlaboratory Working Group on Energy-Efficient and Low Carbon Technologies, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL 40533 (Berkeley, Californie 1997); John Holdren, « The Energy-Environment-Development Challenge », exposé présenté à la Conférence de la World's Scientific Academies: Transition to Sustainability in the 21st Century, Tokyo, mai 2000, op. cit.

peuvent être utilisées à la fois pour l'énergie stationnaire et pour les transports. À long terme, il est souhaitable que l'hydrogène soit produit par électrolyse de l'eau utilisant des énergies renouvelables. Dans l'attente que cette méthode devienne économique, l'hydrogène peut être produit à partir du gaz naturel ou d'autres combustibles fossiles, et ce processus peut être non polluant si l'on procède au retrait et au séquestre du dioxyde de carbone qui y est associé. On peut par ailleurs produire cet hydrogène au moyen d'électrolyses utilisant l'électricité nucléaire.

24. Il est indispensable d'adopter les politiques voulues pour promouvoir l'utilisation des énergies durables et décourager la consommation de celles qui ne le sont pas. Il faut notamment éliminer les subventions à la consommation de combustibles fossiles; établir le prix au coût intégral (compte tenu des « facteurs externes ») de toutes les options énergétiques; recourir avec prudence à des mesures fiscales et subventions ciblées visant à encourager des modes de consommation d'énergie plus durables; et renforcer l'appui financier accordé à la recherche-développement et démonstration sur les options énergétiques non polluantes.

25. Selon un des meilleurs scénarios plausibles, la consommation mondiale d'énergie doublerait entre 1990 et 2100, les émissions de carbone fossile diminueraient de plus de moitié et un nivellement entre les pays industrialisés et les pays en développement se produirait pour ce qui est du PIB par habitant et de la consommation d'énergie par habitant. Au cours de cette période, le PIB par habitant des pays industrialisés triplerait tandis que la consommation d'énergie par habitant diminuerait de plus de moitié. Dans les pays en développement, le PIB par habitant serait 25 fois supérieur au PIB actuel tandis que la consommation d'énergie par habitant devrait plus ou moins tripler¹².

Options concernant les sources d'énergie stationnaire

26. **Combustibles fossiles.** Environ 80 % de l'énergie primaire mondiale provient toujours des combustibles fossiles, qui resteront encore pendant un certain nombre de décennies la principale source d'énergie même si l'on commence à promouvoir résolument les sources d'énergie renouvelables. C'est pourquoi, il importe tout particulièrement de saisir toutes les occasions de rendre plus propres les combustibles fossiles

et d'en diminuer la teneur en carbone. On observe trois tendances prédominantes dans l'exploitation des combustibles fossiles : i) la production d'électricité devient plus économique (taux de rendement de 55 % pour les turbines à gaz à cycle combiné et de plus de 60 % pour les systèmes de production combinée d'électricité et de chaleur, par rapport à des taux de 35 à 40 % pour les turbines à vapeur classique); ii) la production d'énergie devient plus propre, en particulier suite à l'application de réglementations environnementales telles que le traitement des gaz de combustion, et la désulfuration; iii) la troisième tendance concerne la décarburation qui résulte dans une large mesure de l'abandon du charbon au profit du gaz naturel pour la production d'énergie¹³. Les milieux scientifiques et techniques espèrent que l'on pourra adapter certains systèmes d'énergie fossile à un monde dans lequel les émissions de gaz à effet de serre sont réduites au maximum¹⁴. Pour ce faire, on peut mettre en oeuvre, entre autres, les mesures ci-après :

- a) Renforcer l'efficacité en matière de transmission et d'utilisation finale de l'énergie;
- b) Continuer à renoncer au charbon et au pétrole au profit du gaz naturel qui produit 50 % moins de carbone par kilowattheure d'énergie produite et qui est abondant, en particulier sous sa forme non traditionnelle (par exemple sous forme d'hydrates de clathrate dans les grands fonds océaniques);
- c) Réduire la combustion en torchère des gaz;
- d) Améliorer le rendement des technologies de transformation, par exemple en ayant recours aux technologies du cycle combiné de gazéification intégrée et de production combinée de chaleur et d'électricité;
- e) Piéger du dioxyde de carbone dérivé des combustibles carbonifères dans les grands fonds océaniques et dans les formations géologiques telles que les réservoirs d'hydrocarbure, encore que cette technologie doive encore faire l'objet d'importants travaux de recherche, notamment sur son impact sur l'environnement marin; et

¹³ Royal Society, op. cit., p. 112.

¹⁴ R. H. Socolow, ed. « Fuels Decarbonization and Carbon Sequestration: Report of a Workshop by the Members of the Report Committee ». Center for Energy and Environmental Studies Report No. 32, Princeton University, 1997 <<http://www.princeton.edu/~ceedoe>>.

¹² Holdren, ibid.

f) Capturer le méthane des mines de charbon, ce qui, dans des pays comme la Chine et l'Inde, permettrait d'accroître les approvisionnements en énergie propre tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Dans ces deux pays, les incendies dans les mines de charbon provoquent d'importantes émissions de dioxyde de carbone et l'on devrait s'attacher davantage à lutter contre ce phénomène.

27. Plusieurs de ces activités concernent le gaz naturel, dont l'importance relative en tant que source d'énergie primaire devrait croître au cours des prochaines décennies. La recherche-développement et démonstration (RDD) peut contribuer pour beaucoup à la mise en valeur de cette ressource ainsi qu'à son utilisation plus efficace et plus propre¹⁵.

28. **Énergie nucléaire.** Bien que l'énergie nucléaire présente un intérêt pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, son rôle en tant que source d'énergie primaire ne s'est pas développé autant que l'on croyait à une époque et est même appelé à diminuer encore au cours des 10 ou 20 prochaines années, à mesure que la mise hors service des réacteurs en place se fera plus rapidement que l'installation de nouveaux. Les problèmes sont les suivants : coûts élevés, préoccupations concernant la sécurité, l'élimination des déchets, la mise hors service des centrales, la prolifération des armes nucléaires et l'insuffisance des compétences requises pour assurer l'entretien et la sécurité des centrales nucléaires. Le bilan en matière de sécurité des réacteurs à eau ordinaire, qui représentent environ 80 % de tous les réacteurs nucléaires de puissance dans le monde, est bon, tout comme celui des réacteurs du type CANDU (réacteurs canadiens à uranium-hélium). En outre, d'importants progrès ont été réalisés dans divers domaines : ingénierie de base des nouvelles centrales nucléaires, réaménagement des anciennes centrales, pratiques opérationnelles, procédures et formation. La conception de base des réacteurs n'a guère changé. Toutefois, l'on procède actuellement à des recherches ou à la mise au point de nouveaux réacteurs qui sont de conception radicalement différente de ceux utilisés à ce jour et qui, moyennant l'incorporation de dispositifs de sécurité passive pourraient être beaucoup plus sûrs. Au nombre de ces dispositifs, figurent des

réacteurs à hélium à température élevée, des systèmes avancés de réacteurs à eau ordinaire et des réacteurs rapides à accélérateur, ou « amplificateurs d'énergie ». La France et le Japon procèdent actuellement au retraitement du combustible nucléaire irradié en vue de sa réutilisation dans les réacteurs. Toutefois, ce processus est onéreux et produit du plutonium dont les risques de prolifération sont les plus grands. Il faut poursuivre les recherches afin d'assurer le retraitement des combustibles nucléaires dans des conditions plus sûres et plus économiques et de mettre au point des méthodes ne se prêtant pas à la prolifération. L'un des problèmes les plus complexes de l'énergie nucléaire est celui de l'élimination des déchets. L'option nucléaire, en dépit de l'amélioration de sa sécurité et de meilleurs moyens d'élimination des déchets, ne semble toujours pas aujourd'hui mieux acceptée par le grand public et les scientifiques restent divisés à ce sujet. Il existe enfin la méthode de la fusion, qui fait actuellement l'objet de travaux de recherche s'élevant à environ un milliard de dollars des États-Unis par an, et qui, si elle se révèle faisable, pourrait être une source abondante d'électricité et produire un volume moindre de déchets actifs. Il semble désormais pratiquement certain que l'on puisse construire une machine qui produirait davantage d'énergie qu'elle n'en consomme. Toutefois, de nombreux problèmes restent à surmonter avant d'y parvenir. Il paraît peu probable que la fusion puisse répondre de façon significative aux besoins énergétiques du monde avant la deuxième moitié du XXI^e siècle au plus tôt¹⁶.

29. **Sources d'énergie renouvelables.** Tous les scénarios visant à assurer une consommation d'énergie durable accordent un rôle plus important en tant qu'énergie primaire aux sources d'énergie renouvelables – géothermique, éolienne, solaire, biomasse, hydroélectricité et énergie des mers. On peut par ailleurs considérer le rendement énergétique comme une technologie renouvelable. La biomasse a été examinée ci-dessus dans le contexte de l'énergie rurale. Les déchets agricoles et forestiers et les nouvelles cultures essentiellement à vocation énergétique sont aussi susceptibles de fournir de l'énergie à l'échelle industrielle aux fins de l'approvisionnement en électricité, des transports et autres. L'énergie des mers est abondante et peut-être exploitée de diverses manières : barrage de marée, énergie marémotrice, courants maritimes, puis-

¹⁵ Communication de l'Union internationale des sciences géologiques. Voir également N. Nakicenovic *et al.*, *Global Natural Gas Perspectives*, Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués et Union internationale de l'industrie du gaz, 2000.

¹⁶ La Royal Society et la Royal Academy of Engineering, *Nuclear Energy: The Future Climate*, 1999.

sance des marées, et conversion de l'énergie thermique des océans. Si ce potentiel pouvait être exploité de façon économique, il pourrait fournir d'énormes quantités d'électricité non polluante mais il pose d'importants défis en matière d'ingénierie, de sorte que les perspectives à court terme paraissent limitées. Toutefois, les diverses technologies en la matière n'en sont qu'à leur début et de nouveaux travaux de recherche-développement et démonstration (RDD) pourraient changer cette situation.

30. Certaines sources d'énergie renouvelables fournissent de l'électricité de façon intermittente, par exemple l'énergie solaire lorsque le soleil brille, l'énergie éolienne lorsque le vent souffle, d'où le problème du stockage de l'énergie. Au nombre des possibilités de stockage figurent les batteries et l'air comprimé. Une autre méthode intéressante consisterait à utiliser l'électricité intermittente pour produire de l'hydrogène par électrolyse; bien que les coûts d'une telle méthode soient élevés aujourd'hui, les avantages en sont tels qu'elle mérite de faire l'objet de recherches prioritaires.

31. Les sources d'énergie renouvelables ne sont pas sans effet sur l'environnement, mais elles sont généralement sensiblement plus propres et plus durables que les combustibles fossiles. Elles peuvent aussi présenter d'autres avantages tels que l'économie de devises et la création d'emplois et de revenus locaux. En 1998, ces sources d'énergie renouvelables dont les deux tiers environ étaient constitués par la biomasse traditionnelle (essentiellement du bois de feu destiné à la cuisson des aliments et au chauffage) (*Perspectives énergétiques mondiales*) ne représentaient en 1998 que 14 % de la consommation mondiale d'énergie. Les sources d'énergie renouvelables modernes, dont près de la moitié est constituée par l'hydroélectricité traditionnelle, ne représentent donc qu'environ 5 % de cette consommation mondiale encore que leur utilisation progresse désormais rapidement. Le potentiel d'utilisation de ces ressources est immense et, selon certains scénarios, elles pourraient constituer au cours de la deuxième moitié du siècle 20 à 50 % de l'énergie primaire (la législation allemande sur les changements climatiques vise un objectif de 50 % d'ici 2020). Les données scientifiques en matière de sources d'énergie renouvelables sont généralement bien comprises et d'importants progrès ont été accomplis ces dernières années dans la mise au point des techniques de production et dans la création de marchés. Les coûts ne sont

pas encore compétitifs, sauf sur certains marchés bien précis, mais, comme c'est le cas de toutes les nouvelles technologies, lorsque ces techniques seront plus largement utilisées, leurs coûts diminueront encore du fait des économies d'échelle et des progrès des connaissances.

32. **Hydroélectricité.** Cette source d'énergie bien établie pourrait être plus largement utilisée puisque, d'après les Perspectives énergétiques mondiales, environ un tiers seulement de son potentiel économique est actuellement exploité, le reste se trouvant essentiellement dans les pays en développement. La production actuelle provient pour une large part de grandes centrales hydroélectriques, les petites centrales ne représentant que 3,5 % de la capacité et de la production encore que ce pourcentage pourrait augmenter, en raison de la tendance à la décentralisation des systèmes d'approvisionnement en électricité. La mise en valeur des ressources hydroélectriques a été limitée ces dernières années, en partie du fait de préoccupations écologiques et sociales suscitées par certains types de projets, en particulier ceux concernant la construction de grands barrages. Dans bien des cas, ces grands barrages n'ont pas procuré les avantages escomptés et ont eu de considérables répercussions sociales et environnementales, souvent négatives. L'impact écologique demeure circonscrit dans une large mesure à l'échelon local, encore que dans les pays tropicaux, d'importantes centrales hydroélectriques équipées de réservoirs peu profonds, produisent d'importantes quantités de dioxyde de carbone provenant de la décomposition de la végétation. Cette question a été examinée de manière approfondie et objective dans le récent rapport de la Commission mondiale sur les barrages qui a recommandé de saisir toutes les occasions de tirer le meilleur parti des barrages existants tout en évaluant avec soin les autres possibilités lors de l'examen de nouveaux projets de barrage¹⁷.

33. **Énergie éolienne.** Ces dernières années, la capacité des turbines éoliennes raccordées au réseau a augmenté de façon spectaculaire dans le monde entier et cette tendance devrait se poursuivre. Les turbines éoliennes sont devenues beaucoup plus grandes et l'emploi de matériaux de pointe a permis de les doter de rotors de plus grand diamètre. Le potentiel technique ultime de l'énergie éolienne est immense – entre 2

¹⁷ *Dams and Development: A New Framework for Decision Making*, <<http://www.damsreport.org>>.

et 6 TW, soit entre 20 % et 50 % de la consommation mondiale d'énergie actuelle. Les coûts sont très étroitement fonction de la vitesse du vent, de sorte que les régions où ce type d'énergie est rentable sont relativement peu nombreuses. Les techniques de stockage, qui permettront d'assurer la continuité des services en dépit des fluctuations de l'intensité des vents, devront faire l'objet de nouveaux travaux de recherche-développement et démonstration (RDD).

34. Énergie géothermique. L'énergie géothermique peut être utilisée pour le chauffage et l'électricité. À l'heure actuelle, environ 8 000 MW d'électricité géothermique sont produits dans le monde entier, essentiellement dans les Amériques et en Asie. Environ 15 000 MW d'énergie géothermique sont destinés au chauffage, dont près de 40 % en Europe. Les techniques de récupération et d'utilisation actuelles devraient permettre de multiplier par sept la production d'électricité géothermique et les techniques modernes de forage et de renforcement de la perméabilité de la multiplier par 12. L'énergie géothermique a déjà contribué sensiblement au bilan énergétique de plusieurs pays en développement, dont les Philippines, El Salvador, le Nicaragua, le Costa Rica, le Kenya et l'Indonésie. Son utilisation accrue permettrait de réduire considérablement les émissions de dioxyde de carbone par rapport à l'électricité produite par les combustibles fossiles. Toutefois, les gaz délétères contenus dans les fluides géothermiques posent un problème écologique; il est parfois possible et économique de les évaluer ou de les réinjecter dans les trous de forage. La mise au point récente de pompes à chaleur de source terrestre marque un important progrès; celles-ci utilisent la terre comme source thermique pour le chauffage et comme bassin de refroidissement, selon les saisons. Elles peuvent être utilisées n'importe où étant donné qu'elles ne dépendent pas de la présence d'eau ou de vapeur thermiques souterraines. Elles ont été beaucoup employées en Suisse, en Allemagne, aux États-Unis et, tout récemment, en Australie. Il s'agit là d'une réforme économique de chauffage et de climatisation dont l'usage se développe rapidement.

35. Énergie solaire. Le potentiel de toutes les technologies de récupération de l'énergie solaire – énergie photovoltaïque, thermohélioélectricité, énergie solaire à basse température – est considérable. L'énergie photovoltaïque, la plus chère de ces trois options, a été mentionnée plus haut dans le contexte de son emploi dans les zones rurales isolées. Le développement du

potentiel d'application de cette énergie dépend de son coût, mais il semble de plus en plus que celui-ci pourrait devenir compétitif d'ici une dizaine d'années pour l'électricité distribuée et fournie par les réseaux. Au cours des prochaines années, les dépenses d'équipement afférentes à ces énergies pourraient diminuer et passer de 6 000 dollars à 3 000 dollars par kW, niveau auquel cette énergie, sans qu'il soit nécessaire d'améliorer les réseaux de distribution, pourrait trouver d'importants débouchés tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement où les systèmes photovoltaïques raccordés aux réseaux pourraient devenir compétitifs¹⁸. L'exploitation de la thermohélioélectricité pourrait aussi se développer. Les technologies thermiques présentent l'avantage de pouvoir être intégrées dans les centrales utilisant des combustibles fossiles et peuvent donc être introduites progressivement avec beaucoup de souplesse. Elles constituent une option intéressante pour répondre aux besoins énergétiques croissants des populations urbaines dans les pays en développement. Les technologies éprouvées concernant l'énergie solaire à basse température pourraient être plus largement utilisées, en particulier pour l'approvisionnement en eau chaude, le chauffage et la climatisation. Leur potentiel est limité pour la cuisson des aliments.

36. Rendement énergétique. De façon générale, on reconnaît que la meilleure façon de réduire les coûts et la pollution des systèmes de production d'électricité existants consiste à prendre des dispositions pour en renforcer l'efficacité. Pour ce faire, on peut notamment avoir recours à la production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération), qui permettrait de porter le rendement de 30 % (niveau typique actuellement), à environ 60 %; on peut aussi améliorer les réseaux de transmission et de distribution et veiller à leur entretien rigoureux; et enfin au niveau des utilisations finales, il faudrait employer des appareils ménagers, des systèmes d'éclairage, des moteurs, etc., économiques. Des techniques éprouvées existent pour l'ensemble de ces mesures. L'amélioration des rendements est souvent rentable. L'investissement initial requis est souvent très rapidement amorti, parfois en moins d'un an. On peut encourager la prise de telles mesures en adoptant des normes réglementaires et des programmes d'incitation

¹⁸ Renewable Energy Consulting Services, *The Present and Future Prospects of PV-Based Network Generation: Can an Assured Large Market Bring PV System Costs Down to \$3,000 per Installed Kilowatt?* (1er mars 1999).

et d'information/étiquetage. Il faut mettre au point des mécanismes susceptibles de promouvoir les investissements dans l'amélioration des rendements énergétiques, plus particulièrement aux pays en développement. Cela est manifestement impossible sans investir d'abord dans la formation et le renforcement des institutions. Pour ce faire, il faudra résolument rompre avec les pratiques habituelles en matière d'investissements dans le secteur de l'énergie.

37. **Propositions**¹⁹ :

a) Les gouvernements devraient encourager l'introduction sur le marché de technologies énergétiques écologiquement rationnelles en éliminant les distorsions de prix et les entraves réglementaires, en encourageant la concurrence et en éliminant les obstacles à l'efficacité énergétique, encourageant ainsi l'investissement de capitaux dans la production et l'utilisation d'énergies efficaces et propres;

b) Les politiques publiques en matière de tarification de l'énergie devraient tenir compte du coût écologique et social du choix de l'énergie dans le cadre de mécanismes agréés et pratiques. Il faudrait éliminer partout le subventionnement des combustibles fossiles. Ces mesures sont essentielles pour garantir que le développement durable est poussé par les forces du marché, seule manière de le faire avancer;

c) Les gouvernements et d'autres acteurs concernés devraient encourager l'emploi de l'hydrogène en tant que combustible, notamment par la recherche-développement-démonstration sur des technologies permettant de réduire le coût de la production d'hydrogène à partir de matières premières carbonifères, tout en facilitant la récupération du dioxyde de carbone (CO₂) dégagé en sous-produit en vue de son élimination finale. Les milieux scientifiques et techniques et les gouvernements devraient coopérer au plan international afin d'identifier, de développer et de démontrer des systèmes intégrés prometteurs de production et d'utilisation de l'hydrogène à partir de sources fossiles, avec fixation du dioxyde de carbone séparé, et à partir de sources renouvelables;

d) Il faudrait effectuer des recherches sur la fixation du dioxyde de carbone, y compris des normes relatives à son stockage permanent, compte tenu du changement rapide du climat, des études sur l'impact social et écologique, et d'une évaluation du potentiel de fixation région par région;

e) Il faudrait renforcer l'appui accordé à la recherche-développement sur toutes les phases du cycle du gaz naturel : exploration et production, transport et distribution, conversion et production d'énergie. Cela devrait comprendre des travaux sur des technologies d'exploration pour des gaz non traditionnels tels que les hydrates; le développement de la technologie du gaz naturel liquéfié; le développement d'installations de production d'hydrogène destiné aux piles à combustible; et le captage du dioxyde de carbone dans la réduction d'énergie;

f) Il faudrait encourager des recherches internationales portant sur des technologies de pointe permettant de réduire le coût et d'améliorer la sécurité, la gestion des déchets des systèmes d'énergie à fission nucléaire et d'empêcher que ces derniers servent de source de prolifération nucléaire; sur l'élimination géologique du combustible nucléaire épuisé et de déchets à radioactivité élevée, et ses effets écologiques à long terme, y compris des études sur les installations internationales de stockage intérimaire;

g) Les gouvernements et les agences de financement de la recherche devraient coopérer avec des partenaires appropriés afin d'accélérer la mise en place de technologies de production d'électricité renouvelable intermittente branchée sur le réseau (éolienne, photovoltaïque, solaire thermoélectrique) et leurs hybrides avec la biomasse et l'énergie fossile;

h) Les gouvernements et autres agences de financement de la recherche devraient appuyer les recherches portant sur la production, la transmission et l'utilisation finale plus efficaces de l'électricité. Il faudrait mettre l'accent sur des recherches concernant les appareils ménagers, les systèmes d'éclairage, les moteurs et les technologies de cogénération plus efficaces, notamment en vue de leur utilisation dans les pays en développement. Il faudrait également étudier les systèmes d'incitation afin d'encourager l'adoption de ces technologies.

¹⁹ Les propositions figurant dans le présent document sont basées sur des contributions d'académies nationales de science ou de conseils nationaux de recherche des pays suivants : Brésil, France, Hongrie, Afrique du Sud, Royaume-Uni et États-Unis, entre autres.

Thème 3. Partenariats publics et privés au service de l'énergie durable dans le transport

38. **Problème.** Les véhicules à moteur contribuent sensiblement aux émissions mondiales de dioxyde de carbone. Ils sont également la principale source des oxydes d'azote, précurseurs de la brumée, et qui, à côté des émissions de petites particules et de plomb, sont très nuisibles pour la santé. Les véhicules diesel, en particulier les camions et les autobus, contribuent sensiblement à la pollution, notamment en ce qui concerne les petites particules. Dans les pays en développement, des véhicules à deux et à trois roues, employant des technologies dépassées, sont de grandes sources de pollution. Des modes d'utilisation des véhicules limités précédemment aux pays de l'OCDE deviennent plus généralisés : en 1995, on a vendu plus de voitures neuves en Asie qu'en Europe occidentale et en Amérique du Nord prises ensemble; en Russie, en Chine et ailleurs, la propriété de voitures augmente rapidement. Les grandes voitures automobiles présentent des problèmes particuliers étant donné leur faible rendement du combustible; aux États-Unis, les 4 x 4 ont été classés comme camions, ce qui les exempte de normes plus strictes de rendement du combustible. L'aviation contribue aussi sensiblement aux émissions de gaz de serre²⁰ et on prévoit que les émissions à partir de cette source augmenteront rapidement. En l'absence d'efforts concertés de la part des gouvernements, des industriels et des scientifiques, c'est-à-dire si l'on ne rompt pas avec les habitudes, le problème risque de s'aggraver.

39. **Solutions.** Pour le transport comme pour d'autres secteurs, le but à long terme devrait consister à réduire les émissions de polluants de l'air et de gaz de serre à un niveau proche de zéro (Perspectives énergétiques mondiales, p. 274). Dans les pays industrialisés, on a beaucoup progressé au cours des 20 dernières années en réduisant les émissions de polluants (oxydes d'azote, oxydes de soufre, plomb, particules) par les véhicules, mais les progrès sont faibles ou inexistantes en ce qui concerne les émissions de gaz de serre. Pour réduire ces dernières, il faudra mettre au point et introduire à grande échelle – ce qui ne se fera que lentement – des sources d'énergie plus efficaces et plus propres pour les véhicules. Les véhicules à propulsion

électrique n'ont connu jusqu'ici qu'un modeste succès; de nouvelles recherches sur des batteries de stockage s'imposent. Les démarches basées sur des carburants oxygénés ou des alcools utilisés dans les moteurs à explosion ont abouti à certains avantages écologiques et ont entraîné d'autres bénéfices, tels que la création d'emplois et les économies de devises. Des carburants dérivés de gaz synthétiques peuvent également être des sources d'énergie propre pour des moteurs à explosion, par exemple les distillats synthétiques moyens et le diméthyle éther. L'avantage des stratégies basées sur ces carburants tient au fait que, depuis des décennies, la manière la moins chère de produire de l'hydrogène sulfuré consiste à utiliser du gaz de synthèse comme matière première, ainsi ces stratégies ouvriraient-elles la voie à une économie énergétique basée sur l'hydrogène.

40. Des sources d'énergie embarquées moins polluantes dérivées d'une énergie primaire plus propre sont une meilleure solution. Dans plusieurs pays, on est en train de convertir les autobus et les véhicules commerciaux au gaz naturel comprimé et aux piles à combustible. À court terme, la propulsion hybride électrique/moteur à explosion offre le plus de promesse pour les voitures. On est en train de développer des véhicules à pile de combustible sur le plan commercial et ceux-ci pourraient bientôt devenir une option attrayante. Dans les deux cas, il faut également accorder l'attention voulue à la production non polluante de l'électricité (en utilisant des sources renouvelables, ou des combustibles fossiles avec fixation du carbone) ou de la source de l'hydrogène embarquée (hydrogène, essence, méthanol ou hydride) utilisée. Pour les véhicules à pile de combustible, les options à court et à long terme sont liées entre elles. Utiliser l'essence en tant que source d'hydrogène, du moins pendant une période intérimaire, faciliterait les modifications nécessaires de l'infrastructure. Une stratégie basée sur le gaz de synthèse supposerait l'utilisation du méthanol comme source, et la transformation du méthanol à bord des voitures est plus facile que celle de l'essence. Tant pour l'essence que pour le méthanol, des véhicules à pile de combustible présenteraient de gros avantages en matière d'efficacité et d'émissions par rapport au moteur à explosion.

41. La mise au point de moteurs plus efficaces et l'utilisation de nouveaux matériaux légers et de carrosseries aérodynamiques offrent d'autres possibilités de réduction des émissions produites par les véhicules. On

²⁰ Groupe intergouvernemental sur le changement des climats, *L'aviation et l'atmosphère planétaire*, <<http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/index.htm>>.

est en train de mettre au point des matériaux qui fonctionnent à haute température et permettent aux systèmes d'énergie de convertir un plus grand pourcentage de l'énergie en mouvement. Parmi les nouveautés, il y a l'autosurveillance et l'autoréparation, les matériaux intelligents, les matériaux biodégradables, les alliages et les plastiques à grande résistance, et les nouveaux semi-conducteurs.

42. Les partenariats publics/privés ont un potentiel considérable en ce qui concerne la mise au point et la promotion de véhicules et de combustibles moins polluants²¹. Des exemples utiles à cet égard existent aux États-Unis, en Europe et au Japon. Aux États-Unis, dans le cadre du Partenariat pour une nouvelle génération de véhicules, les trois grands fabricants de voitures coopèrent avec le Gouvernement en vue de mettre au point des technologies d'une nouvelle génération de voitures ayant un rendement du combustible trois fois plus élevé que celui d'une limousine comparable de 1994, sans sacrifice en matière de performance, de coût, de sécurité ou d'émissions. Les trois partenaires industriels ont tous produit des « véhicules types » qui reposent sur un système de propulsion hybride électrique utilisant des moteurs à allumage par compression et à injection directe. L'évaluation scientifique indépendante des progrès réalisés vers cet objectif est un trait intéressant de ce programme²². Il existe également une coopération entre le Département de l'énergie des États-Unis et des fabricants de batteries dans le cadre du Advanced Battery Consortium (ABC), destinée à mettre au point des systèmes de batteries de stockage. En Europe, la Commission européenne a coopéré avec les fabricants d'automobiles et les raffineurs de pétrole pour déterminer comment ces deux industries peuvent se partager le plus utilement les coûts et les responsabilités en matière de réduction des émissions. Ce programme « Automobile-Pétrole » représente un autre exemple intéressant d'une politique empirique qui a abouti à des réductions sensibles des émissions dans le transport routier. Cependant, le programme n'aborde pas directement le problème des gaz de serre. Au Japon, Honda et Toyota, aidés par le Gouvernement, ont

introduit des véhicules commerciaux hybrides électriques/essence qui présentent un rendement du combustible nettement amélioré. Dans le cadre de certains de ces programmes, on mène également de la recherche-développement en commun sur des véhicules propulsés par des piles à combustible à l'hydrogène. En France, un réseau de recherche patronné par l'État, qui comprend actuellement 56 activités de recherche, a été créé pour encourager la coopération entre des organismes de recherche publics et privés dans le domaine des piles à combustible. Au Brésil, le Gouvernement et les producteurs de carburant et de véhicules ont développé conjointement un programme pour promouvoir la production d'éthanol à partir de la canne à sucre, en utilisant la bagasse comme combustible de raffinage; et les véhicules ont été convertis à l'éthanol ou fabriqués en vue de l'utilisation de ce carburant. À Taiwan (Chine) (où les motocyclettes constituent les trois quarts des véhicules à moteur et produisent 35 % du dioxyde de carbone et 18 % des émissions totales d'hydrocarbures), le Gouvernement a coopéré avec les fabricants de motocyclettes et les fournisseurs de pièces pour mettre au point et commercialiser des scooters électriques.

43. Propositions :

a) Les gouvernements devraient coopérer avec les fabricants de véhicules et les industries énergétiques, ainsi qu'avec les scientifiques et les ingénieurs dans le cadre d'un partenariat en vue de la mise au point de sources d'énergie efficaces, propres et à bon marché pour le transport. Des activités de recherche-développement-démonstration sont nécessaires pour tous les nouveaux types de véhicules décrits ci-dessus et la mise au point de carburants (à part l'élimination du plomb). Les travaux devraient porter non seulement sur des voitures mais également sur des systèmes de piles à combustible pour les véhicules à deux et à trois roues, ainsi que pour les camions et les autobus, qui représentent des sources importantes de pollution et de gaz de serre dans les pays en développement. Il faudrait éliminer le plomb dans l'essence, et les convertisseurs catalytiques devraient être obligatoires pour tous les véhicules concernés;

b) La recherche-développement devrait porter en priorité sur le raffinage et la réduction du coût de véhicules hybrides électriques/essence dotés de systèmes de freinage récupérateurs et sur l'emploi de matériaux plastiques légers et résistants et de conceptions aérodynamiques, et sur la production de carburants à

²¹ The President's Committee of Advisors on Science and Technology (PCAST), *Powerful Partnerships: A report from the panel on international cooperation in energy research, development, demonstration and deployment*, Washington, 1999.

²² National Research Council, *Review of the Research Program of the Partnership for a New Generation of Vehicles: Sixth Report*, Washington, D.C., 2000.

l'hydrogène, de préférence à partir de ressources renouvelables, et de piles à combustible pour automobiles virtuellement non polluantes. Il faudrait également chercher à améliorer les méthodes de production de l'éthanol à partir de la biomasse cellulosique;

c) Des organisations intergouvernementales, avec l'appui et la participation de tous les partenaires concernés, devraient parrainer une évaluation intégrée de l'utilisation de carburants biologiques pour le transport, compte tenu des aspects économiques, sociaux et écologiques de la question;

d) Les stratégies destinées à réduire les émissions de gaz de serre produites par le transport devraient reposer sur l'analyse complète du cycle de combustible, et les scientifiques et les ingénieurs devraient accorder la priorité à la mise au point et à l'application de méthodologies pour l'analyse du cycle de vie incorporant les coûts et les avantages externes²³;

e) La mise au point de méthodes commodées, économiques et sûres pour le stockage de l'hydrogène à bord des véhicules à moteur, par exemple les nanofibres de carbone, devrait constituer un domaine prioritaire de la recherche-développement.

Thème 4. Planification du transport durable : choix et modèles pour la conception des établissements humains et solutions de rechange aux véhicules

44. **Problème.** La plupart des personnes, et certainement les habitants du monde développé, considèrent la mobilité comme une liberté fondamentale. Toutefois, cette liberté est de moins en moins compatible avec la durabilité. Le transport est un consommateur massif d'énergie et a des incidences profondes sur l'environnement, pourtant les modes de vie modernes sont tributaires de systèmes modernes de transport. Le conflit apparent entre le développement économique et la protection de l'environnement domine le débat en matière de transport, alors que des politiques et des solutions technologiques appropriées peuvent atténuer le conflit.

45. Non seulement le transport est-il une source importante de gaz de serre et d'autres problèmes de pollution, puisque les véhicules utilisent des sources d'énergie écologiquement peu rationnelles, comme cela

a été signalé ci-dessus, il pose également d'autres problèmes de durabilité, car la demande de transport s'accroît partout, alors que les modalités traditionnelles de transport, fortement tributaires du véhicule à moteur privé, ne peuvent pas être élargies indéfiniment. En plus des problèmes posés par la qualité de l'air, l'encombrement qui résulte de cette situation se traduit par des pertes de temps croissantes et des coûts associés, tout en réduisant la mobilité tant désirée. Dans les pays en développement, le transport public est souvent encombré, mal entretenu, peu sûr et lent. Il est aussi souvent insuffisant dans les pays industrialisés. Dans tous les pays, les communautés sont souvent développées sans tenir compte des exigences en matière de transport et d'aménagement du territoire. L'étalement des villes et des banlieues qui en résulte se traduit par des besoins accrus de mobilité et, en particulier, d'utilisation des voitures particulières, ce que d'autres pratiques permettraient d'éviter. Les connexions intermodales sont souvent inexistantes ou inadéquates.

46. Le problème a été aggravé par la tendance qu'ont la plupart des gouvernements à encourager le transport routier et la voiture particulière de préférence au transport par rail et à d'autres formes de transport collectif. Cela a souvent été fait en limitant le coût pour l'utilisateur (ou du moins le coût apparent), tout en déplaçant le coût réel vers le grand public par la fiscalité et les régimes de subvention. Non seulement les coûts d'infrastructure sont-ils payés par la collectivité, mais le plus souvent, l'utilisateur ne paie qu'une partie des frais d'exploitation et d'entretien, et cette partie diffère grandement d'un mode de transport à l'autre. Les effets externes sont rarement pris en compte suffisamment.

47. **Solutions.** Il faut deux méthodes complémentaires pour répondre à ces défis. La première consiste à adopter des modes de vie et des types d'aménagement du territoire qui réduisent le besoin de transport motorisé. Parmi les démarches pertinentes à cet égard, il y a l'intégration de l'aménagement du territoire et de la planification des transports, où l'encouragement d'un développement urbain plus dense peut également être examiné; la gestion de la demande de transport et des stratégies de réduction de la demande telles que l'élimination du stationnement gratuit, le subventionnement du transport collectif, et le partage de la voiture; et des programmes de communication, d'éducation et d'incitation destinés à influencer le

²³ The Institution of Engineers, Australia, *Sustainable Transport: Responding to the Challenges* (1999), p. 13.

comportement du public en matière de transport en faveur de la durabilité²⁴.

48. La deuxième méthode consiste à employer des politiques appropriées et la technologie moderne en vue de réconcilier la demande de transport accessible et l'objectif de durabilité. Il s'agit surtout d'influencer la distribution de la demande de transport parmi les modes et entre les systèmes individuels et collectifs. Il faudrait donner au transport collectif la priorité sur la voiture particulière, notamment en employant des outils économiques tels que les taxes sur les carburants et les véhicules. Des développements technologiques tels que les systèmes de transport intelligents peuvent être utilisés pour introduire des péages et orienter leur niveau; la mise au point de systèmes d'information nationaux sur le transport pour les différents modes peut aider à planifier le transport intermodal. Des exemples réussis de systèmes de transport public comme ceux de Hong Kong (Chine), de Curitiba (Brésil), et de Portland (Oregon, États-Unis) peuvent offrir des leçons pour d'autres villes. Des systèmes novateurs de partage des voitures, tels que Stadtauto Berlin et European CarSharing, méritent d'être examinés plus avant²⁵. La demande de transport de marchandises en vrac par des véhicules peut être réduite moyennant l'utilisation de pipelines souterrains et d'autres systèmes de logistique.

49. Propositions :

a) Les décideurs politiques à tous les niveaux, les scientifiques et les ingénieurs devraient adopter une triple démarche consistant à favoriser des modes de vie et un aménagement du territoire durables, tout en tirant parti du développement de technologies appropriées pour créer des systèmes de transport durables. Il s'agirait notamment : de garantir qu'on peut marcher dans la rue en toute sécurité à toute heure de jour et de nuit; d'encourager la bicyclette en tant que solution de rechange au transport public; de faire en sorte que le déplacement par autobus soit compétitif par rapport à la voiture; d'utiliser au maximum le rail tant pour les marchandises que pour les passagers; de développer pleinement le potentiel de pipelines sûrs et écologiquement rationnels; de réduire le coût écologique du transport par avion; d'encourager l'utilisation du transport maritime; d'aider les jeunes, les vieillards et les handicapés à se déplacer;

b) Il faudrait intégrer la planification du transport dans une planification interdisciplinaire plus générale des établissements humains. Ce processus devrait tirer pleinement parti de la participation interdisciplinaire des spécialistes des sciences naturelles et des sciences sociales et des ingénieurs de toutes les disciplines concernées;

c) Les agences de financement publiques et privées devraient encourager les recherches sur le comportement pour comprendre la motivation des utilisateurs du transport, par exemple pour savoir ce qui a conduit à l'utilisation excessive de véhicules polluants et ce qu'il faut faire pour inciter à l'utilisation du transport collectif ou du transport par voiture partagée. Il faudrait également appuyer des recherches sur les dimensions institutionnelles du transport durable;

Une large gamme de scientifiques individuels et d'institutions scientifiques ont contribué à cette brève étude sur les questions du développement durable de l'énergie et du transport. La nature plutôt homogène du document n'est pas représentative de la nature indépendante et disparate de la communauté scientifique, dont la grande diversité représente l'un de ses principaux atouts.

Il est important de reconnaître que les tendances mises en relief dans le présent document concernant l'énergie et le transport vont à l'encontre de ce que nous recommandons. L'aide publique au développement dans le domaine de l'énergie baisse de manière spectaculaire. Les investissements des États en matière de recherche-développement sur les nouvelles technologies énergétiques ont fléchi. Les activités de recherche-développement entreprises en coopération avec les pays en développement sont quasiment inexistantes. L'appui fourni au développement institutionnel et d'autres efforts essentiels en faveur du développement des capacités ne bénéficient pas d'un appui suffisant, notamment dans les pays en développement et dans les pays en transition. Il faut inverser ces tendances – et nous pensons que la communauté scientifique peut faire une contribution importante à cet égard.

La science est essentielle à la bonne gouvernance, à tous les niveaux et dans toutes les régions. La participation de la communauté internationale aux travaux de la Commission du développement durable montre qu'elle est prête à jouer un rôle actif dans

²⁴ The Institution of Engineers, Australia, op. cit.

²⁵ <<http://www.stadtauto.de/ECS.html>>.

l'identification et l'application de solutions appropriées en faveur du développement durable, dans un partenariat avec les gouvernements, les organisations internationales, d'autres groupes importants et la société en général.
