

# Rapport sur l'énergie dans le monde

Programme des Nations Unies  
pour le développement

Département des affaires économiques  
et sociales des Nations Unies

Conseil mondial de l'énergie

# l'énergie

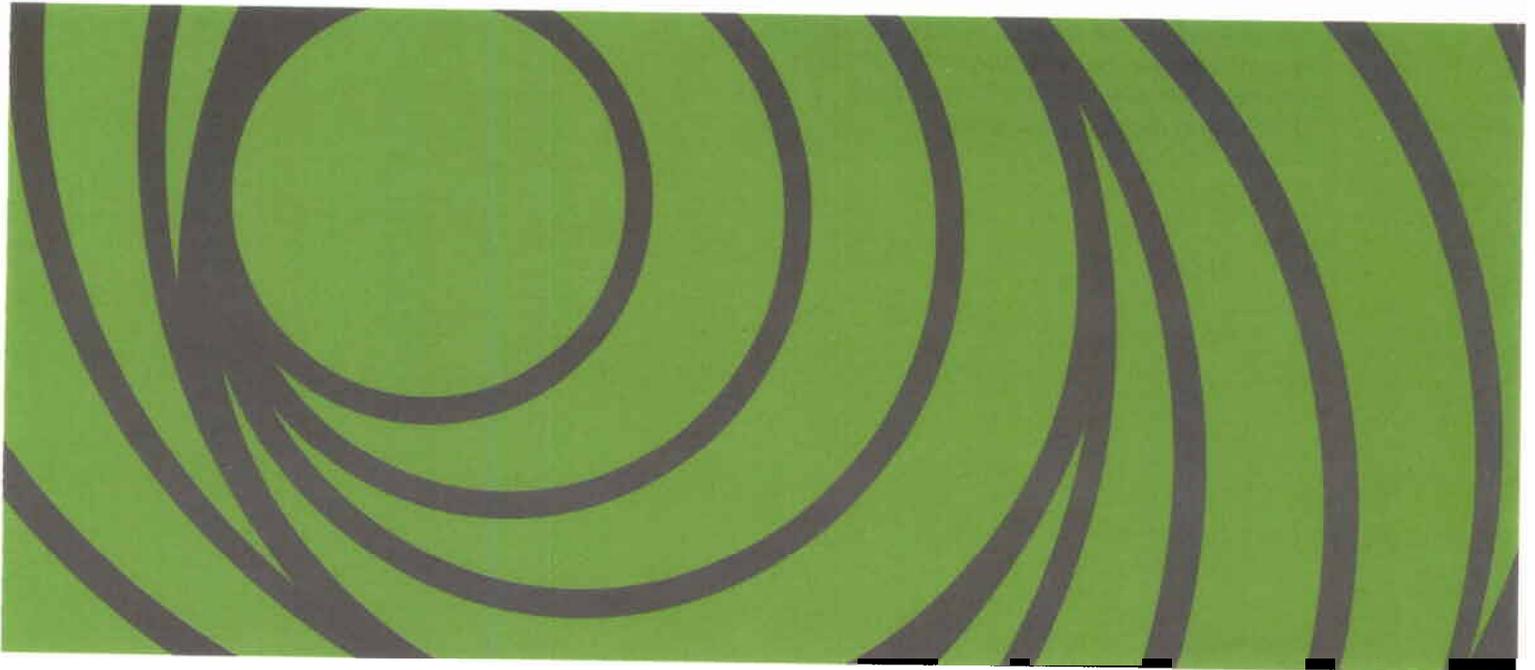
et le challenge du développement durable



**s y n t h è s e**



# synthèse



Programme des Nations Unies  
pour le développement



Département des affaires  
économiques et sociales  
des Nations Unies



Conseil mondial de l'énergie



## Rapport sur l'énergie dans le monde

Traduction et impression de la version française assurée par le Ministère français des affaires étrangères (DGCID) et l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

La rédaction et l'édition du Rapport sur l'Energie dans le Monde a bénéficié du soutien des Gouvernements d'Autriche, de Finlande et de Suède, et de la Fondation pour l'Energie. La relecture et la validation du rapport ont été facilitées par la Fondation des Nations Unies.

© 2000 PNUD

Programme des Nations Unies pour le développement  
Bureau de la politique de développement  
One United Nations Plaza  
New York, N.Y. 10017

Tous droits réservés  
Fabriqué aux U.S.A.  
Première impression : septembre 2000

Les analyses et les conclusions du *Rapport sur l'énergie dans le monde* ne reflètent pas nécessairement l'opinion du PNUD, de son comité exécutif, du département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, des États membres des Nations Unies, ni des comités membres du Conseil mondial de l'énergie.

ISBN : 92-1-126126-0  
No. de vente : 00.III.B.5

Révision finale effectuée par "Communications Development Incorporated", Washington, D.C.

Conçu par Julia Ptasznik; Suazion, Staten Island, NY.

Imprimé sur papier recyclé.

# table des matières

<b>Avant-propos</b> .....	<b>i</b>
Mark Malloch Brown, Programme des Nations Unies pour le développement Nitin Desai, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies Gérald Doucet, Conseil mondial de l'énergie	
<b>Préface</b> .....	<b>iii</b>
José Goldemberg, Rapport sur l'énergie dans le monde	
<b>Remerciements</b> .....	<b>iv</b>
<b>Comité de rédaction</b> .....	<b>v</b>
<b>Institutions fondatrices</b> .....	<b>vii</b>
<b>Synthèse du Rapport sur l'énergie dans le monde</b> .....	<b>1</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>2</b>
<b>Partie 1 : L'énergie et les grands problèmes mondiaux</b> .....	<b>4</b>
<b>Partie 2 : Ressources énergétiques et choix technologiques</b> .....	<b>14</b>
<b>Partie 3 : Des avenir durables sont-ils possibles ?</b> .....	<b>21</b>
<b>Partie 4 : Et maintenant, où allons-nous ?</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe : Unités de mesures énergétiques, facteurs de conversion et abréviations</b> .....	<b>31</b>
<b>Schémas</b>	
Schéma 1 : Exemple de filière énergétique, de l'extraction aux services .....	5
Schéma 2 : Consommation d'énergie primaire par habitant (commerciale et non commerciale) par région, 1995 .....	6
Schéma 3 : PIB et consommation d'énergie primaire dans les pays de l'OCDE, 1971-96 .....	7
Schéma 4 : Intensités d'énergie primaire dans différents pays, 1850-2000 .....	8
Schéma 5 : Demande moyenne d'énergie par tranche de revenus au Brésil, 1988 .....	9

Schéma 6 : Courbes d'apprentissage pour les systèmes photovoltaïques, les éoliennes et les turbines à gaz au Japon et aux États-Unis .....	18
Schéma 7 : Parts des énergies primaires entre 1850 et 1990, et dans le scénario C1 pour 2100 .....	23
Schéma 8 : Besoins mondiaux en énergie primaire de 1850 à 1990, et dans les trois scénarios de 1990 à 2100 .....	25

#### **Tableaux**

Tableau 1 : Consommation mondiale d'énergie primaire, 1998 .....	6
Tableau 2 : Choix énergétiques et questions de société .....	9
Tableau 3 : bouleversements environnementaux liés à l'activité humaine, par secteur au milieu des années 90 .....	10
Tableau 4 : Situation actuelle et coûts des technologies des énergies renouvelables .....	17
Tableau 5 : Résumé des 3 scénarios de développement énergétique en 2050 et 2100 par rapport à 1990 .....	22
Tableau 6 : Caractéristiques de durabilité dans 3 scénarios de développement énergétique en 2050 et en 2100, par rapport à 1990 .....	24

**Si vous souhaitez recevoir le Rapport sur l'énergie dans le monde (environ 500 pages), merci de vous reporter à la page 32**

# avant-propos

**Mark Malloch Brown**  
Administrateur  
Programme des Nations Unies  
pour le développement

**Niti Desai**  
Sous-secrétaire général  
Département des affaires  
économiques et sociales  
des Nations Unies

**Gérald Doucet**  
Secrétaire général  
Conseil mondial de l'énergie

**C**ent cinquante pays se sont engagés, dans le cadre de l'Agenda 21\*, dans un programme pour le développement durable, centré sur la personne humaine. Ce programme a été adopté en 1992 lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) de Rio de Janeiro. L'Agenda 21 a souligné l'importance de l'énergie dans le développement durable. La session extraordinaire de l'assemblée générale des Nations Unies de juin 1997, convoquée pour le suivi du programme Agenda 21, est allée plus loin. Elle a en effet insisté sur le fait que des modes durables de production, de distribution et d'utilisation de l'énergie sont indispensables à une amélioration constante de la qualité de vie. Elle a également déclaré que la 9<sup>ème</sup> session de la Commission du développement durable des Nations Unies (CDD-9), qui doit se tenir en 2001, devait porter sur les liens entre atmosphère et énergie, ainsi que ceux entre énergie et transports.

A la fin de 1998, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), le Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (DAESNU) et le Conseil mondial de l'énergie (CME) ont initié l'élaboration du *Rapport sur l'énergie dans le monde* pour contribuer au débat et nourrir les discussions par une information globale. Ce rapport concerne les questions sociales, économiques et environnementales, ainsi que les questions de sécurité liées à la fourniture et à l'utilisation de l'énergie. Il propose des éléments d'analyse et de solution des questions énergétiques pour un développement durable.

Nous concevons le *Rapport sur l'énergie dans le monde* comme une contribution à la préparation de la CDD-9 et de la Conférence de Rio plus 10 qui doit avoir lieu en 2002. Nous pensons qu'une synthèse des informations analysées et validées concernant les modes de production et de consommation d'énergie s'avérera un outil précieux pour les responsables des systèmes énergétiques aux niveaux régional et national, ainsi que pour de nombreux autres publics.

Notre avenir, en terme d'énergie, dépendra en grande partie non seulement des décisions des gouvernements, mais également des accords régionaux, du secteur privé et de la société civile. C'est la raison pour laquelle ce rapport est la pierre angulaire d'un effort considérable du PNUD, du DAESNU et du CME. Cet effort comprend des dialogues au niveau régional, des échanges entre pays en développement, et entre pays en développement et pays

\* N.d.t. : le terme anglais de "Agenda 21" se traduit officiellement en français par "Action 21". Nous avons cependant conservé dans ce document le terme de "Agenda 21" qui est d'un usage plus courant.

industrialisés, ainsi que des consultations avec un large éventail de parties prenantes et d'opérateurs privés, lesquels sont rarement entendus dans le cadre des débats des Nations Unies.

*Le Rapport sur l'énergie dans le monde* résulte donc d'une collaboration entre les trois institutions fondatrices, les douze auteurs principaux et les équipes d'experts. Des versions préliminaires du rapport ont été adressées à un large public d'experts et de représentants des États pour analyse et consultation. Cette analyse comprenait la réunion d'un comité consultatif extraordinaire, un suivi par courrier électronique, des consultations aux niveaux local, régional et mondial, ainsi que des consultations avec des organisations non gouvernementales. Le Comité de Rédaction a étudié le contenu des chapitres au cours de six réunions étalées sur un an. Même si la synthèse reflète les analyses conjointes et si elle est le fruit des réflexions du Comité de Rédaction, chacun des auteurs principaux assume la responsabilité de sa propre contribution. ■

# préface

**José Goldemberg**  
Président, Rapport sur  
l'énergie dans le monde

L'énergie est la pierre angulaire du développement durable, dans ses objectifs économiques, sociaux et environnementaux. Pour les atteindre, les ressources et les modes de production de l'énergie doivent être revus, ainsi que ses usages. A défaut, les conséquences néfastes sur l'environnement vont s'amplifier rapidement, l'inégalité va croître et la croissance économique mondiale sera mise en péril.

Nous ne pouvons tout simplement pas ignorer les besoins énergétiques des deux milliards d'individus qui ne disposent d'aucun moyen d'échapper aux situations de pauvreté et de sous-développement. De même, les problèmes aux niveaux local, régional et mondial, liés à l'utilisation des énergies conventionnelles ne disparaîtront pas d'eux-mêmes. Nous sommes en outre confrontés à d'autres défis : le prix élevé de la fourniture d'énergie dans de nombreux pays, la vulnérabilité face aux interruptions de la fourniture et la nécessité de disposer de services énergétiques pour rendre possible un développement sur le long terme.

*Le Rapport sur l'énergie dans le monde* soutient que des solutions à ces problèmes urgents existent et que l'avenir est avant tout une question de décision et non de fatalité. En agissant dès maintenant avec un jeu de politiques intelligemment repensées, nous pouvons créer des systèmes énergétiques susceptibles de nous mener vers un monde plus équitable, sûrs d'un point de vue environnemental et économiquement viables.

Cependant, transformer les systèmes énergétiques n'est pas simple. C'est un processus complexe qui exigera, sur une longue période, des efforts concertés et importants de la part des gouvernements, des entreprises et des membres de la société civile. Un consensus sur les tendances observées et les changements qui s'imposent dans les systèmes énergétiques peut accélérer ce processus.

*Le Rapport sur l'énergie dans le monde* a été entrepris en partie pour faire émerger une vision commune sur la manière dont nous pouvons utiliser l'énergie comme un outil du développement durable. Son analyse démontre que nous devons faire davantage pour promouvoir l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, et encourager les technologies avancées qui offrent des alternatives pour une fourniture et une utilisation plus propres et plus sûres de l'énergie. Nous devons également apporter notre assistance aux pays en développement afin qu'ils trouvent des moyens d'éviter le passage par tous les stades de gaspillage et de destruction qui ont caractérisé l'industrialisation dans le passé.

Un travail considérable a été réalisé par un grand nombre de personnes en vue de cette publication et mon espoir est que celle-ci contribue à un monde plus équitable, plus prospère et plus durable. ■

## REMERCIEMENTS

Cette publication n'aurait pas pu voir le jour sans les efforts soutenus de nombreux participants, à commencer par les membres du Comité de Rédaction et les auteurs de chacun des chapitres, ainsi que les représentants des institutions sous l'égide desquelles elle a été réalisée. Dans la mesure où la majorité des membres du comité sont des experts dans leur domaine, ils avaient des emplois du temps très chargés et une série de délais impératifs à respecter.

Le processus de rédaction a été guidé avec talent par le Président José Goldemberg (Brésil). Sa grande expérience des questions énergétiques, politiques et des relations internationales a été inestimable et son engagement sans faille dans la réussite de ce projet a été une source d'inspiration pour tous les participants. Nous sommes également très reconnaissants envers les autres membres du Comité de Rédaction pour leur travail ardu de préparation et de révision de cette publication selon un calendrier extrêmement serré, pour leur esprit d'émulation tout en maintenant un esprit de coopération, ainsi que pour leur engagement en faveur de l'idée d'une énergie conçue comme un outil du développement durable.

Caitlin Allen, Chef de projet, a joué un rôle clef pour la réussite de ce projet. Son bureau était le centre des communications entre les membres du Comité de Rédaction qui sont dispersés de par le monde. Elle a également dirigé les équipes administrative, éditoriale et graphique qui ont contribué à l'élaboration de cette publication et a planifié et mis en œuvre la phase finale du projet.

Nous apprécions les efforts de l'ensemble de l'équipe chargée du *Rapport sur l'énergie dans le monde*, notamment Janet Jensen pour son assistance éditoriale tout au long du projet, Nerissa Cortes pour avoir réglé d'innombrables questions administratives et Natty Davis pour son aide lors de la phase finale du projet. Nous remercions également Julia Ptasznik pour la conception originale des maquettes de la publication et "Communications Development Incorporated" pour leur révision finale.

Les institutions sous les auspices desquelles cette publication a été réalisée remercient également le Conseil Consultatif, les pairs qui ont revu ce document et les participants au processus de consultation et de finalisation de ce projet. ■

# comité de rédaction

## Président

**José Goldemberg, Brésil**

## Vice-Présidents

**John W. Baker, Royaume-Uni**

**Safiatou Ba-N'Daw, Côte d'Ivoire**

**Hisham Khatib, Jordanie**

**Anca Popescu, Roumanie**

**Francisco L. Viray, Philippines**

## Membres

**Dennis Anderson, Royaume-Uni**

**John P. Holdren, États-Unis**

**Michael Jefferson, Royaume-Uni**

**Eberhard Jochem, Allemagne**

**Nebojsa Nakicenovic, Autriche**

**Amulya K.N. Reddy, Inde**

**Hans-Holger Rogner, Allemagne**

**Kirk R. Smith, États-Unis**

**Wim C. Turkenburg, Pays-Bas**

**Robert H. Williams, États-Unis**

## Sous l'égide des institutions suivantes

**Sous l'égide des représentants des institutions suivantes:**

**Thomas B. Johansson (PNUD)**

**JoAnne DiSano et Kui-nang Mak (DAESNU)**

**Gérald Doucet et Emad El-Sharkawi (CME)**

**Caitlin Allen, Chef de projet**

**Janet Jensen, Rédactrice en chef**



# institutions fondatrices

Le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) a pour mission d'aider les pays à parvenir à un développement social durable en soutenant leurs efforts pour bâtir leur capacité à concevoir et mettre en œuvre des programmes de développement orientés vers l'éradication de la pauvreté, la création des emplois et des moyens d'existence durable, l'accroissement du pouvoir des femmes ainsi que la protection et la régénération de l'environnement, la priorité étant accordée à l'éradication de la pauvreté. Le PNUD concentre son action sur le soutien politique et la mise en place des institutions dans les pays participant au programme, par l'intermédiaire de son réseau de bureaux situés dans 136 pays.

Le Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (DAESNU) est l'instrument *facilitateur* des processus intergouvernementaux. Par sa division pour le développement durable, il agit pour des organismes tels que la Commission du Développement Durable des Nations Unies et le Comité de l'Énergie et des Ressources Naturelles pour le Développement des Nations Unies. Le DAESNU est, entre autres, chargé de travaux statistiques et d'analyses destinés à la surveillance de l'environnement et du développement durable. Il exerce une activité de conseil dans les domaines politique et technique, et met en œuvre des projets de coopération technique à la demande de pays en développement, dans le cadre du suivi du Sommet planète Terre de 1992.

Le Conseil mondial de l'énergie (CME) est une organisation non-gouvernementale mondiale fondée en 1923 et regroupant les intervenants de tous les secteurs de l'énergie. Ces dernières années, le CME s'est fait une réputation dans le domaine de l'énergie par ses études, ses services techniques et ses programmes régionaux. Son travail recouvre l'élaboration des scénarios de développement de l'énergie à long terme, les questions de l'énergie dans les économies en développement et en transition, le financement de l'énergie, les mesures d'efficacité et de libéralisation des marchés de l'énergie et les questions environnementales. Par l'intermédiaire de ses comités présents dans près de 100 pays, il a encouragé la participation du secteur privé tout au long du processus éditorial et de consultation de ce rapport.

Pour plus d'informations sur les trois institutions fondatrices, vous pouvez consulter les sites internet suivants :

PNUD : [www.undp.org/seed/eap](http://www.undp.org/seed/eap)

DAESNU : [www.un.org/esa](http://www.un.org/esa)

CME : [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org) ■





Rapport  
sur l'énergie  
dans le Monde  
synthèse

L'énergie et le challenge du développement durable

Le *Rapport sur l'énergie dans le monde* propose aux décideurs, à tous les niveaux de prise de décision, un ensemble d'analyses et d'informations scientifiques sur les questions énergétiques. Il traite de la relation fondamentale entre *énergie et développement durable* et analyse la façon dont l'énergie peut permettre d'atteindre cet objectif. Cette synthèse présente les éléments principaux et les conclusions du *Rapport sur l'énergie dans le monde*, qui comporte quatre parties.

La Partie 1 (chapitres 1 à 4) débute par une introduction à l'énergie, en particulier son rapport au développement économique. Elle envisage ensuite les liens entre le système énergétique actuel et les principaux défis mondiaux, tels que la réduction de la pauvreté, la santé, la protection de l'environnement, la sécurité énergétique et l'amélioration de la condition des femmes. Les différents chapitres montrent que, bien que l'énergie soit essentielle à la croissance économique et au développement humain, un tiers de la population mondiale n'a pas les moyens d'accéder à une énergie commerciale et que de nombreux pays et individus sont vulnérables face aux ruptures d'approvisionnement en énergie. De plus, la production et les usages de l'énergie ont des conséquences néfastes aux niveaux local, régional ou mondial, pour la santé des hommes et pour l'équilibre écologique à long terme.

La Partie 2 (chapitres 5 à 8) examine les ressources et les choix technologiques mobilisables pour relever les défis examinés dans la Partie 1. Elle conclut que les ressources physiques sont assez abondantes pour satisfaire les besoins mondiaux en énergie pendant le prochain siècle et au-delà, mais que leur usage pourrait être conditionné par des contraintes environnementales ou autres. Les options compatibles avec ces contraintes, et qui passent par l'amélioration de l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et des technologies de nouvelle génération, sont ensuite mieux analysées. L'analyse indique que le potentiel technique et économique des mesures d'efficacité énergétique est sous-exploité et qu'une plus large contribution des énergies renouvelables à la consommation mondiale d'énergie est, dès à présent, économiquement viable. A plus long terme, un éventail de technologies avancées et de nouvelles technologies pour les énergies renouvelables pourrait fournir, en toute sécurité, des quantités substantielles d'énergie, à des coûts abordables et avec des émissions avoisinant un taux zéro.

La Partie 3 (chapitres 9 et 10) fait la synthèse et intègre les informations des chapitres précédents pour examiner si des avènements durables, satisfaisant simultanément les objectifs évoqués dans la Partie 1 en faisant appel aux moyens identifiés dans la Partie 2, sont possibles. Pour traiter cette question, le chapitre 9 propose trois options différentes d'évolution prospective de la demande en énergie selon diverses approches politiques et différents schémas d'évolution technique. L'analyse montre que l'option de référence, fondée sur la poursuite des tendances actuelles, ne remplit pas plusieurs des critères de durabilité. Deux autres options, et plus particulièrement l'une d'entre elles influencée par des considérations environnementales, sont à même de mieux intégrer les caractéristiques propres au développement durable. Le chapitre 10 étudie le défi que représente la fourniture d'énergie à un coût abordable aux régions rurales des pays en développement. Il détaille des solutions pour élargir l'accès aux combustibles liquides et gazeux pour la cuisson et le chauffage, ainsi qu'à l'électricité afin de satisfaire les besoins de base et stimuler les activités génératrices de revenus.

La Partie 4 (chapitres 11 et 12) analyse les options politiques qui permettraient de transformer les pratiques actuelles et de mettre l'énergie au service du développement durable, comme chacune des principales conférences des Nations Unies dans les années 90 l'a réclamé. Le développement de systèmes énergétiques qui contribuent à construire le développement durable nécessitera la mise en œuvre de politiques qui sauront mettre à profit le marché pour la promotion de l'efficacité énergétique, un recours accru aux énergies renouvelables, ainsi que le développement et la diffusion de technologies énergétiques propres de nouvelle génération. Avec des signaux appropriés, le marché pourrait y répondre en grande partie. Cependant, parce que les lois du marché ne suffisent pas à elles seules à garantir la satisfaction des besoins en énergie des populations pauvres, ou à protéger de façon adéquate l'environnement, le développement durable requiert un cadre (incluant des mesures politiques cohérentes ainsi que des régimes réglementaires transparents) pour atteindre de tels objectifs. ■

On entend par "énergie durable" une énergie produite et utilisée de façon à favoriser le développement humain dans toutes ses dimensions : sociale, économique et environnementale.

Le développement humain peut être abordé en termes de choix et d'occasions proposés aux individus. L'énergie peut élargir radicalement ces choix. Par exemple, le simple fait d'atteler les bœufs a multiplié l'énergie de l'homme par dix. L'invention de la roue hydraulique verticale a multiplié à nouveau la productivité par six; la machine à vapeur a encore entraîné un gain d'un ordre de grandeur d'une toute autre ampleur. L'usage des véhicules à moteur a considérablement réduit les temps de trajet et a étendu la capacité de l'homme à approvisionner les marchés en produits.

Aujourd'hui, la disponibilité immédiate d'une énergie abondante et abordable permet à de nombreux individus de jouir d'un niveau de vie, d'une mobilité et d'une productivité sans précédents. Dans les pays industrialisés, on utilise 100 fois plus d'énergie par habitant que ne le faisaient les hommes avant qu'ils n'apprennent à exploiter le potentiel énergétique du feu<sup>1</sup>.

Bien que l'énergie alimente la croissance économique et qu'elle soit, pour cette raison, une préoccupation majeure pour tous les pays, l'accès à l'énergie et son utilisation varient considérablement d'un pays à l'autre, ainsi qu'au sein d'un même pays entre les riches et les pauvres. En effet, deux milliards d'individus, c'est à dire un tiers de la population mondiale, en sont restés presque exclusivement à des sources traditionnelles d'énergie et donc ne sont pas en mesure de saisir des possibilités offertes par les formes modernes d'énergie (Banque mondiale, 1996 ; CME-OAA, 1999 ; PNUD, 1997)<sup>2</sup>. En outre, les modes de production et d'utilisation d'énergie les plus répandus s'accompagnent de conséquences sur l'environnement aux niveaux local, régional et mondial, qui menacent le bien-être de l'homme, aussi bien aujourd'hui que dans le futur.

Les Nations Unies et ses États membres ont fortement soutenu l'objectif du développement durable, qui implique la satisfaction des besoins du présent, sans pour autant compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins (CMED, 1987, p.8)<sup>3</sup>. L'importance de l'énergie en tant que moyen permettant d'atteindre cet objectif a été reconnue lors de chaque conférence majeure des Nations Unies durant les années 90, à commencer par le Sommet planète Terre de Rio (Conférence des Nations Unies pour l'environnement et le développement) en 1992<sup>4</sup>. Cependant, les systèmes énergétiques actuels, tels qu'analysés dans le rapport et résumés ici, ne permettent pas de satisfaire les besoins fondamentaux de l'ensemble des populations, et la poursuite des pratiques de "laisser faire" ("*business as usual*") pourrait compromettre les perspectives des générations futures.

Dans ce rapport, on entend par *énergie durable* une énergie produite et utilisée de façon à soutenir le développement humain à long terme dans toutes ses dimensions : sociale, économique et environnementale. En d'autres termes, l'énergie durable ne se réduit pas simplement à la fourniture continue d'énergie, mais implique la production et l'utilisation des ressources d'énergie de manière à promouvoir, ou du moins, à être compatibles avec le bien-être humain et l'équilibre

écologique à long terme.

De nombreuses pratiques actuelles dans le domaine de l'énergie ne sont pas compatibles avec cette définition.

Selon l'Agenda 21, « Une grande partie de l'énergie mondiale... est actuellement produite et consommée d'une manière qui ne pourra être maintenue si la technologie devait demeurer la même et si les quantités globales devaient s'accroître de façon substantielle » (NU, 1992, chapitre 9.9)<sup>5</sup>. La Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, adoptée en 1992, s'est attachée à définir le rôle de l'énergie dans les changements climatiques du fait des émissions de gaz à effet de serre, dont la majorité est produite par la consommation de combustibles fossiles. En 1997, la session extraordinaire de l'assemblée générale des Nations Unies a qualifié d'essentielles les questions relatives à l'énergie et au transport pour l'accomplissement d'un futur durable et a défini des objectifs clés dans ces domaines.

Les industriels du secteur de l'énergie reconnaissent également le besoin de traiter les questions d'énergie tout en conservant un champ de vision plus large. Par exemple, les conclusions et recommandations du 17<sup>ème</sup> congrès du Conseil mondial de l'énergie discutent de la nécessité de fournir de l'énergie commerciale à ceux qui n'en ont pas et d'aborder, à tous les niveaux, la question des conséquences de l'énergie sur l'environnement (CME, 1998)<sup>6</sup>.

Bien qu'il semble n'y avoir aucune limite matérielle à la fourniture d'énergie pendant les cinquante prochaines années au moins, le système énergétique mondial actuel ne peut pas perdurer, aussi bien pour des questions d'équité que pour des considérations environnementales, économiques ou géopolitiques dont les implications vont bien au-delà d'un avenir proche. Parmi les aspects ne permettant pas au système actuel d'être durable, on peut citer les suivants :

- Les combustibles modernes, ainsi que l'électricité, ne sont pas universellement accessibles, ce qui constitue une inégalité dont les dimensions sont morales, politiques et pratiques dans un monde caractérisé par des échanges croissants.
- Les systèmes énergétiques actuels ne sont pas suffisamment fiables ou de coût abordable pour soutenir une croissance économique à grande échelle. La productivité d'un tiers de la population mondiale est compromise par l'absence d'accès à l'énergie commerciale et sans doute un deuxième tiers de la population mondiale souffre de difficultés et d'insécurité économiques dues à des fournitures d'énergie non fiables.
- Des conséquences négatives sur l'environnement à une échelle locale, régionale, et mondiale dues à la production et à l'utilisation d'énergie menacent la santé et le bien-être des générations actuelles et futures.

Des éléments plus spécifiques et plus facilement quantifiables permettant de contribuer au développement durable sont identifiés ci-dessous dans la section relative aux scénarios pour le futur. Cependant, avant de se soucier de l'avenir, certains aspects élémentaires de l'énergie et de sa relation avec le développement économique sont décrits et les liens entre l'énergie et les défis mondiaux majeurs sont analysés.

## PARTIE 1. L'ÉNERGIE ET LES GRANDS PROBLÈMES MONDIAUX

La Partie 1 décrit les liens entre l'énergie et les questions économiques, sociales et de santé, ainsi qu'avec la protection de l'environnement et la sécurité. Elle traite également des aspects de l'utilisation de l'énergie et de la difficile compatibilité avec les objectifs du développement durable. Elle démontre que :

- La fourniture d'une énergie moderne et à prix abordable, comprenant des combustibles gazeux et liquides, de l'électricité ainsi que des technologies permettant un usage final plus efficace ne sont pas accessibles à deux milliards d'individus. Ceci restreint les possibilités de développement économique et d'amélioration du niveau de vie.
- Les disparités d'accès à une énergie commerciale et aux services énergétiques à prix abordables, aussi largement répandues qu'injustes, vont à l'encontre du concept de développement humain et menacent la stabilité sociale.
- Une fourniture non fiable d'énergie constitue une difficulté et un fardeau économique pour une grande partie de la population mondiale. En outre, la dépendance vis-à-vis des combustibles importés laisse de nombreux pays dans une situation vulnérable face aux ruptures de cet approvisionnement.
- La santé est menacée par les niveaux élevés de pollution résultant de l'utilisation de certains types d'énergie au niveau du foyer, de la communauté et de la région.
- Les conséquences sur l'environnement des émissions liées à la consommation d'énergie, y compris les fines particules en suspension et les polluants à l'origine des dépôts acides, contribuent à la pollution de l'air et à la dégradation de l'écosystème.
- Les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines, du fait principalement de la production et de l'utilisation d'énergie, altèrent l'atmosphère d'une manière qui a peut-être d'ores et déjà des conséquences détectables sur le climat de la planète.

Trouver des solutions permettant d'accroître la fourniture de services énergétiques, tout en prenant en compte les conséquences environnementales liées à l'utilisation d'énergie, constitue un défi majeur pour l'humanité. Les ressources et les options à notre disposition pour relever ce défi – efficacité énergétique, énergies renouvelables et technologies de pointe en matière d'énergie – sont analysées dans les parties qui suivent.

### Introduction aux systèmes énergétiques et développement

Un système énergétique comprend un secteur de fourniture d'énergie, ainsi que des technologies d'usage final de l'énergie. L'intérêt du système énergétique est de faire parvenir aux consommateurs le service que peut offrir l'énergie. Le terme de *services énergétiques* est utilisé pour décrire ces services qui, pour les familles, comprennent notamment l'éclairage, la cuisson des aliments, l'obtention de températures d'intérieur agréables, la réfrigération, ainsi que le transport. Les services énergétiques sont également nécessaires pour l'ensemble des activités industrielles et commerciales. Le chauffage, ainsi que le refroidissement, par exemple, sont nécessaires à de nombreux procédés industriels, la force motrice l'est pour l'agriculture et l'électricité pour les télécommunications et pour l'électronique.

La chaîne énergétique permettant de mettre ces services à disposition commence par la réception ou l'extraction de l'énergie primaire qui, en une ou plusieurs étapes, peut être convertie en produits vecteurs d'énergie, tels que l'électricité ou le fioul, qui conviennent aux utilisations finales. Les équipements utilisant une énergie finale, tels que les foyers non ventilés, les ampoules électriques, les véhicules ou les machines, convertissent l'énergie finale en énergie utile qui apporte les bénéfices attendus. L'exemple d'une chaîne d'énergie, qui débute par l'extraction du charbon dans une mine (énergie primaire) et se termine par la production d'acier (service énergétique), est

illustré par le schéma 1.

La fourniture d'un service énergétique est le résultat d'une combinaison de nombreuses technologies, d'infrastructures (capital), de travail (savoir-faire), de matériaux et d'énergie primaire. Il est clair que chacun de ces facteurs de production a un prix et qu'ils sont en partie substituables l'un à l'autre. Du point de vue du consommateur, les questions importantes sont celles de la valeur économique ou de l'utilité de ce service. Les consommateurs sont rarement conscients des activités requises en amont pour leur offrir ces services énergétiques.

La consommation d'énergie primaire par habitant aux États-Unis était de 330 giga-joules\* (GJ) en 1995, c'est à dire plus de 8 fois celle d'un Africain subsaharien moyen, (qui a consommé approximativement 40 GJ\*\* cette année-là, si l'on prend en compte aussi bien l'énergie commerciale que l'énergie traditionnelle). De nombreuses personnes dans les pays les moins avancés en consomment beaucoup moins. Le schéma 2 montre la consommation d'énergie commerciale et non-commerciale dans diverses régions du globe.

Dans la plupart des pays en développement caractérisés par un revenu peu élevé, une minorité riche de la population utilise de nombreuses formes d'énergie commerciale, tout comme la majorité des habitants des pays industrialisés. Mais la majorité de la population dépend toujours des sources d'énergies tradition-

\* N.d.t. : soit 7,9 tep (tonne équivalent pétrole)

\*\* N.d.t. : soit 0,9 tep

nelles et non-commerciales et utilise des technologies inefficaces, telles que les foyers non ventilés et les foyers ouverts. Les sources d'énergies traditionnelles ne sont généralement pas prises en compte dans les statistiques énergétiques. Les analyses basées sur la consommation par habitant de ressources en énergie commerciale sont courantes parce que les données sont beaucoup plus faciles à obtenir. Cependant, l'analyse qui en résulte ne reflète pas correctement la situation mondiale de l'énergie, ce qui explique pourquoi les estimations d'utilisation de l'énergie non-commerciale ont été incluses dans le tableau 1 et dans le schéma 2. Bien qu'elle fasse l'objet de moins d'études et d'analyses, l'énergie non-commerciale est très importante globalement et est beaucoup plus utilisée que l'énergie commerciale dans les régions rurales de nombreux pays en développement, en particulier ceux qui sont les moins avancés.

La consommation mondiale d'énergie commerciale est des milliers de fois inférieure au flux d'énergie du soleil vers la terre. Comme le montre le tableau 1, la consommation d'énergie primaire dépend des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon), qui représentent environ 77 % du total des combustibles. L'énergie nucléaire contribue à hauteur d'un taux légèrement supérieur à 6 %, tandis que l'énergie hydraulique et l'ensemble des nouvelles énergies renouvelables contribuent chacun à hauteur d'environ 2 %.\*

À l'échelle mondiale, l'énergie traditionnelle (le plus souvent non commerciale\*\*) représente environ 12 % du total de l'ensemble des combustibles. La répartition est toutefois inégale. L'énergie non-commerciale représente peut-être 2 % de la consommation totale d'énergie dans les pays industrialisés par rapport à un taux moyen de 30 % dans les pays en développement. Dans les pays les moins avancés, la biomasse traditionnelle représente 90 % ou plus de la consommation totale en énergie.

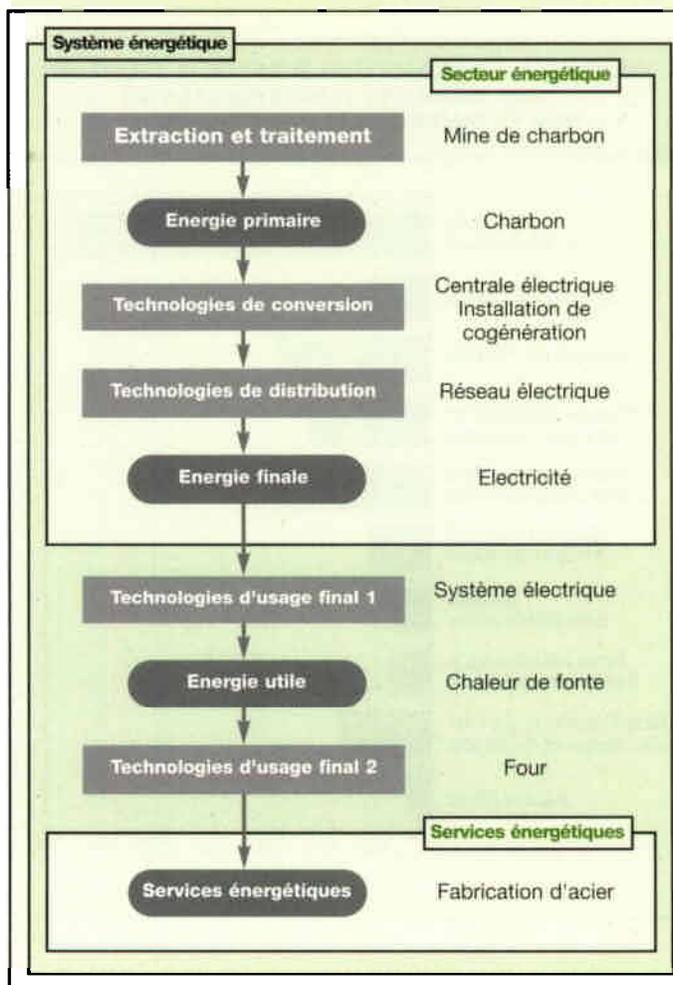
Si le taux de croissance de la consommation mondiale d'énergie primaire se maintenait à environ 2 % par an, cela entraînerait une multiplication par deux de la consommation d'énergie d'ici 2035 par rapport au niveau de 1998, et une multiplication par trois d'ici 2055. Au cours des trente dernières années, l'utilisation d'énergie commerciale par les pays en développement s'est accrue en moyenne à un rythme trois à quatre fois supérieur à celui des pays de l'OCDE. Ce qui s'explique par des changements de mode de vie rendus possibles grâce aux revenus des ménages en hausse, aux taux de croissance démographique plus élevés et enfin, au passage d'une énergie traditionnelle à une énergie commerciale. Cependant, si l'on raisonne par habitant, l'accroissement global de l'utilisation d'énergie primaire n'a pas abouti, de façon significative, à un accès aux services énergétiques plus équitable entre les pays industrialisés et les pays en développement. Il faudra manifestement plus d'énergie pour alimenter la

croissance économique mondiale et pour offrir une chance aux milliards de personnes vivant dans les pays en développement et qui n'ont pas encore accès aux services énergétiques adéquats.

La quantité d'énergie supplémentaire requise pour fournir les services énergétiques à l'avenir dépendra de l'efficacité de la production d'énergie, ainsi que de l'efficacité de sa distribution et de son utilisation. Une amélioration de l'efficacité énergétique pourrait contribuer à la réduction des investissements financiers dans de nouveaux systèmes de fourniture d'énergie, comme cela a été le cas au cours des deux cents dernières années. Le degré d'interdépendance entre activité économique et utilisation d'énergie n'est ni statique ni uniforme dans toutes les régions. L'intensité énergétique, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et le PIB, dépend souvent du stade de développement d'un pays. Dans les pays de l'OCDE, qui jouissent d'importants services énergétiques, l'augmentation de la demande d'énergie est moins étroitement liée à la croissance économique qu'elle ne l'était dans le passé (schéma 3).

L'évolution tendancielle en longue période vers la diminution de l'intensité énergétique lorsque le niveau économique

**SCHEMA 1. EXEMPLE DE LA FILIERE ENERGÉTIQUE DE L'EXTRACTION AUX SERVICES**



\* N.d.t.: exprimée en quantité d'électricité produite, la contribution de l'hydraulique est pratiquement égale à celle du nucléaire.

\*\* N.d.t.: essentiellement de la biomasse (bois, déchets végétaux et animaux)

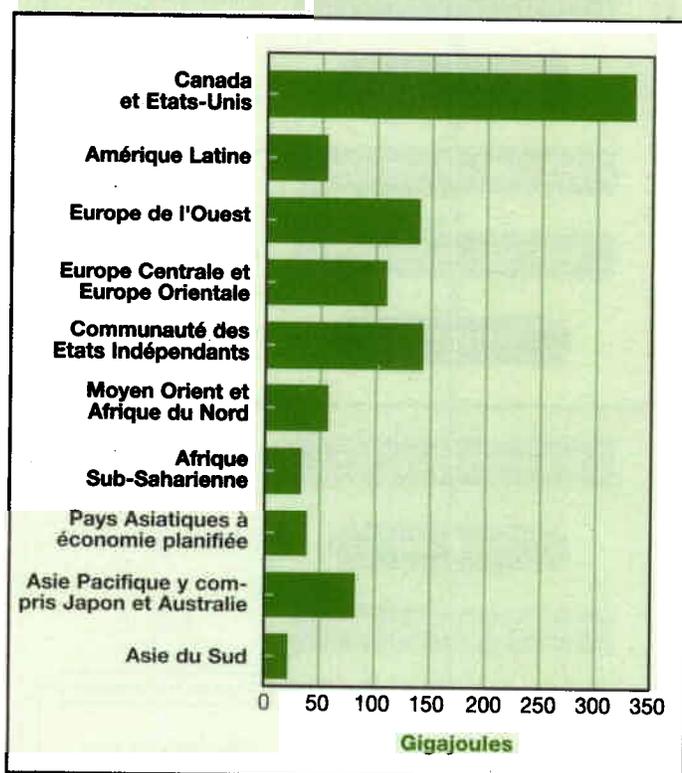
**TABEAU 1 : CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE, 1998**

Source	Énergie primaire (10 <sup>16</sup> joules)	Énergie primaire (10 <sup>9</sup> tep)	Pourcentage par rapport au total	Production sur réserves (années) <sup>a</sup>	Production sur ressources (années) <sup>b</sup>	Production sur ressources en dynamique (années) <sup>c</sup>
<b>Combustibles fossiles</b>	<b>320</b>	<b>7,63</b>	<b>79,6</b>			
Pétrole	142	3,39	35,3	45	~ 200	95
Gaz naturel	85	2,02	21,1	69	~ 400	230
Charbon	93	2,22	23,1	452	~ 1,500	1 000
<b>Renouvelables</b>	<b>56</b>	<b>1,33</b>	<b>13,9</b>			
Hydraulique	9	0,21	2,2		Renouvelable	
Traditionnels	38	0,91	9,5		Renouvelable	
Nouvelles renouvelables <sup>d</sup>	9	0,21	2,2		Renouvelable	
<b>Énergie nucléaire</b>	<b>26</b>	<b>0,62</b>	<b>6,5</b>			
Nucléaire <sup>e</sup>	26	0,62	6,5			
<b>Total</b>	<b>402</b>	<b>9,58</b>	<b>100,0</b>	<b>50<sup>f</sup></b>	<b>&gt;&gt; 300<sup>f</sup></b>	

a. Basée sur une production constante et les réserves connues actuelles. b. Inclut à la fois les réserves et les ressources traditionnelles et non-traditionnelles. c. Les données se réfèrent à l'utilisation énergétique d'un scénario de base "business as usual" : une production qui évolue en fonction de la demande (cf. Chapitre 9). Ainsi, ces ratios sont sujets à des changements en fonction des différents scénarios. d. Incluent la biomasse au sens large, la petite hydraulique, la géothermie, le solaire, et l'énergie des mers (cf. Chapitre 7). La biomasse moderne compte pour environ 6 à 7 exajoules et 1 exajoule provient des autres sources d'énergies renouvelables. e. La production d'électricité nucléaire est convertie en énergie primaire par la méthode de substitution à des centrales au fuel à 33 % de rendement. f. Hors réutilisation dans des surgénérateurs, thorium, et uranium présent en faible concentration dans l'eau de mer. Dans le cas de l'utilisation dans des surgénérateurs, le potentiel est 60 fois plus important.

Source : Chapitre 5

**SCHEMA 2. CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR HABITANT (COMMERCIALE ET NON COMMERCIALE) PAR RÉGION, 1995**



Source : Banque Mondiale, 1997; WRI, 1998.

augmente est montrée par le schéma 4 sur l'exemple des pays industrialisés, de l'Inde et de la Chine. Une analyse détaillée, à long terme, de l'intensité énergétique pour un certain nombre de pays révèle un mode commun d'utilisation de l'énergie caractérisé par les facteurs suivants :

- L'évolution des formes d'énergie non-commerciales vers des formes d'énergie commerciales, l'industrialisation et la motorisation ont initialement accru le rapport énergie commerciale sur PIB. Dans les années 90, ce rapport a diminué dans les pays ayant une économie en transition, en grande partie du fait d'une croissance économique ralentie.
- L'industrialisation progressant et les revenus augmentant, les effets de saturation, ainsi que l'extension du secteur des services (qui implique une consommation d'énergie moindre) diminuent le rapport entre énergie commerciale et PIB, après qu'il ait atteint son maximum. Ce seuil maximum d'intensité énergétique a été dépassé dans de nombreux pays, mais pas dans les pays les moins avancés.
- Conséquences de la diffusion et du transfert de technologie à l'échelle mondiale, des améliorations relatives à l'efficacité énergétique peuvent constituer le principal facteur limitant la croissance de la demande en énergie émanant de populations croissantes et de productions et revenus en augmentation.
- L'utilisation plus efficace des matériaux pour des produits de meilleure qualité, bien conçus et miniaturisés, le recyclage des matériaux à fort contenu énergétique et la saturation des marchés pour les matériaux de base dans les pays industrialisés contribuent à des réductions supplémentaires de l'intensité énergétique.
- Dans les pays en développement, le saut technologique qui con-

A travers le monde,  
deux milliards de personnes n'ont  
pas accès à l'électricité et continuent  
d'utiliser les combustibles  
solides traditionnels  
pour cuisiner.

sistera à utiliser des appareils, des machines, des procédés, des véhicules ou encore des systèmes de transport hautement efficaces, offre un potentiel considérable en vue d'améliorer l'efficacité énergétique.

Ces tendances dominantes conduisent à une convergence du mode d'utilisation de l'énergie par unité de PIB dans les pays industrialisés et dans les pays en développement.

Les prix de l'énergie influencent les choix et les comportements du consommateur et peuvent affecter le développement et la croissance économique. Une énergie chère peut mener à des factures d'importation de plus en plus lourdes, avec des conséquences négatives sur le commerce, l'emploi et la protection sociale. Une énergie chère peut également stimuler la recherche et le développement de ressources supplémentaires, créer un tremplin pour l'innovation et inciter à améliorer l'efficacité.

Bien que certaines conséquences des prix de l'énergie soient relativement constantes, d'autres sont plus éphémères. Par exemple, des niveaux de prix tout à fait différents ont eu peu d'effet sur le développement économique dans les pays de l'OCDE ou au Japon, en comparaison des prix de l'énergie bien moins élevés aux États-Unis et dans certains pays en développement. La fluctuation rapide des prix dans les années 70 a affecté la croissance économique de tous les pays importateurs d'énergie. Il semble en effet que les économies soient plus sensibles aux fluctuations des prix qu'aux prix eux-mêmes.

Les investissements constituent une condition préalable au développement de l'énergie. Le développement des systèmes énergétiques et les changements de leurs structures sont le résultat d'investissements qui ont permis la construction d'usines, l'achat d'équipements et l'établissement d'infrastructures. Les difficultés liées à l'obtention de capitaux pour des investissements en matière d'énergie peuvent entraver le développement économique, surtout dans les pays les moins avancés. Des fonds publics, rares surtout dans les pays en développement, sont nécessaires pour de nombreux projets allant du développement rural à l'éducation, de la santé à la fourniture d'énergie. Parce que la fourniture d'énergie, plus que toute autre alternative, est souvent considérée comme plus à même de générer rapidement des profits, les investissements en matière d'énergie sont de plus en plus traités comme une affaire relevant du secteur privé. Cependant, les fonds privés n'affluent pas dans la majorité des pays en développement pour de nombreuses raisons et notamment en raison des risques qu'ils présentent pour les investisseurs.

L'investissement direct étranger a avoisiné les 400 milliards de dollars en 1997, pour 50 milliards de dollars en 1984, et représente une part croissante des flux financiers internationaux.<sup>7</sup> L'investissement direct étranger est généralement motivé par des considérations commerciales et les investisseurs ne comptent pas seulement récupérer le montant des capitaux investis, mais espèrent également obtenir un bénéfice compétitif avec d'autres types d'investissements. Ces résultats ne peuvent

pas toujours être garantis dans ceux des pays en développement dont les gouvernements sont potentiellement instables ou qui n'ont pas d'économie de marché. En fait, une part infime de l'investissement privé provenant de

l'étranger va dans les pays les moins avancés.

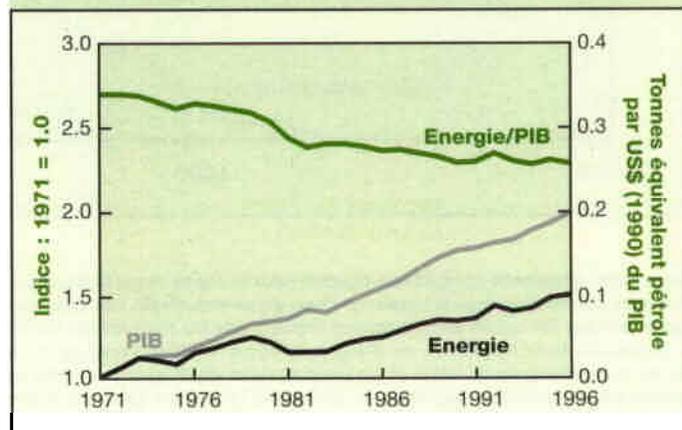
Contrairement à l'investissement direct étranger, l'aide publique au développement (APD) est restée constante par rapport au PIB mondial. En 1997, l'APD a atteint 56 milliards de dollars, soit 0,25 % du PIB des pays de l'OCDE, qui s'étaient mis d'accord pour atteindre en principe 0,7 % du PIB<sup>8</sup>. Dans un tel contexte, il apparaît que les modes de financement des projets liés à l'énergie dans les pays en développement ne sont pas appropriés. Tant que les risques économiques pesant sur les investisseurs étrangers ne seront pas maîtrisés (par exemple par des règles claires et stables en matière d'énergie et de marché financier, de revenus stables par le recouvrement des factures, et enfin par le rapatriement des bénéficiaires), les pays en développement devront probablement continuer à financer leur développement énergétique en puisant dans leurs ressources propres.

Bien que la part d'investissement liée à l'énergie par rapport à l'investissement total varie fortement selon les pays et selon les différents stades de développement économique, en moyenne entre 1 % et 1,5 % du PIB est investi dans le secteur de l'énergie. Ce rapport devrait demeurer relativement stable dans les années à venir. Si l'on se base sur ce ratio, l'investissement actuel pour le secteur de l'énergie varie entre 290 et 430 milliards de dollars par an. Mais ceci ne comprend pas l'investissement en efficacité énergétique.

### Énergie et questions de société

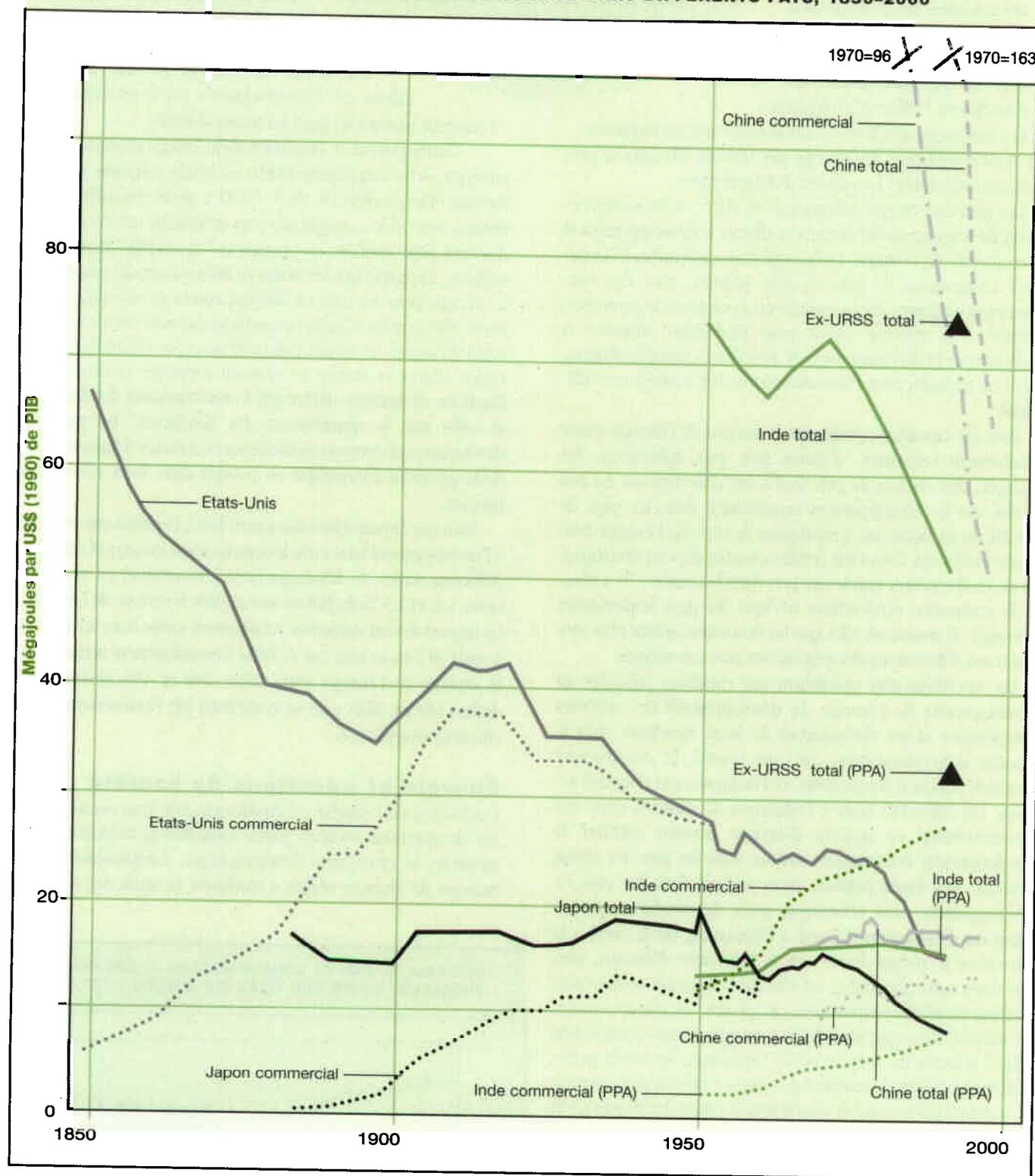
L'utilisation de l'énergie est étroitement liée à un certain nombre de questions sociales, parmi lesquelles la réduction de la pauvreté, la croissance démographique, l'urbanisation et le manque de chances réelles d'améliorer le statut des femmes.

SCHÉMA 3. PIB ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE DANS LES PAYS DE L'OCDE, 1971-96



Source: AIE, 1999.

**SCHEMA 4. INTENSITÉS D'ÉNERGIE PRIMAIRE DANS DIFFÉRENTS PAYS, 1850-2000**



Deux voies d'intensité énergétique figurent pour le Japon et les Etats-Unis, l'une basée sur la consommation énergétique totale, toutes sources confondues, l'autre uniquement basée sur l'énergie commerciale. Les voies convergent lorsque les sources traditionnelles sont remplacées par l'énergie commerciale. En raison de distorsions induites par les fluctuations du marché, les voies d'intensités énergétiques pour la Chine et l'Inde ont été calculées de deux manières : en divisant l'énergie totale et l'énergie commerciale par le PIB, mesuré aux taux des échanges commerciaux sur le marché (comme pour le Japon et les Etats-Unis) et en divisant par le PIB calculé à partir des parités du pouvoir d'achat (PPA). Les intensités énergétiques pour l'ex-URSS, calculées en utilisant à la fois les taux des échanges commerciaux sur le marché et les PPA, ne sont que des repères.

Source: Nakićenović, Grübler, et McDonald, 1998.

Bien que ces questions affectent la demande d'énergie, la relation est à double sens. La qualité et la quantité de services énergétiques et la façon dont ils sont satisfaits ont également un effet sur les questions sociales.

La pauvreté est la question primordiale des pays en développement. Quelques 1,3 milliard de personnes dans les pays en

**TABLEAU 2 : CHOIX ÉNERGÉTIQUES ET QUESTIONS DE SOCIÉTÉ**

Défi social	Liens avec l'énergie et interventions
Réduire la pauvreté dans des pays en développement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Améliorer la santé et accroître la productivité en offrant un accès universel aux services énergétiques adéquats, tout particulièrement pour cuisiner, éclairer, transporter par le biais de vecteurs énergétiques de haute qualité et ayant un coût abordable, sûrs et acceptables du point de vue de l'environnement, et par le biais de dispositifs efficaces pour les usages finaux</li> <li>• Rendre disponible l'énergie commerciale, afin d'accroître les chances d'avoir des activités génératrices de revenus.</li> </ul>
Accroître les chances des femmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encourager l'utilisation de foyers améliorés et de combustibles liquides ou gazeux, afin de réduire la pollution intérieure et d'améliorer le niveau de santé des femmes.</li> <li>• Soutenir l'utilisation d'une énergie commerciale à coût abordable, afin de minimiser le travail physique ardu et long, à la maison comme au travail.</li> <li>• Utiliser les compétences de gestion et d'entreprise des femmes, afin de développer, de gérer et de tirer profit de systèmes énergétiques décentralisés.</li> </ul>
Accélérer la transition démographique pour atteindre un faible taux de mortalité et un taux de fécondité moins élevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire la mortalité infantile par l'introduction de combustibles et d'appareils de cuisine moins polluants et d'un approvisionnement fiable en eau potable.</li> <li>• Utiliser les initiatives en matière d'énergie pour faire évoluer les bénéfices et coûts liés à la fécondité (par exemple, des services adéquats d'énergie peuvent réduire le besoin en travail physique des enfants pour les tâches ménagères).</li> <li>• Influencer des attitudes à propos de la taille des familles et des chances à saisir pour les femmes, à travers des communications rendues accessibles par les vecteurs modernes d'énergie.</li> </ul>
Atténuer les problèmes liés à l'urbanisation rapide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire le facteur incitatif en matière de migration des milieux ruraux vers les milieux urbains, en améliorant l'offre de services énergétiques dans les zones rurales.</li> <li>• Exploiter les avantages offerts par l'habitat à haute densité par le biais de plans d'occupation des sols.</li> <li>• Fournir un accès universel à des services de transport multi-modal à un coût abordable, ainsi qu'au transport public.</li> <li>• Tirer profit des nouvelles technologies afin d'éviter des modes de développement à haute consommation d'énergie et peu sûrs pour l'environnement.</li> </ul>

Source: Adapté du Chapitre 2

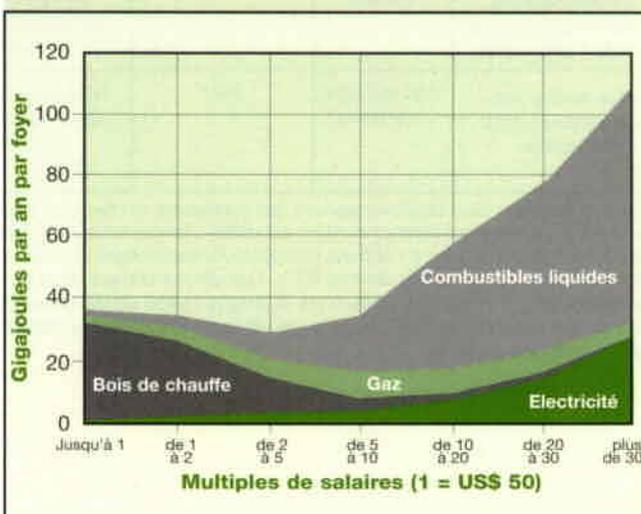
développement vivent avec moins d'un dollar par jour. Cependant, prendre simplement en compte les chiffres relatifs aux revenus ne permet pas de traduire fidèlement la misère et l'absence de choix liée à l'état de pauvreté. Les modes de consommation d'énergie des personnes pauvres, et surtout leur dépendance vis-à-vis des combustibles traditionnels dans les régions rurales, ont tendance à les maintenir dans cet état de pauvreté.

A travers le monde, deux milliards de personnes n'ont pas accès à l'électricité et continuent à utiliser des combustibles solides traditionnels pour cuisiner. Comme nous le verrons dans le prochain paragraphe, cuisiner avec des foyers mal ventilés a des conséquences très graves sur la santé. De plus, des centaines de millions de personnes, pour la plupart des femmes et des enfants, consacrent plusieurs heures par jour aux corvées consistant à trouver difficilement du bois de feu et à transporter de l'eau, souvent sur des distances considérables, pour les besoins domestiques. Ces exigences qui pèsent sur leur temps et leur énergie empêchent souvent les femmes et les enfants de recevoir une instruction et de participer à des activités génératrices de revenus.

La non-disponibilité de l'électricité implique habituellement un éclairage inadéquat, ne permet pas de s'équiper d'appareils réduisant le temps de travail, ni de disposer des services de télécommunications. De même, les possibilités d'activités productives rentables sont limitées. Un meilleur accès à l'électricité et aux combustibles modernes, ainsi qu'aux appareils pour cuisiner peut permettre à ces personnes de bénéficier d'une meilleure qualité de vie à court terme mais aussi à long terme. Le tableau 2 résume quelques-unes des améliorations spécifiques qui pourraient en résulter.

Un revenu limité peut contraindre les foyers à utiliser des combustibles traditionnels et des technologies inefficaces. Le schéma 5 illustre le lien entre la demande moyenne en énergie primaire pour divers combustibles et le niveau de revenus au Brésil. Pour les foyers ayant un faible revenu, le bois de feu est

**SCHÉMA 5. DEMANDE MOYENNE D'ÉNERGIE PAR TRANCHE DE REVENUS AU BRÉSIL, 1988**



Source : De Almeida et de Oliveira, 1995.

**TABLEAU 3 : BOULEVERSEMENTS ENVIRONNEMENTAUX LIÉS À L'ACTIVITÉ HUMAINE, PAR SECTEUR AU MILIEU DES ANNÉES 90**

Bouleversement	Référence naturelle (tonnes/an)	Indice de perturbation liée à l'activité humaine <sup>a</sup>	Part des bouleversements humains causés par :			
			Fourniture d'énergie commerciale	Fourniture d'énergie traditionnelle	Agriculture	Industrie ou autre
Émissions de plomb dans l'atmosphère <sup>b</sup>	12 000	18	41% (utilisation de combustibles fossiles y compris additifs)	Négligeable	Négligeable	59% (métallurgie, industrie, incinération des déchets)
Pétrole déversé dans la mer	200 000	10	44% (production, traitement et transport de pétrole)	Négligeable	<b>Négligeable</b>	56% (rejets des résidus pétroliers, y compris les huiles de vidange)
Émissions de cadmium dans l'atmosphère	1 400	5,4	13% (combustion de combustibles fossiles)	5% (combustion de combustibles traditionnels)	<b>12% (combustion agricole)</b>	70% (métallurgie, industrie, incinération des déchets)
Émissions de soufre dans l'atmosphère	31 millions (soufre)	2,7	85% (combustion de combustibles fossiles)	<b>0.5% (combustion de combustibles traditionnels)</b>	1% (combustion agricole)	13% (fonte, combustion des déchets)
Flux de méthane dans l'atmosphère	160 millions	2,3	18% (production et traitement de combustibles fossiles)	5% (combustion de combustibles traditionnels)	<b>65% (rizière, bétail et défrichage)</b>	12% (enfouissement des déchets)
Fixation d'azote (en tant que oxyde d'azote et ammonium) <sup>c</sup>	140 millions (azote)	1,5	30% (combustion de combustibles fossiles)	2% (combustion de combustibles traditionnels)	<b>67% (engrais, combustion agricole)</b>	1% (incinération des déchets)
Émissions de mercure dans l'atmosphère	2 500	1,4	20% (combustion de combustibles fossiles)	<b>1% (combustion de combustibles traditionnels)</b>	<b>2% (combustion agricole)</b>	77% (métallurgie, industrie, incinération des déchets)
Flux d'oxydes nitreux dans l'atmosphère	33 millions	0,5	12% (combustion de combustibles fossiles)	8% (combustion de combustibles traditionnels)	80% (engrais, bouleversement de la couche aquifère par le défrichage)	Négligeable
Émissions de particules dans l'atmosphère	3 100 millions <sup>d</sup>	0,12	35% (combustion de combustibles fossiles)	10% (combustion de combustibles traditionnels)	40% (combustion agricole)	15% (fonte des métaux, usages non agricoles de terres, déchets)
Émissions d'hydrocarbures non-méthaniques dans l'atmosphère	1 000 millions	0,12	35% (combustion et traitement de combustibles fossiles)	5% (combustion de combustibles traditionnels)	40% (combustion agricole)	20% (défrichage de terres pour la mise en culture, incinération des déchets)
Flux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère	150 milliards (carbone)	0,05 <sup>e</sup>	75% (combustion de combustibles fossiles)	3% (déforestation nette pour l'utilisation de bois de feu)	15% (déforestation nette lors du défrichage)	7% (déforestation nette pour bois de construction, fabrication du ciment)

Note: L'ampleur d'un bouleversement est seulement un facteur déterminant la taille de l'impact environnemental actuel.

a. L'indice de bouleversement humain est défini comme le taux de flux générés par l'être humain par rapport aux flux naturels (flux de base). b. La part des émissions liées à l'activité humaine correspondant aux véhicules dans le milieu des années 90 représente 50 % des émissions globales des véhicules au début des années 90. c. Calculé sur la base de la fixation totale d'azote moins celle d'oxyde nitreux. d. Matière sèche. e. Bien que semblant peu important, en raison de la longue durée de vie atmosphérique du dioxyde de carbone et de ses autres caractéristiques, ce léger déséquilibre dans les flux naturels de dioxyde de carbone provoque une augmentation annuelle de 0,4% par an dans la concentration atmosphérique globale.

Source: Chapitre 3

le combustible le plus important. A des niveaux de revenus plus élevés, le bois est remplacé par des combustibles commerciaux et par l'électricité qui offrent une commodité, une efficacité et une propreté bien supérieures. Parce qu'une énergie pratique et ayant un coût abordable peut contribuer à la productivité et au potentiel de production de revenus d'un ménage, sa disponibilité peut devenir un levier pour réussir à sortir d'un cycle de pauvreté.

Bien que la croissance démographique tende à accroître la demande d'énergie, on comprend généralement moins bien comment la disponibilité de services énergétiques adéquats peut diminuer les taux de natalité. Des services énergétiques appropriés peuvent pourtant déplacer les bénéfices et les coûts relatifs des familles nombreuses vers un nombre plus limité de naissances souhaitées dans une famille. Une accélération de la transition démographique pour atteindre une mortalité et une fécondité peu élevées, telle qu'elle a eu lieu dans les pays industrialisés, dépend d'objectifs de développement cruciaux, notamment de l'amélioration de l'environnement local, de l'éducation des femmes et de la réduction de l'extrême pauvreté qui peut rendre le travail des enfants nécessaire. Ces évolutions sont liées à la disponibilité de services énergétiques à bas prix.

La concentration croissante de population dans les centres urbains est une autre question démographique clef liée à l'énergie. Bien que la tendance générale à l'urbanisation dépende de nombreux facteurs et soit inévitable, fournir plus de choix aux populations rurales, par le biais d'interventions en matière d'énergie, pourrait potentiellement ralentir le taux de migration et réduire la pression qui s'exerce sur les villes dont la croissance est rapide. Bien que l'utilisation de l'énergie s'accompagne souvent d'impacts négatifs qui peuvent être graves, de nombreuses stratégies et technologies permettent d'atténuer ces effets et de promouvoir les économies d'énergie. Prendre l'énergie en considération dès l'établissement des plans d'occupation des sols et dès la conception d'infrastructures, de normes de construction et de systèmes de transports, peut réduire en partie la croissance de la demande en énergie qui accompagne une urbanisation rapide.

Les systèmes de transport peuvent être particulièrement importants à cet égard, si l'on considère la croissance rapide du nombre de véhicules motorisés dans le monde. Depuis les années 1970, le parc mondial s'est accru de 16 millions de véhicules par an et plus d'un milliard de voitures sont susceptibles d'être en circulation en 2020. La majeure partie de ces voitures seront conduites dans des villes de pays en développement où elles créeront plus d'embouteillages, aggraveront la pollution urbaine et affecteront la santé, même avec des pronostics optimistes concernant les améliorations de l'efficacité et la découverte de carburants de substitution.

Dans les pays en développement, tenter de satisfaire les besoins en énergie des populations pauvres, [les plus nombreuses], nécessitera des changements structurels importants. D'un autre côté, dans les pays industrialisés, l'accès à une énergie

ayant un coût abordable ne pose problème qu'à une minorité de la population et cette question trouve des solutions dans une politique sociale appropriée. A travers le monde, cependant, les familles les plus défavorisées consacrent une proportion plus large de leurs revenus à l'énergie que ne le font les populations riches et, par conséquent, sont davantage vulnérables à la croissance rapide du prix de l'énergie. La croissance du prix du pétrole lors de l'hiver 1999-2000 a, par exemple, provoqué des difficultés pour de nombreux foyers à revenus fixes et ce, même dans certains pays industrialisés.

Éradiquer la pauvreté est un objectif à long terme du développement. Mais bien avant que cet objectif soit atteint, des services énergétiques pratiques et d'un coût abordable pourraient nettement améliorer les niveaux de vie et offrir davantage de possibilités de choix aux individus. L'inégalité d'aujourd'hui ne peut pas perdurer. Satisfaire les besoins en énergie des plus pauvres avec les technologies modernes reste le moyen de parvenir à une amélioration des niveaux de vie et de santé et de créer de nouveaux emplois et de nouvelles activités productives. Laisser un tiers de la population mondiale continuer à endurer des conditions de vie aussi difficiles en raison de l'utilisation d'énergie traditionnelle est inacceptable d'un point de vue humain et moral. Rendre l'énergie commerciale plus largement accessible est également sensé d'un point de vue politique. La vague de démocratisation qui balaye le monde met le pouvoir politique entre les mains d'individus privés de leurs droits économiques. Les sociétés qui connaissent de graves inégalités et disparités tendent à être instables et les nombreuses personnes vivant en dessous du seuil de pauvreté constituent un terrain propice aux bouleversements sociaux.

## **Énergie, environnement et santé**

Les conséquences sur l'environnement de l'utilisation d'énergie ne sont pas récentes. Depuis des siècles, brûler le bois a contribué à la déforestation de nombreuses régions. Même aux premiers jours de l'industrialisation, la pollution de l'air ambiant, de l'eau et des terres atteignait des niveaux élevés. C'est la reconnaissance des liens entre l'énergie et les problèmes d'environnement aux niveaux local et global, ainsi que leurs implications, qui est relativement nouvelle. Bien que la capacité de l'énergie à améliorer le bien-être humain soit indéniable, la production et la consommation d'énergie conventionnelle<sup>9</sup> sont étroitement liées à la dégradation de l'environnement. Cette dégradation menace la santé et la qualité de vie à court terme et affectera l'équilibre écologique et la diversité biologique à long terme.

Le lien entre environnement et énergie est illustré dans le tableau 3 qui montre la part d'émissions toxiques et celle d'autres polluants imputables à la fourniture d'énergie. L'indice des bouleversements liés à l'homme équivaut au rapport du flux généré par l'homme d'un polluant donné, tel que le dioxyde de soufre, au flux naturel ou flux de base. Ainsi, pour ce qui est du soufre, l'indice est de 2,7, ce qui veut dire que les 84 millions

De nombreuses  
stratégies énergétiques peuvent  
être profitables à la fois à  
l'environnement, à l'économie  
et à la qualité de vie.

de tonnes par an d'émissions générées par l'homme sont 2,7 fois plus élevées que le flux naturel de base équivalent à 31 millions de tonnes par an. Le tableau montre que, pris avec d'autres activités humaines, les systèmes énergétiques affectent de façon significative le cycle global de certains produits chimiques importants. Bien que cet indice ne prouve pas en soi que ces émissions se traduisent par des effets négatifs, leur ampleur met en garde contre des conséquences qui pourraient être considérables. Nous verrons plus loin que certaines de ces conséquences sont déjà d'une importance significative.

Si l'on ne prend en compte que les cent dernières années au cours desquelles la population mondiale a plus que triplé, les bouleversements<sup>10</sup> de l'environnement dus à l'homme ont évolué : autrefois perturbations locales, elles sont aujourd'hui devenues des ruptures globales. Les bouleversements du 20<sup>ème</sup> siècle dus à l'homme, provoqués par une multiplication par 20 de l'utilisation des combustibles fossiles et accrus par une multiplication par 3 de l'usage de formes d'énergies traditionnelles telles que la biomasse, ont abouti à faire passer la civilisation au rang de force écologique et géochimique mondiale. En d'autres termes, l'accélération des conséquences liées au mode de vie de l'homme est en train de modifier le monde à une échelle globale.

A tous les niveaux, que ce soit local, régional, ou mondial, les conséquences sur l'environnement des modes actuels de production et d'utilisation de l'énergie constituent une part importante des impacts humains sur l'environnement. En ce qui concerne les familles, l'utilisation de combustibles solides pour cuisiner et pour se chauffer a des effets négatifs sur la santé. Une mauvaise qualité de l'air dans les logements, à un niveau local ou à un niveau régional, est la cause d'un accroissement des maladies et des morts prématurées. On estime à environ deux millions le nombre de morts prématurées par an, surtout des femmes et des enfants, qui sont provoquées par une exposition, à l'intérieur des habitations, à la pollution de l'air causée par la combustion des combustibles solides dans des espaces faiblement ventilés. Les particules (qui sont émises directement et formées dans l'air du fait des émissions de précurseurs gazeux sous forme d'oxyde de soufre et d'azote) et les hydrocarbures suscitent des préoccupations croissantes dans le monde entier. Ces émissions sont particulièrement inquiétantes dans de nombreux pays en développement dans lesquels les combustibles les plus polluants prédominent et où il n'y a aucun effort de réduction des émissions. Aucun seuil de sécurité vis-à-vis de ces particules n'a été établi.

L'utilisation de combustibles fossiles pose problème à différents niveaux, bien que le gaz naturel produise, de façon significative, moins d'émissions néfastes que ne le font le pétrole ou le charbon. Les principaux agents polluants émis lors de la combustion des combustibles fossiles sont le soufre et les

oxydes nitreux, le monoxyde de carbone et les particules en suspension. L'ozone se forme dans la troposphère par les interactions entre les hydrocarbures, l'oxyde d'azote et la lumière du soleil. Les émissions liées à l'énergie, qui résultent de la combustion de combustibles fossiles, notamment dans le secteur du transport, contribuent largement à la pollution de l'air en ville. Les polluants à l'origine des dépôts acides dus à la combustion peuvent parfois être projetés à des milliers de kilomètres de leur lieu d'origine et dépassent ainsi souvent les frontières nationales. L'acidification qui en résulte cause un préjudice important aux systèmes naturels, aux cultures, et aux structures mises en place par l'homme. Elle peut, avec le temps, modifier la composition et le fonctionnement d'écosystèmes entiers. Dans de nombreuses régions, l'acidification a diminué la productivité des forêts, des pêcheries et des terres cultivables. Les grands projets d'énergie hydraulique posent souvent problème par rapport à l'environnement du fait des surfaces inondées alors que, dans le cas de l'énergie nucléaire, c'est l'élimination des déchets qui est source de préoccupations majeures.

L'utilisation de combustibles fossiles produit plus de dioxyde de carbone que toute autre activité humaine. Elle constitue la source la plus importante d'émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine, qui change la composition de l'atmosphère et pourrait modifier le système climatique mondial, y compris la quantité et la répartition des pluies. Afin d'atteindre une concentration atmosphérique stable en CO<sub>2</sub>, quel qu'en soit le niveau, il faudrait que les émissions de CO<sub>2</sub> soient progressivement réduites de plus de moitié par rapport aux niveaux actuels. Stabiliser le CO<sub>2</sub> au taux de concentration actuel exigerait une réduction des émissions de moitié par rapport aux niveaux actuels dans les prochaines décennies. Au lieu de cela, les émissions en CO<sub>2</sub> continuent de croître. La tendance actuelle des émissions de CO<sub>2</sub>, si elle n'est pas contrôlée, mènera à multiplier par plus de deux des concentrations atmosphériques avant 2070, par rapport aux niveaux préindustriels. Des changements climatiques ont été observés, qui correspondent aux prévisions scientifiques basées sur l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre. Selon le Groupe international d'experts sur les émissions et sur le climat (GIEC), il existe déjà une influence discernable de l'action de l'homme sur le climat mondial.

Puisque les systèmes énergétiques durables doivent, par définition, préserver à la fois la santé humaine et l'écosystème à long terme, les niveaux d'émissions acceptables doivent être fixés dans une optique de très long terme. Il convient également de tenir compte de la tendance de la société, au fur et à mesure de l'accroissement de sa prospérité économique, à exiger une protection plus importante de la santé et de l'environnement.

Bien que l'étendue des problèmes environnementaux liés à

l'énergie puisse sembler accablante, de nombreuses stratégies "gagnant-gagnant" ("win-win") peuvent s'avérer simultanément profitables pour l'environnement (à plusieurs niveaux), l'économie et le bien-être de l'humanité. Par exemple, le remplacement des combustibles solides pour la cuisine par des combustibles gazeux ou liquides peut entraîner des gains significatifs pour l'environnement aux niveaux local, communautaire, régional et global, avec des bénéfices corrélatifs sur la santé et la productivité.

## Énergie et sécurité

La sécurité énergétique sous-entend une énergie disponible en permanence sous diverses formes, en quantités suffisantes et à des prix abordables. Ces conditions doivent prévaloir à long terme si l'on veut que l'énergie en question contribue au développement durable.

La fiabilité de l'approvisionnement en énergie est un facteur critique, en raison à la fois de la distribution inégale des ressources en énergies fossiles dont la plupart des pays dépendent actuellement, et de la capacité à développer d'autres types de ressources. La fourniture d'énergie pourrait s'avérer plus vulnérable à court terme en raison de la dépendance mondiale croissante à l'égard du pétrole importé. Il est prévu par exemple que la dépendance à l'égard du pétrole (importations nettes par rapport à la demande totale) des pays de l'OCDE passe de 56 % en 1996 à 72 % en 2010.

En outre, bien que l'approvisionnement en énergie ait été satisfaisant au cours des 20 dernières années et se soit en fait amélioré, il ne faut pas négliger l'éventualité de conflits, sabotages, troubles commerciaux et de baisse des réserves stratégiques. Ces menaces potentielles démontrent la nécessité de renforcer la sécurité de l'approvisionnement en énergie aussi bien au niveau mondial qu'au niveau régional ou national. Parmi les options permettant de renforcer la sécurité de l'approvisionnement énergétique figurent les possibilités suivantes :

- Éviter une dépendance excessive à l'égard des importations en améliorant le rendement au stade de l'usage final et en encourageant une meilleure utilisation des ressources locales (en particulier celles dont le développement offrira également des retombées positives telles que la création d'emplois, l'augmentation des compétences et la réduction de la pollution) sous réserve que celles-ci n'impliquent pas des dépenses disproportionnées ni un gaspillage de ressources financières limitées.
- Diversifier les sources d'approvisionnement (à la fois les fournisseurs et les formes d'énergie).
- Favoriser une meilleure stabilité politique par une coopération internationale et des accords à long terme entre pays importateurs d'énergie et entre pays importateurs et pays exportateurs. Ceci pourrait par exemple inclure une adoption plus large, et une mise en œuvre plus efficace, de la

Charte de l'Énergie, ainsi qu'un partage accru des infrastructures destinées à transporter le gaz naturel.

- Encourager les transferts de technologie (par exemple, au moyen de joint-venture et de partenariats dans le secteur public ou le secteur privé) vers les pays en développement afin de développer les ressources locales et d'améliorer l'efficacité énergétique.
- Augmenter les réserves stratégiques nationales et régionales de pétrole brut et de produits pétroliers par une augmentation des investissements et une utilisation des technologies d'exploration de pointe.

Bien que les marchés jouent un rôle prééminent dans l'approvisionnement en énergie des pays de l'OCDE, leur rôle est modeste dans certains pays en développement et inexistant dans d'autres. Lorsque les marchés ne fonctionnent pas, la fiabilité de l'approvisionnement et des services dépend presque uniquement des actions gouvernementales et des sociétés multinationales, qui peuvent ne pas agir dans l'intérêt des consommateurs. Dans de telles situations, la fiabilité de l'approvisionnement en énergie peut être améliorée en encourageant le développement de dispositions qui permettent aux marchés de contribuer à la répartition des ressources énergétiques.

Peu exigeante en combustible, l'énergie nucléaire contribue à la diversité de l'approvisionnement et à la fiabilité de celui-ci. Toutefois, les préoccupations de l'opinion publique en ce qui concerne la nécessité économique, la sécurité des réacteurs, le transport et le stockage des déchets radioactifs, ainsi que la prolifération des armes nucléaires, ont ralenti le développement de l'énergie nucléaire dans de nombreux pays. Un accident nucléaire en quelque point du monde ou un incident de prolifération lié à l'énergie nucléaire pourrait réduire encore le soutien aux programmes d'énergie nucléaire, avec pour conséquence une perte à long terme de l'un des éléments de la diversité des sources d'énergie. Pourtant, si des réponses acceptables par tous pouvaient être apportées aux préoccupations mentionnées ci-dessus, l'énergie nucléaire pourrait contribuer de manière significative à la fiabilité de la production d'électricité dans bien des endroits du monde.

Les individus aussi bien que les sociétés commerciales sont vulnérables aux ruptures d'approvisionnement en énergie. Bien que la tendance vers la libéralisation des marchés de l'énergie ait, de façon générale, amélioré la fiabilité de l'approvisionnement en énergie en offrant une plus grande diversité de choix, de sources et de pratiques concurrentielles, elle a également soulevé des inquiétudes du fait que les plus pauvres sont exclus du processus commercial et se trouvent alors cantonnés dans une insécurité énergétique qui se prolonge.

Des ressources naturelles et des possibilités techniques sont disponibles, ou pourraient le devenir, pour faire face au défi du développement durable. Pourtant, en l'absence de changements de politique, la différence des coûts pourrait favoriser l'utilisation des combustibles traditionnels pendant de longues années encore. Les principales options permettant que l'utilisation de l'énergie favorise le développement durable, ce qui implique de traiter correctement les questions environnementales, sont les suivantes :

- Utilisation plus efficace de l'énergie, en particulier au niveau de l'usage final, dans les bâtiments, les appareils électriques, les véhicules et les procédés de production.
- Augmentation de l'utilisation des sources d'énergies renouvelables.
- Accélération du développement et du déploiement de nouvelles technologies énergétiques, en particulier la prochaine génération de technologies d'utilisation des énergies fossiles avec émissions proches de zéro, mais également les technologies nucléaires si les problèmes liés à l'énergie nucléaire peuvent être résolus.

Ces trois options présentent un potentiel considérable, mais la réalisation de ce potentiel exigera de franchir des obstacles afin de parvenir à une plus large diffusion, de mettre en place sur les marchés des indicateurs correspondant aux coûts environnementaux et de favoriser les innovations technologiques.

### Les ressources énergétiques

L'analyse approfondie de la disponibilité à long terme des ressources énergétiques conventionnelles et non conventionnelles, à commencer par le pétrole et le gaz naturel, indique que ces ressources pourraient durer encore cinquante ou cent ans, et peut-être beaucoup plus, sur la base des méthodes d'exploration et des techniques d'extraction connues, et des progrès techniques attendus en ce qui concerne les opérations en amont. Les ressources en charbon et en matières nucléaires sont si abondantes qu'elles pourraient respectivement durer des siècles et des millénaires. En outre, bien que les prix des énergies fossiles puissent augmenter lentement dans le temps, les augmentations importantes des prix dues à l'augmentation des coûts de production qui étaient prévus dans les années 1970 et 1980 n'interviendront pas dans un futur prévisible.

Toutefois, comme l'ont démontré les augmentations du prix du pétrole au cours de l'hiver 1999/2000, les prix sont fluctuants. Ces augmentations peuvent se produire, par exemple, si des cartels décident de fixer des prix indépendamment des coûts de production. L'on peut également s'attendre à certaines fluctuations des prix, notamment au cours de la période de transition vers une utilisation à grande échelle de ressources non conventionnelles en pétrole et en gaz, en raison d'une absence de synchronisation entre les investissements relatifs aux capacités de production en amont et la demande. D'autres facteurs d'augmentation des coûts pourraient être liés à l'extraction de certaines réserves non conventionnelles de pétrole plus difficile en termes de protection de l'environnement.

Les ressources renouvelables sont réparties de manière plus uniforme que les ressources en énergies fossiles et nucléaires, et les flux d'énergies renouvelables sont de trois ordres de grandeur supérieurs à la consommation mondiale d'énergie actuelle. Mais le potentiel économique des ressources renouvelables est affecté par un grand nombre de contraintes telles que l'utilisation des sols à d'autres fins, la variabilité dans l'espace et dans le temps de l'ensoleillement ou des régimes de vents,

sans oublier les contraintes environnementales.

Bien qu'il n'existe pas réellement de limite à la future disponibilité de l'énergie du point de vue de la ressource, l'existence de cette ressource est de peu d'utilité si l'on ne considère pas la manière dont elle pourra alimenter les services requis en aval. Les questions clés sont alors les suivantes : les technologies nécessaires pour extraire, recueillir et convertir ces vastes réserves et flux d'énergie pourront-elles être développées à temps ? Le développement de ces procédés aura-t-il des conséquences néfastes ? Les services énergétiques finalement générés par ces ressources seront-ils d'un prix abordable ? L'histoire démontre que ces préoccupations peuvent, au moins en partie, être levées par le progrès technologique, mais qu'il est nécessaire de favoriser ce progrès par des réglementations qui améliorent les performances des marchés, des subventions temporaires, des avantages fiscaux ou encore d'autres mécanismes, si l'on veut être prêt à temps.

### Efficacité des usages énergétiques

Un ensemble de facteurs comme la multiplication par quatre des prix du pétrole dans les années 1970, la prise de conscience croissante de la pollution liée à l'énergie, et l'éventualité d'une modification du climat, ont contribué à une réévaluation de la manière dont l'énergie était utilisée. Il en a résulté une amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie et dans la production d'électricité aussi bien qu'au niveau de l'éclairage, des appareils ménagers, des transports, du chauffage et de la climatisation des bâtiments. Cette utilisation plus efficace de l'énergie est un facteur primordial de l'amélioration de l'intensité énergétique, phénomène historique qui s'est produit dans la majeure partie des pays de l'OCDE et, plus récemment, dans un certain nombre de pays à économie en transition, ainsi que dans certains pays en développement qui connaissent une croissance rapide, tels que le Brésil et la Chine.

Au cours des 20 prochaines années, la quantité d'énergie primaire pour un niveau de services énergétiques donné pourrait être réduite de manière rentable, de 25 à 35 % dans les pays industrialisés.

A ce jour, le rendement de la conversion de l'énergie primaire en énergie utile (voir schéma 1) est d'environ un tiers. En d'autres termes, deux tiers de l'énergie primaire disparaissent lors du processus de conversion, la plus grande partie sous forme de chaleur à basse température. D'autres pertes importantes interviennent lorsque l'énergie produite est utilisée. Il existe des possibilités nombreuses, variées et économiquement viables afin d'améliorer l'efficacité énergétique, notamment lors de l'étape finale entre l'énergie utile et le service rendu à l'utilisateur. Tirer avantage de ces possibilités, qui ont relativement peu attiré l'attention, présente le plus grand potentiel pour améliorer l'efficacité d'une manière rentable. Ce qui signifierait des services énergétiques moins chers ainsi qu'une réduction de la pollution et des émissions liées à l'énergie.

Au cours des vingt prochaines années, la quantité d'énergie primaire requise pour un niveau donné de services énergétiques pourrait être réduite de manière rentable de 25 à 35 % dans les pays industrialisés (le chiffre le plus élevé pouvant être atteint avec les politiques les plus efficaces). Ces réductions peuvent se produire essentiellement dans les étapes de transformation de l'énergie en services énergétiques dans les secteurs de l'habitat, de l'industrie, des transports, du secteur public et du commerce. Des réductions de plus de 40 % peuvent être réalisées de manière rentable dans les pays à économie en transition. Et dans la plupart des pays en développement, qui ont tendance à avoir une croissance économique élevée et des parcs anciens de véhicules et d'installations, le potentiel économique d'amélioration de l'efficacité énergétique peut aller de 30 à plus de 45 % par rapport à la situation présente<sup>12</sup>.

Les améliorations d'environ 2 % par an impliquées par les chiffres cités ci-dessus pourraient être renforcées par des changements structurels des économies des pays industrialisés et des pays en transition, en s'orientant vers une production industrielle exigeant moins d'énergie et du fait des phénomènes de saturation dans les secteurs de l'habitat et des transports. Ces effets combinés d'une amélioration du rendement et de changements structurels pourraient conduire à une réduction de l'intensité énergétique de 2,5 % par an. Atteindre ce potentiel dépendra de l'efficacité des instruments et des mesures politiques mis en place, de changements dans les habitudes et les comportements, et du degré d'esprit d'entreprise du secteur de l'efficacité énergétique.

Il est probable que les décennies à venir verront l'apparition de nouveaux procédés, moteurs, matériels, véhicules et constructions conçus pour réduire la demande en énergie finale. Dans la mesure où une croissance rapide de la demande de voitures dans les pays en développement est à prévoir, il est extrêmement important de parvenir à une efficacité plus importante dans ce domaine. En outre, les pays à industrialisation rapide pourraient largement tirer profit de l'introduction de technologies radicalement nouvelles et plus efficaces, applicables à leur production de matériaux de construction très

consommatrice d'énergie. Parce que ces pays sont encore en train de construire leurs infrastructures, ils font face à une demande croissante en matériaux de construction. Ceci représente un vaste champ ouvert aux innovations et aux améliorations de l'efficacité de la production, notamment dans les pays qui mettent en œuvre une réforme des marchés. Ces potentiels sont beaucoup plus grands pour les nouveaux investissements que dans la rénovation de l'existant.

Sur le long terme, des gains supplémentaires et très importants d'efficacité énergétique sont possibles à toutes les étapes de la conversion d'énergie, en particulier lors de la conversion de l'énergie utile en services énergétiques. Des analyses démontrent que les technologies actuelles sont loin d'atteindre les limites théoriques, et que des améliorations d'un ordre de grandeur pour l'ensemble du système énergétique pourraient être réalisées<sup>13</sup>.

Pour un certain nombre de raisons, les potentiels techniques et économiques de l'efficacité énergétique, tout comme leurs effets positifs sur le développement durable, ont été jusqu'ici très insuffisamment exploités. Parvenir à un meilleur rendement pour l'usage final de l'énergie implique la mise en œuvre d'un grand nombre de techniques et l'intervention de nombreux opérateurs. Comme il s'agit d'une activité décentralisée et dispersée, organiser un soutien efficace s'avère difficile. Et parce qu'elle reste peu visible, l'amélioration de l'efficacité énergétique ne constitue pas un thème populaire pour les hommes politiques, les médias, ou les personnes qui recherchent reconnaissance ou remerciements. En outre, d'importants obstacles, en premier lieu les défaillances des marchés, qui pourraient être éliminées par des instruments politiques ciblés, entravent les améliorations de l'efficacité énergétique au niveau de l'usage final. Ces obstacles sont notamment les suivants :

- Un manque d'informations pertinentes, de connaissances techniques et de formation.
  - Des incertitudes sur le rendement des investissements dans les nouvelles technologies d'efficacité énergétique.
  - Une absence de capitaux ou de disponibilités financières.
  - L'impression que les technologies efficaces sont chères et requièrent un premier investissement élevé.
  - Un coût de transaction élevé (pour la recherche, l'évaluation des informations et la formation).
  - L'absence d'incitation à une maintenance soignée.
  - Le différentiel entre les profits réalisés par l'utilisateur et par l'investisseur (par exemple, lorsque les factures d'énergie sont payées par le locataire plutôt que par le propriétaire).
  - Les coûts externes d'utilisation de l'énergie, non inclus dans les prix de l'énergie.
  - Les modes de fonctionnement et les habitudes des consommateurs, des exploitants et des décideurs qui peuvent être influencés par de nombreux facteurs, comme le prestige social et les habitudes professionnelles.
- Réaliser les potentiels d'efficacité énergétique sera non

Les énergies renouvelables permettent de fournir des services énergétiques avec des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre égaux ou proches de zéro.

seulement bénéfique pour le consommateur individuel, mais aussi pour l'économie dans son ensemble. Par exemple, pour un pays, les économies sur la facture énergétique peuvent être utilisées pour produire des biens et services économes en énergie. Au fur et à mesure que des améliorations rentables seront réalisées, d'autres améliorations continueront à se présenter comme résultat de la courbe d'apprentissage de la recherche et du développement, ainsi que des économies d'échelle. Cela signifie que l'on peut s'attendre à des améliorations continues dans le domaine de l'efficacité énergétique.

Les politiques d'efficacité énergétique qui utilisent les mécanismes de prix directs et indirects (tels que la suppression de subventions et l'intégration des externalités) sont efficaces pour modifier à la baisse les tendances de consommation dans les secteurs ou applications sensibles aux fluctuations de prix. Mais, même sans modifier la politique générale des prix, il conviendrait d'appliquer des politiques d'efficacité énergétique pour contrer les défaillances des marchés. Par exemple, les normes de performance, l'étiquetage des produits et des appareils, les accords volontaires, la formation professionnelle ou encore des engagements contractuels peuvent favoriser la croissance du PIB tout en améliorant les performances économiques et environnementales, sans changer la quantité d'énergie consommée. L'imposition de normes, l'information des consommateurs, des planificateurs et des décideurs, la motivation des exploitants et la mise en place d'un système approprié de paiement de l'énergie sont au cœur d'une amélioration réussie de l'efficacité énergétique<sup>14</sup>.

### Technologies des énergies renouvelables

Les sources d'énergies renouvelables (y compris la biomasse, l'énergie solaire, éolienne, géothermique et hydroélectrique) qui proviennent de ressources indigènes peuvent produire une énergie pratiquement sans aucune émission de polluants ni de gaz à effet de serre. Actuellement, les sources d'énergies renouvelables fournissent 16 % de la consommation mondiale d'énergie. Cette production est dominée par l'utilisation traditionnelle de la biomasse pour la cuisine et le chauffage dans les zones rurales des pays en développement. La production de la grande hydraulique fournit 20 % de l'électricité mondiale. Ses possibilités d'expansion sont limitées dans le monde industrialisé où elle a pratiquement atteint les limites de son potentiel économique. Dans les pays en développement, un potentiel considérable existe encore, mais les grands projets hydroélectriques pourraient être confrontés à des difficultés liées au financement, à l'impact environnemental et aux contraintes sociales.

En tout, les nouvelles sources d'énergies renouvelables ont contribué à hauteur de 2 % à la consommation d'énergie mondiale en 1998, dont sept exajoules provenant de la biomasse moderne et deux exajoules pour l'ensemble des autres sources renouve-

lables (énergie provenant de la géothermie, de l'éolien, du solaire, des mers et de la petite hydraulique).

La puissance installée des installations photovoltaïques solaires et des éoliennes connectées aux réseaux de distribution augmente au rythme de 30 % par an. Malgré tout, il se passera probablement encore des dizaines d'années avant que ces énergies renouvelables ne représentent une part importante de la consommation d'énergie totale du fait de la faiblesse de leur contribution actuelle.

Au cours des dernières décennies, des réductions de prix substantielles ont rendu certaines énergies renouvelables compétitives par rapport aux énergies fossiles, dans le cas de certaines applications sur des marchés en expansion. Certaines formes de biomasse, modernes et décentralisées, semblent particulièrement prometteuses en raison de leur capacité à alimenter des zones rurales avec des énergies propres alors qu'elles ont toujours été traditionnellement utilisées de manière inefficace et polluante. La biomasse peut être produite à peu de frais, avec des effets minimes voire positifs sur l'environnement grâce aux cultures pérennes. L'énergie éolienne dans les régions côtières et autres régions ventées est également prometteuse.

A la différence des systèmes hydroélectriques et thermiques conventionnels, les ressources solaires thermiques ou électriques et les éoliennes sont intermittentes. Il peut s'agir néanmoins de sources d'énergie significatives dans les zones rurales où l'extension des réseaux de distribution coûte cher. Elles peuvent également fournir de l'électricité sur le réseau dans des configurations hybrides appropriées. Les sources renouvelables intermittentes peuvent fournir 20 à 30 % de la totalité de la fourniture en électricité de manière fiable si elles sont exploitées conjointement avec une production d'électricité à base hydroélectrique ou thermique. Des techniques émergentes de stockage et de nouvelles stratégies d'exploitation des réseaux de transport de l'électricité laissent entrevoir une place beaucoup plus importante pour ces technologies.

D'importants obstacles, qui pourraient être surmontés par des mesures politiques appropriées, s'opposent à l'accélération du développement des énergies renouvelables. Parmi ces obstacles figurent les risques économiques, les obstacles réglementaires, la disponibilité limitée des équipements, le manque d'information, le fossé technologique et l'absence d'investissements. Le premier défi est d'ordre financier, même si les coûts ont fait l'objet d'une réduction substantielle au cours des dernières décennies. Le tableau 4 résume la situation des diverses énergies renouvelables et fournit également des informations sur les tendances de l'évolution prévisible des coûts et des capacités installées.

En raison de leur petite taille et de leur modularité, bon nombre de technologies concernant les énergies renouvelables sont de bonnes candidates à une réduction continue des coûts, résultat de l'expérience acquise sur le terrain. Les réductions des coûts des produits manufacturés qui sont en général rapi-

des au début, pour s'amenuiser au fur et à mesure que l'industrie parvient à maturité, sont connues sous le nom de "courbes d'apprentissage". Ces courbes ont démontré des réductions de coûts d'environ 20 % dans l'ensemble du secteur industriel chaque fois que la production des systèmes photovoltaïques, des éoliennes et des turbines à gaz doublait, du fait des connaissances acquises, des améliorations techniques annexes et des économies d'échelle (figure 6). Des réductions de coûts similaires sont attendues pour les autres énergies renouvelables utilisées à petite échelle.

L'expansion rapide des systèmes de production d'énergie à partir des sources renouvelables exige la prise de mesures afin de stimuler le marché en ce sens. Cette expansion peut être réalisée en trouvant des moyens de réduire le coût relatif des éner-

gies renouvelables dès les premières étapes de leur développement et de leur commercialisation, tout en tirant avantage de l'efficacité du marché. La fixation des prix des énergies traditionnelles sur la base de la globalité du coût (y compris l'élimination progressive des subventions et l'intégration des externalités) rendra les énergies renouvelables plus compétitives. L'intégration des coûts externes peut faire l'objet de controverses pendant un certain temps, le fait de proposer un prix "vert" aux fournitures d'électricité et de chauffage (laissant au consommateur le choix de payer plus cher une fourniture d'énergie sans danger pour l'environnement) représente une possibilité qui peut être mise en place immédiatement dans les pays industrialisés.

**TABLEAU 4 : SITUATION ACTUELLE ET COÛTS DES TECHNOLOGIES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES**

Technologie	Augmentation de la capacité existante au cours des 5 dernières années (%/an)	Capacité de production, fin 1998	Facteur de capacité (%)	Production d'énergie, 1998	Coûts des investissements "clé en main" (\$/kW)	Coût actuel de l'énergie	Coût futur potentiel de l'énergie
Énergie issue de la biomasse électricité chaleur <sup>a</sup> éthanol	= 3	40 GW (e)	25-80	160 TWh (e)	900-3000	5-15 cents/kWh	4-10 cents/kWh
	= 3	> 200 GW (th)	25-80	> 700 TWh (th)	250-750	1-5 cents/kWh	1-5 cents/kWh
	= 3	18 milliards de litres		420 PJ		8-25 \$/GJ	6-10 \$/GJ
Électricité éolienne	= 30	10 GW (e)	20-30	18 TWh (e)	1100-1700	5-13 cents/kWh	3-10 cents/kWh
Électricité PV solaire	= 30	500 MW (e)	8-20	0,5 TWh (e)	5000-10000	25-125 cents/kWh	5 or 6-25 cents/kWh
Solaire thermique	= 5	400 MW (e)	20 - 35	1 TWh (e)	3000-4000	12-18 cents/kWh	4-10 cents/kWh
Chaleur solaire basse temp.	= 8	18 GW (th) (30 millions de m <sup>2</sup> )	8-20	14 TWh (th)	500-1700	3-20 cents/kWh	2 or 3-10 cents/kWh
Hydro-électricité grande échelle mini, micro	= 2	640 GW (e)	35-60	2510 TWh (e)	1000-3500	2-8 cents/kWh	2-8 cents/kWh
	= 3	23 GW (e)	20-70	90 TWh (e)	1200-3000	4-10 cents/kWh	3-10 cents/kWh
Énergie géothermique électricité chaleur	= 4	8 GW (e)	45-90	46 TWh (e)	800-3000	2-10 cents/kWh	1 or 2-8 cents/kWh
	= 6	11 GW (th)	20-70	40 TWh (th)	200-2000	0,5-5 cents/kWh	0,5-5 cents/kWh
Énergie marine marée vagues courant OTEC	0	300 MW (e)	20-30	0,6 TWh (e)	1700-2500	8-15 cents/kWh	8-15 cents/kWh
	-	Phase exp.	20-35	incertain	1500-3000	8-20 cents/kWh	incertain
	-	Phase exp.	25-35	incertain	2000-3000	8-15 cents/kWh	5-7 cents/kWh
	-	Phase exp.	70-80	incertain	incertain	incertain	incertain

Note: Le coût de l'électricité fournie par le réseau dans les zones urbaines varie de 2-3 cents/kWh (hors pointes) à 15-25 cents/kWh (périodes de pointe). Voir Chapitre 11. (e) : électrique - (th) : thermique

a. chaleur sous forme de vapeur (ou eau chaude dans le cas de chauffage urbain), souvent produite par cogénération en utilisant les résidus forestiers, la liqueur noire ou la bagasse.

Source: Chapitre 7

## Technologies énergétiques de pointe

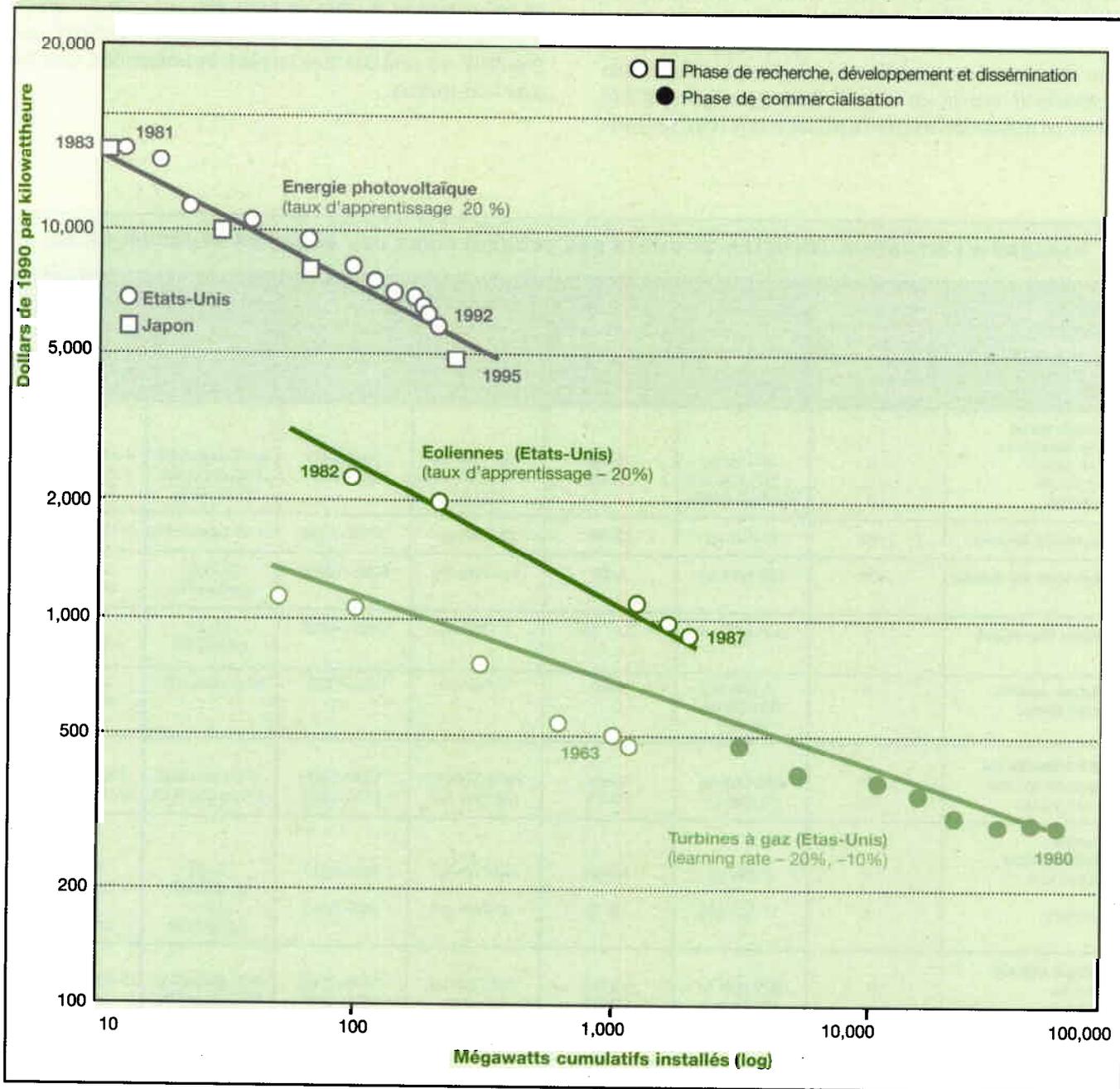
### Énergies fossiles

Les objectifs du développement durable montrent l'importance de faire évoluer les technologies d'utilisation des énergies fossiles vers l'objectif, à long terme, d'une pollution de l'air et d'un

taux d'émission de gaz à effet de serre proches de zéro, sans avoir recours à des techniques complexes de contrôle. Des technologies à court terme et des stratégies devraient soutenir cet objectif de long terme.

La révolution technologique en cours dans le domaine de la production électrique, qui permet de remplacer les turbines à

**SCHEMA 6. COURBES D'APPRENTISSAGE POUR LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES, LES ÉOLIENNES ET LES TURBINES À GAZ AU JAPON ET AUX ETATS-UNIS**



Les performances et les coûts technologiques s'améliorent avec l'expérience et il existe un mode commun à de nombreuses technologies dans le contexte de leur amélioration. La forme spécifique dépend de la technologie en question, mais on nomme la caractéristique persistante des coûts en baisse "courbe d'apprentissage" ou bien "courbe d'expérience". La courbe tend à chuter plus rapidement au moment où les technologies recherchent une première niche sur le marché, puis passent à une commercialisation globale, dans la mesure où des coûts moindres sont devenus la condition essentielle d'un succès plus large.

Source: Nakićenović, Grübler, et McDonald, 1998.

Sans décisions  
dans les prochaines  
décennies, trop d'occasions  
de développement  
seront perdues.

vapeur par des technologies plus avancées, va dans ce sens. Les cycles combinés au gaz naturel, peu coûteux, très rentables, et dont les effets sur l'environnement sont faibles, sont maintenant choisis partout où le gaz naturel est disponible, remplaçant même dans certains pays de grands projets hydroélectriques. La cogénération est encore plus rentable et peut jouer un rôle plus important dans les économies d'énergie, à condition d'utiliser des turbines à gaz et des cycles combinés plutôt que des turbines à vapeur.

Les moteurs à piston classiques (diesel ou autres) et les technologies émergentes relatives aux micro-turbines et aux piles à combustibles sont également des candidats sérieux pour la cogénération à échelle réduite, par exemple pour les immeubles commerciaux et d'habitation. La gazéification du charbon par une oxydation partielle avec de l'oxygène pour produire un gaz de synthèse "syngaz" (essentiellement de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène) permet de produire de l'électricité au moyen d'unités à cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC) dont les émissions polluantes dans l'air sont presque aussi faibles que celles émises par les cycles combinés au gaz naturel. Aujourd'hui, l'électricité produite par les unités de cogénération (IGCC) est compétitive par rapport à l'électricité produite par le cycle vapeur au charbon, que ce soit en configuration de cogénération ou de production d'électricité seule.

Bien que les combustibles liquides de synthèse produits dans les usines mono-produits ne soient pas compétitifs, les combustibles de synthèse ultra-propres dérivés des gaz de synthèse (tels que les distillats moyens de synthèse et le diméthylester) produits dans des usines multi-produits pourraient rapidement le devenir. Le gaz de synthèse peut être produit à partir du gaz naturel par le reforming à la vapeur, par catalyse ou encore à partir du charbon par gazéification à l'oxygène, comme nous l'avons mentionné. L'expansion des marchés des combustibles de synthèse propres peut être déclenchée par un durcissement de la réglementation en matière de pollution de l'air. Les combustibles de synthèse produits par des unités de polygénération seront fabriqués à partir du gaz naturel lorsque celui-ci est disponible. Les distillats moyens de synthèse ainsi produits seront probablement compétitifs lorsque du gaz naturel peu coûteux est disponible (par exemple sur des sites isolés de pays en développement); l'avancée technologique pourrait faciliter l'exploitation de sites de gaz naturel isolés et de taille relativement réduite.

Dans les régions pauvres en gaz naturel et riches en charbon, la polygénération à partir de la gazéification du charbon semble prometteuse. De tels systèmes peuvent inclure la production de gaz de synthèse destinés à être distribués par réseaux à des petits systèmes de cogénération dans des usines et bâtiments, permettant une utilisation propre et rentable du charbon à échelle réduite aussi bien qu'à grande échelle. Une croissance rapide des activités de polygénération est déjà en cours dans plusieurs pays à partir de la gazéification de produits pétroliers de mauvaise qualité ce qui contribue à l'introduction du procédé au charbon.

Les obstacles à un large développement des systèmes avancés de cogénération et de polygénération sont essentiellement de nature institutionnelle. En effet, la plupart de ces systèmes produiront beaucoup plus d'électricité qu'on ne peut en utiliser sur place, si bien qu'il est nécessaire, pour parvenir à des conditions économiques satisfaisantes, de vendre l'électricité à un prix compétitif sur le réseau électrique. La politique des compagnies y fait souvent obstacle, mais dans le cadre du marché concurrentiel vers lequel les systèmes de distribution d'électricité évoluent dans de nombreuses régions du globe, la cogénération et les systèmes de polygénération sont promis à un bel avenir.

La poursuite à moyen terme de la stratégie basée sur le gaz de synthèse "syngaz" pourrait ouvrir la voie à une utilisation à grande échelle de l'hydrogène ( $H_2$ ) comme vecteur d'énergie, parce que le moyen le moins cher de produire de l'hydrogène dans les décennies à venir reste la production à partir de gaz de synthèse dérivé des énergies fossiles. Le succès du développement des piles à combustible faciliterait l'introduction de l'hydrogène comme source d'énergie. Les piles à combustible attirent beaucoup l'attention actuellement, en particulier en ce qui concerne le transport, parce qu'elles offrent un haut rendement et des émissions polluantes quasi nulles. Les constructeurs d'automobiles sont en concurrence pour le développement de véhicules à piles à combustible, la mise sur le marché étant prévue pour les années 2004-2010. La voiture à pile à combustible sera en concurrence, pour le rôle de "voiture du futur" avec la voiture hybride fonctionnant à la fois avec un moteur à combustion interne et des batteries électriques, qui est déjà en cours d'introduction sur le marché.

La production d'électricité à base de gaz de synthèse et les stratégies de production facilitent également la séparation et le stockage du  $CO_2$  des systèmes à base d'énergie fossile, rendant possible la production d'énergie utile avec une émission de gaz à effet de serre quasi nulle sans augmentation importante du coût de l'énergie. Selon les dernières recherches, la capacité mondiale de stockage sûr de  $CO_2$  provenant de l'utilisation des énergies fossiles dans les réservoirs géologiques pourrait être suffisante pendant encore des centaines d'années, bien que de plus amples recherches soient nécessaires pour s'en assurer.

D'autres technologies de pointe (cycles à vapeur "ultrasupercritique", combustion à lit fluidisé sous pression, IGCC du charbon basé sur une oxydation partielle dans l'air pour la production d'électricité, liquéfaction directe du charbon pour la production de combustibles liquides de synthèse) offrent certains bénéfices par rapport aux technologies conventionnelles. Cependant, à la différence des technologies basées sur le gaz de synthèse, la mise en œuvre de telles possibilités à court terme n'ouvrirait pas de voies réelles vers l'objectif à long terme d'émissions quasi nulles sans impliquer une augmentation importante du prix des services énergétiques.

## Énergie nucléaire

Au niveau mondial, l'énergie nucléaire représente 6 % de l'énergie primaire et 18 % de l'électricité. Bien que la production d'électricité nucléaire soit prédominante dans certains pays, elle n'a pas tenu ses promesses du début. La plupart des analystes prévoient que la contribution de l'énergie nucléaire à la production d'énergie mondiale ne progressera pas et pourrait même diminuer au cours des premières décennies du 21<sup>ème</sup> siècle. En effet, l'énergie nucléaire est plus chère que prévu à l'origine, la concurrence des technologies alternatives s'accroît, et elle est affectée par la perte de confiance publique en ce qui concerne la sécurité, la gestion des déchets radioactifs et la prolifération potentielle des armes nucléaires.

Cependant, l'énergie nucléaire ne produisant pas d'émissions de polluants atmosphériques ni de gaz à effet de serre, il convient de rechercher si des technologies plus avancées pourraient offrir simultanément un abaissement des coûts, une amélioration de la confiance publique dans la sûreté des réacteurs nucléaires, une certitude que les usages civils de l'énergie nucléaire ne soient pas utilisables à des fins militaires, ainsi qu'une démonstration de pratiques fiables en matière de gestion des déchets nucléaires. A la différence des réacteurs du type Tchernobyl, les réacteurs à eau ordinaire (LWRs), qui sont les plus utilisés dans le monde, ont de bons antécédents de sécurité bien qu'on ne soit parvenu à ce résultat qu'à grands frais.

Les liens potentiels entre les usages civils et militaires de l'énergie nucléaire ont été reconnus dès le début de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Les efforts réalisés pour mettre en place une politique de non prolifération au travers du Traité de Non Prolifération Nucléaire et une série de traités régionaux, par le contrôle effectué sur le commerce des matières nucléaires et des produits et services liés au nucléaire pouvant être utilisés à des fins militaires, et l'application de mesures de sauvegarde appliquées aux matières nucléaires dans le cadre de leurs applications civiles ont en grande partie réussi à rendre bien distincts les usages civils et militaires de l'énergie nucléaire. Si l'énergie nucléaire doit, à l'avenir, représenter une part plus importante dans la production mondiale d'énergie, des mesures institutionnelles plus strictes seront nécessaires afin de préserver cette séparation. Il serait souhaitable que ces mesures soient complétées par des avancées technologiques visant à limiter, dans un avenir proche, les possibilités d'acquisition d'armes nucléaires dissimulées sous forme d'applications civiles et de vol des matières nucléaires permettant de fabriquer de telles armes.

Les activités de développement des réacteurs pour le futur proche ont impliqué à la fois le développement de LWRs évolués et des concepts nouveaux. Les vendeurs de réacteurs proposent à présent plusieurs types de LWRs évolués comportant des dispositifs de sécurité améliorés dans une conception standard. On peut être pratiquement sûr des performances et des coûts de ces modèles. Une autre possibilité d'évolution consiste à modifier les LWRs pour diminuer le risque de prolifération en utilisant un cycle à base d'uranium dénature ou de thorium. L'une des conceptions faisant l'objet d'un nouvel examen, le

réacteur modulaire à boulets, présente un niveau élevé de sécurité intrinsèque sans avoir besoin de recourir à des mécanismes de sécurité complexes et chers. Le réacteur modulaire à boulets pourrait également utiliser un cycle à base d'uranium dénature ou de thorium qui n'est pas proliférant.

La question de la disponibilité en uranium bon marché pourrait restreindre le développement de l'énergie nucléaire à partir des LWRs. Le réacteur surrégénérateur au plutonium exige le retraitement du combustible irradié afin de le recycler en un nouveau combustible. Il a été autrefois considéré comme une option viable pour surmonter cette contrainte. Mais le coût de l'électricité produite par ces réacteurs serait probablement plus élevé que celui des LWRs, au moins jusqu'à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. De plus, il est bien plus difficile d'éviter la prolifération avec le retraitement et le recyclage du plutonium qu'avec les LWRs exploités selon un cycle unique du combustible.

Il existe d'autres options à long terme pour résoudre la question de la disponibilité du combustible, telles que de nouvelles conceptions de surrégénérateurs y compris les réacteurs commandés par un accélérateur de particules, l'uranium extrait de l'eau de mer, et la fusion thermonucléaire. Il est difficile de prévoir les coûts de ces nouvelles conceptions, leurs conditions de sûreté et leur résistance face aux risques de prolifération; de plus, leur développement prendrait des dizaines d'années. Les recherches récentes suggèrent qu'il pourrait être envisageable, à des coûts relativement bas, d'extraire de l'uranium de l'eau de mer, où il se trouve en faible concentration mais en vastes quantités. Si la technologie pouvait être mise au point à une échelle significative, il pourrait être envisageable d'éviter le retraitement du combustible et le recyclage du plutonium. La fusion thermonucléaire contrôlée pourrait fournir une énergie quasiment inépuisable, mais elle ne pourra probablement pas être mise sur le marché avant 2050.

Les déchets radioactifs de l'énergie nucléaire doivent être isolés de manière à ne jamais se retrouver dans l'environnement à des concentrations susceptibles de constituer un danger. Bien que la sécurité du stockage à long terme des déchets n'ait pas été prouvée, la communauté scientifique est sûre que cet objectif peut être atteint en particulier en raison du faible volume de déchets concernés. Cependant, il n'existe dans la plupart des pays aucun consensus social sur les objectifs et les normes concernant le stockage des déchets radioactifs, ni sur les mesures (à la fois temporaires et à long terme) nécessaires pour les mettre en œuvre. Les questions soulevées ne sont qu'en partie techniques. L'impasse actuelle dans laquelle se trouve la société en ce qui concerne le stockage des déchets n'a pas pour unique effet d'assombrir les perspectives d'expansion du nucléaire, elle a également eu pour conséquence de faire de facto du retraitement du combustible, une politique temporaire de la gestion des déchets nucléaires dans certains pays. Toutefois, le retraitement du combustible n'offre aucun gain sur le plan économique et ne résout pas le problème du stockage des déchets. En effet, ce procédé permet uniquement de gagner du temps et est en train de générer de vastes stocks de plutonium qu'il est nécessaire de stocker dans des conditions qui minimisent le risque de prolifération.

## PARTIE 3. DES AVENIRS DURABLES SONT-ILS POSSIBLES ?

Une analyse effectuée sur la base de divers scénarios énergétiques indique qu'il est possible de faire face simultanément aux objectifs de développement durable exposés dans la Partie 1 en utilisant les ressources et les options techniques décrites dans la Partie 2. L'exercice sur les scénarios et les parties suivantes suggèrent que :

- Poursuivre sur la voie actuelle du développement des systèmes énergétiques ne permettra probablement pas de parvenir à un développement durable.
- Mettre en œuvre un développement durable impliquera de s'appuyer bien davantage sur une combinaison d'éléments : meilleure efficacité énergétique, utilisation d'énergies renouvelables et développement de technologies énergétiques de pointe.
- L'une des conditions préalables pour atteindre un futur énergétique compatible avec les objectifs de développement durable est de trouver le moyen d'accélérer le progrès des nouvelles technologies dans la chaîne de l'innovation en matière d'énergie, allant de la recherche et du développement à la démonstration, à la mise en œuvre et à la diffusion.
- La fourniture de services énergétiques aux zones rurales pose des problèmes particuliers. Elle offre toutefois également une opportunité considérable d'améliorer les conditions de vie de milliards de personnes dans un délai relativement bref. Des solutions décentralisées, la mise au point de technologies adéquates, une organisation innovatrice en matière de financement, et une implication locale au niveau de la prise de décision, font partie des approches les plus prometteuses.

### Scénarios énergétiques

Les scénarios énergétiques fournissent un cadre pour explorer les perspectives énergétiques futures, en mettant en œuvre diverses combinaisons d'options technologiques et leurs conséquences. Une grande partie des scénarios publiés illustrent la manière dont les évolutions des systèmes énergétiques affecteront les questions générales analysées en Partie 1. Certains décrivent un avenir énergétique compatible avec les objectifs du développement durable. Dans ces scénarios, les évolutions clés sont l'augmentation de l'efficacité énergétique et l'adoption de technologies de pointe en matière de fourniture d'énergie. Les scénarios de développement durable sont caractérisés par de faibles effets sur l'environnement (local, régional ou mondial) et une répartition équitable des ressources et des richesses.

Les trois options d'évolution à l'échelle mondiale présentées au chapitre 9 explorent comment l'avenir pourrait se dérouler en termes de croissance économique, de tendances démographiques et d'utilisation de l'énergie. Le défi est énorme. Par exemple, vers 2100, six à huit milliards d'individus supplémentaires, soit nettement plus que la population mondiale actuelle, devront pouvoir accéder à des services énergétiques fiables, souples, pratiques et à prix raisonnable<sup>15</sup>. Ces trois options parviennent à cet objectif par le développement de systèmes énergétiques différents, mais à des degrés divers de réussite en termes de développement durable.

L'option (B), dite intermédiaire ou de référence, comprend un seul scénario fondé sur une persistance des pratiques actuelles. Ce scénario se fonde sur la poursuite d'un taux de croissance économique modéré et de modestes progrès technologiques. Il conduit à des effets néfastes sur l'environnement, allant de l'acidification de certaines zones à une modification du climat. Bien que ce scénario intermédiaire représente une amélioration significative par rapport à la situation actuelle, il ne permet pas de réussir une transition vers un développement durable. Les deux autres options et leurs scénarios mènent à un

développement économique plus soutenu assorti d'avancées importantes dans les technologies énergétiques. Toutes deux, et en particulier l'option (C) guidée par des considérations écologiques, parviennent à un bien meilleur niveau de transition vers un développement durable (tableau 5).

Par exemple, l'un des trois scénarios de l'option A basée sur une croissance rapide, le scénario (A3), remplit certains des objectifs du développement durable, essentiellement au moyen d'une croissance économique rapide et d'un basculement sur des technologies énergétiques moins néfastes pour l'environnement. Dans ce scénario, des développements technologiques impressionnants, dans lesquels les énergies fossiles "propres", les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire jouent un rôle important, ont pour résultat un accroissement significatif de la richesse. Le fait de décarboniser systématiquement le système contribue à la durabilité environnementale. Deux autres scénarios de l'option fondée sur une croissance rapide sont également considérés. Tous deux conduisent à une plus grande dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles riches en carbone et à des émissions très élevées. En conséquence, ces variantes ne sont pas durables d'un point de vue environnemental.

La troisième option (C) comprend deux scénarios; elle est orientée par des considérations écologiques et fondée sur une croissance rapide dans les pays en développement (vers la richesse et les préoccupations "vertes"). La différence entre les deux scénarios est que le scénario C1 repose sur une élimination progressive, au niveau mondial, de l'énergie nucléaire d'ici 2100, alors que le scénario C2 ne tient pas compte de ce facteur. Tous deux prennent en considération l'introduction de taxes sur le carbone et l'énergie visant à promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables et à améliorer l'efficacité énergétique au niveau de l'usage final. Les revenus provenant des taxes sur le carbone et l'énergie sont destinés à être utilisés pour améliorer la croissance économique et promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables et l'efficacité de la

**TABLEAU 5 : RÉSUMÉ DES 3 SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT ÉNERGÉTIQUE EN 2050 ET 2100 PAR RAPPORT À 1990**

		Cas A : Croissance élevée	Cas B : Croissance intermédiaire	Cas C : Considérations écologiques
Population (milliards)	1990	5,3	5,3	5,3
	2050	10,1	10,1	10,1
	2100	11,7	11,7	11,7
Produit mondial brut (10 <sup>2</sup> US\$ (1990))	1990	20	20	20
	2050	100	75	75
	2100	300	200	220
Produit brut mondial (pourcentage de variation annuelle)	1990-2050	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>
	1990-2100	2,7	2,2	2,2
		2,5	2,1	2,2
Intensité énergétique primaire (10 <sup>6</sup> joules par US\$ (1990) de produit mondial brut)	1990	19,0	19,0	19,0
	2050	10,4	11,2	8,0
	2100	6,1	7,3	4,0
Taux de croissance de l'intensité énergétique primaire (pourcentage de variation annuelle)	1990-2050	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>	<b>Elevée</b>
	1990-2100	-0,9	-0,8	-1,4
		-1,0	-0,8	-1,4
Consommation d'énergie primaire (10 <sup>18</sup> joules)	1990	379	379	379
	2050	1041	837	601
	2100	1859	1464	880
Consommation d'énergie primaire cumulée, 1990-2100 (10 <sup>21</sup> joules)	Charbon	8,9 - 30,7	17,5	7,1 - 7,2
	Pétrole	27,6 - 15,7	15,3	10,9
	Gaz naturel	18,4 - 28,7	15,8	12,2 - 12,9
	Énergie nucléaire	6,2 - 11,2	10,5	2,1 - 6,2
	Hydroélectricité	3,7 - 4,2	3,6	3,6 - 4,0
	Biomasse	7,4 - 14,3	8,3	9,1 - 10,1
	Énergie solaire	1,8 - 7,7	1,9	6,3 - 7,4
	Autres	3,0 - 4,7	4,3	1,4 - 2,2
	Total global	94,0 - 94,9	77,2	56,9
Réduction des coûts de la technologie énergétique (par l'apprentissage)	Fossiles	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>
	Non-fossiles	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Elevée</b>
Niveaux de diffusion technologique	Fossiles	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>
	Non-fossiles	<b>Elevée</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Elevée</b>
Taxes environnementales (hors taxation sur le dioxyde de carbone)		<b>Non</b>	<b>Non</b>	<b>Oui</b>
Émissions de dioxyde de soufre (millions de tonnes de soufre)	1990	58,6	58,6	58,6
	2050	44,8 - 64,2	54,9	22,1
	2100	9,3 - 55,4	58,3	7,1
Limitations et taxes sur les émissions de dioxyde de carbone		<b>Non</b>	<b>Non</b>	<b>Oui</b>
Émissions nettes de dioxyde de carbone (10 <sup>9</sup> tonnes de carbone)	1990	6	6	6
	2050	9 - 15	10	5
	2100	6 - 20	11	2
Cumul des émissions de dioxyde de carbone (10 <sup>9</sup> tonnes de carbone)	1990-2100	910 - 1450	1000	540
Concentrations de dioxyde de carbone (parts par million en volume)	1990	358	358	358
	2050	460 - 510	470	430
	2100	530 - 730	590	430
Intensité carbone (grammes de carbone par US\$ (1990) de produit mondial brut)	1990	280	280	280
	2050	90 - 140	130	70
	2100	20 - 60	60	10
Investissements dans le secteur de la fourniture énergétique (10 <sup>12</sup> US\$ (1990))	de 1990 à 2020	15,7	12,4	9,4
	de 2020 à 2050	24,7	22,3	14,1
	de 2050 à 2100	93,7	82,3	43,3
Nombre de scénarios		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Ces trois cas se divisent en six scénarios de systèmes énergétiques possibles : trois scénarios pour le cas A (A1, large utilisation du pétrole et du gaz ; A2, retour au charbon ; et A3, utilisation future d'énergies non fossiles), un unique scénario dans le cas B (cas intermédiaire), et deux scénarios dans le cas C (C1, énergies renouvelables ; et C2, énergies renouvelables et nouvelles formes d'énergie nucléaire). Certaines caractéristiques utilisées dans les scénarios, telles que la consommation cumulée d'énergie, les émissions cumulées de dioxyde de carbone et la décarbonisation sont présentées sous forme de variations pour les trois scénarios du cas A et les deux scénarios du cas C.

Source: Nakićenović, Grübler, and McDonald, 1998.

Une stratégie efficace pour  
satisfaire les besoins énergétiques  
des populations rurales  
consiste à promouvoir leur  
progression sur "l'échelle  
de l'énergie".

consommation d'énergie, plutôt qu'à réduire d'autres impôts dans les zones industrialisées.

Les deux scénarios de l'option C supposent une décentralisation des systèmes énergétiques et un recours à des solutions locales.

Ils impliquent également des investissements plus faibles que les autres scénarios dans le secteur de l'offre énergétique. Ils exigeraient cependant des investissements sérieux au niveau de l'usage final, ce qui n'est pas reflété dans les scénarios. Des mesures politiques ambitieuses contrôlant les émissions de polluants aux niveaux local et régional, et des mesures prises sur le plan mondial permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Dans le scénario C1, ceci est obtenu par une contribution réduite du charbon et du pétrole au bilan des énergies primaires, accompagnée d'un accroissement important de la part de l'énergie solaire et de la biomasse vers 2100 (figure 7). Sur les trois options considérées, l'option C est la plus compatible avec les objectifs d'un développement durable analysés dans la Partie 1 (tableau 6).

Les différences considérables mises en évidence par les divers scénarios quant à la consommation énergétique totale reflètent diverses approches pour satisfaire les besoins de services énergétiques dans l'avenir, et démontrent clairement que la politique a un rôle important à jouer (figure 8). La réalisation des deux scénarios qui présentent les caractéristiques du développement durable exige un accroissement considérable de la recherche et du développement dans les secteurs public et privé, et des efforts de déploiement des nouvelles technologies énergétiques. Si tel n'était pas le cas, la plupart des technologies "propres" relatives aux énergies fossiles, ainsi que celles relatives aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique dans les usages finaux, ne pourraient pas être compétitives. La répartition des efforts nécessaires peut être

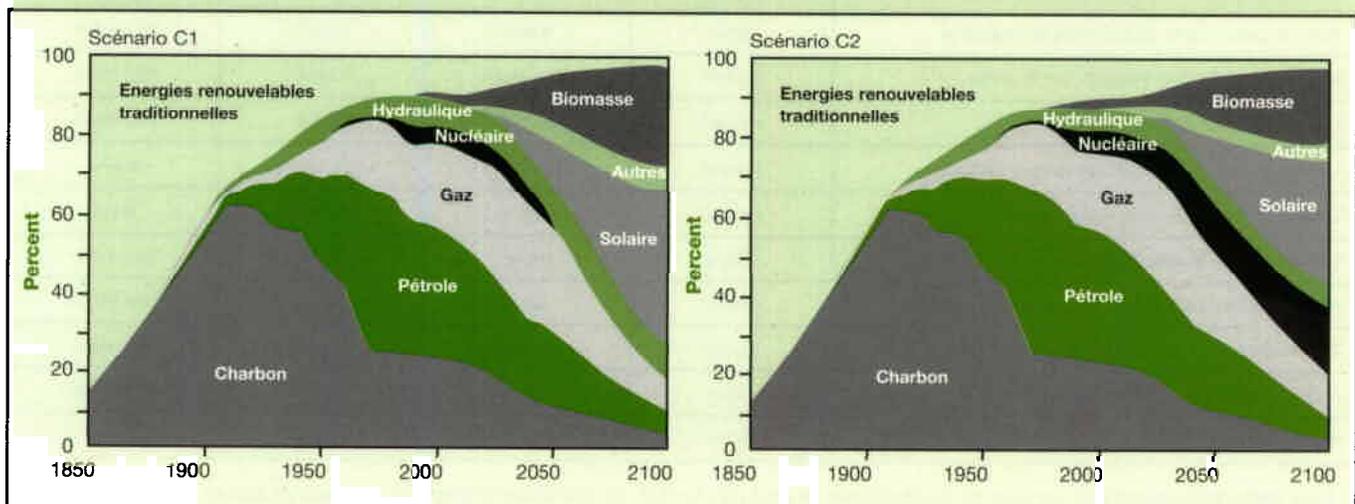
variable en fonction de la maturité de chaque technologie. Des percées technologiques seront nécessaires, tout autant que des améliorations progressives des technologies énergétiques conventionnelles.

Compte tenu du taux de croissance élevé de la demande énergétique dans les pays en développement, ceux-ci sont bien placés pour bénéficier des innovations et des politiques qui les soutiennent. De manière générale, chacun des scénarios A3, C1 et C2 exige des modifications considérables de politique et de comportement au cours des prochaines décennies, pour atteindre un mode de développement plus durable. Les conséquences de ces changements, qui sont décrites de manière plus détaillée dans la Partie 4, représentent toutes ensemble un démarrage très net par rapport aux pratiques actuelles de "laisser faire" ("business as usual").

Il existe une autre condition préalable pour réaliser le développement durable dans tous les scénarios : assurer un accès quasi universel à des services énergétiques abordables ainsi qu'une répartition équitable des ressources disponibles. Enfin, la protection de l'environnement, de la pollution dans les habitations jusqu'aux changements climatiques, est l'un des facteurs essentiels du développement durable pris en considération. On dispose d'une "fenêtre décisionnelle" entre aujourd'hui et 2020. La nature des décisions prises pendant cette période déterminera en grande partie si l'évolution à venir du système énergétique reste conforme aux pratiques actuelles (selon les grandes lignes du scénario B) ou si elle parvient à réaliser une transition vers des voies de développement durable (selon les grandes lignes des scénarios A3, C1 et C2).

En raison de la longévité des centrales électriques, des raffineries, des aciéries, des bâtiments et autres grands investissements qui jouent sur la demande d'énergie, tels que

SCHÉMA 7. PARTS DES ÉNERGIES PRIMAIRES DE 1850 À 1990, ET DANS LE SCÉNARIO C1 POUR 2100



Source: Nakićenović, Grübler, et McDonald, 1998.

les infrastructures du secteur des transports, le taux de renouvellement de ces installations n'est pas suffisant pour faire apparaître des différences entre les scénarios exposés ici avant 2020. C'est pourtant maintenant que se construit le monde après 2020. Les choix dont nous disposons pour les systèmes énergétiques futurs sont maintenant ouverts. Cette ouverture est spécialement importante là où l'essentiel de l'infrastructure reste à installer car il est alors possible d'y introduire rapidement des technologies nouvelles respectueuses de l'environnement. Lorsque les infrastructures sont déjà en place, on se trouve dans une situation de renouvellement de ces infrastructures. Des changements peuvent être effectués au cours de cette phase, mais une période beaucoup plus longue est nécessaire avant qu'ils n'affectent les performances moyennes du système. Si de sages décisions ne sont pas prises au cours des prochaines décennies, nous nous trouverons enfermés dans ces choix et certaines possibilités de développement pourront ne plus être réalisables. S'engager sur la voie du développement durable exige une mise en perspective globale et une vision à très long terme.

### L'énergie en zone rurale dans les pays en développement

Entre 1970 et 1990, les programmes d'électrification des zones rurales ont atteint environ 800 millions d'individus supplémentaires. Environ 500 millions de ces personnes ont vu leurs conditions de vie progresser considérablement :

amélioration des modes de cuisson et d'autres besoins ruraux, notamment en Chine. En dépit de ces efforts énormes destinés à améliorer la fourniture énergétique aux populations rurales au cours des vingt ou trente dernières années, le volume de la population qui n'a pas accès à l'électricité est resté pratiquement stable en chiffres absolus, soit environ deux milliards d'individus.

Bien que l'absence de disponibilité de services énergétiques adéquats dans les zones rurales représente probablement le problème le plus grave auquel l'humanité soit confrontée, l'énergie rurale se trouve très loin sur la liste des priorités de la plupart des gouvernements et des planificateurs du secteur privé. En outre, la croissance de la demande des populations urbaines, dont l'influence est bien plus sensible (et qui augmente rapidement) continuera à rendre plus difficile la mise à l'ordre du jour du développement des zones rurales.

Il existe une stratégie efficace pour résoudre les besoins énergétiques des populations rurales : promouvoir la progression sur "l'échelle de l'énergie". Ceci implique de passer de l'utilisation des combustibles élémentaires de la biomasse (fumier, résidus des récoltes, bois de feu) à des formes d'énergie plus pratiques et plus efficaces pour les travaux à accomplir, en principe des combustibles liquides ou gazeux pour la cuisson et le chauffage, et l'électricité pour les autres utilisations. Cette progression implique non seulement un basculement vers des combustibles modernes mais doit être accompagnée par l'utilisation d'appareils plus modernes et plus

**TABLEAU 6 : CARACTÉRISTIQUES DE DURABILITÉ DANS 3 SCÉNARIOS DE DÉVELOPPEMENT ÉNERGÉTIQUE EN 2050 ET EN 2100, PAR RAPPORT À 1990**

Indicateurs de durabilité	1990	Scénario A3	Scénario B	Scénario C1
Éradication de la pauvreté	faible	très élevé	moyen	très élevé
Réduction des écarts de revenus relatifs	faible	élevé	moyen	très élevé
Fourniture universelle d'accès à l'énergie	faible	très élevé	élevé	très élevé
Augmentation de la disponibilité énergétique	faible	élevé	moyen	très élevé
Réduction des effets négatifs sur la santé	moyen	très élevé	élevé	très élevé
Réduction de la pollution de l'air	moyen	très élevé	élevé	très élevé
Limitation des radionucléides longue période	moyen	très faible	très faible	élevé
Limitation des matériaux toxiques <sup>a</sup>	moyen	élevé	faible	élevé
Limitation des émissions de gaz à effet de serre	faible	élevé	faible	très élevé
Augmentation de l'utilisation des énergies locales	moyen	élevé	faible	très élevé
Amélioration de l'efficacité énergétique (offre)	moyen	très élevé	élevé	très élevé
Augmentation de l'efficacité énergétique (demande)	faible	élevé	moyen	très élevé
Accélération de la diffusion des technologies avancées	faible	très élevé	moyen	moyen

a. Pour cette ligne seulement, les indicateurs qualitatifs ne sont pas fondés sur des caractéristiques quantitatives de ces scénarios, mais ont été spécifiés par les auteurs sur la base d'hypothèses supplémentaires.

La voie actuelle du développement énergétique n'est pas compatible avec les objectifs du développement durable.

efficaces tels que les foyers améliorés.

La progression sur l'échelle de l'énergie ne signifie évidemment pas qu'il soit nécessaire de passer par toutes les étapes franchies ailleurs dans le passé. Dans le cas de la cuisson, par exemple, il n'est pas nécessaire que les utilisateurs passent du bois de feu au kérosène, puis du kérosène au gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou à l'électricité. Il convient, dans la mesure du possible, de passer directement du bois de feu aux technologies d'usage final les plus efficaces et aux formes d'énergies les moins polluantes (y compris les énergies renouvelables) qui sont disponibles. En raison de l'émergence de nouvelles technologies, il est également possible de créer de nouveaux échelons sur l'échelle de l'énergie, et de bénéficier d'une efficacité et d'une protection de l'environnement encore meilleures.

Les objectifs du développement durable dans le domaine de l'énergie pour les zones rurales sont les suivants :

- Satisfaire les besoins humains de base en fournissant à *tous les foyers* une quantité minimum d'électricité pour les usages tels que l'éclairage et les ventilateurs, ainsi que des combustibles plus propres pour la cuisson des aliments. En particulier, tous les foyers devraient avoir accès à des formes modernes d'énergie provenant de sources renouvelables ou de combustibles fossiles afin de ne plus avoir à utiliser de combustibles solides bruts.
- Fournir de l'électricité à prix suffisamment abordable pour permettre le développement d'activités manufacturières dans les zones rurales, ce qui créera en échange des emplois et pourra aider à réduire l'émigration vers les zones urbaines.

Dans bien des cas, les populations pauvres des zones rurales sont prêtes à payer la fourniture d'énergie et sont en mesure de le faire si on leur propose des conditions de paiement appropriées. Les facteurs économiques relatifs à la fourniture d'une quantité de base d'électricité aux foyers situés en zone rurale doivent être évalués en fonction des coûts impliqués par une fourniture comparable de services énergétiques par des vecteurs moins efficaces. Dans la plupart des cas, les systèmes solaires photovoltaïques individuels peuvent fournir de l'énergie à moindre coût que celui du pétrole et des seules batteries qu'ils remplacent et peuvent représenter une source d'électricité économiquement viable pour les foyers situés en zone rurale, surtout pour des niveaux de services relativement limités.

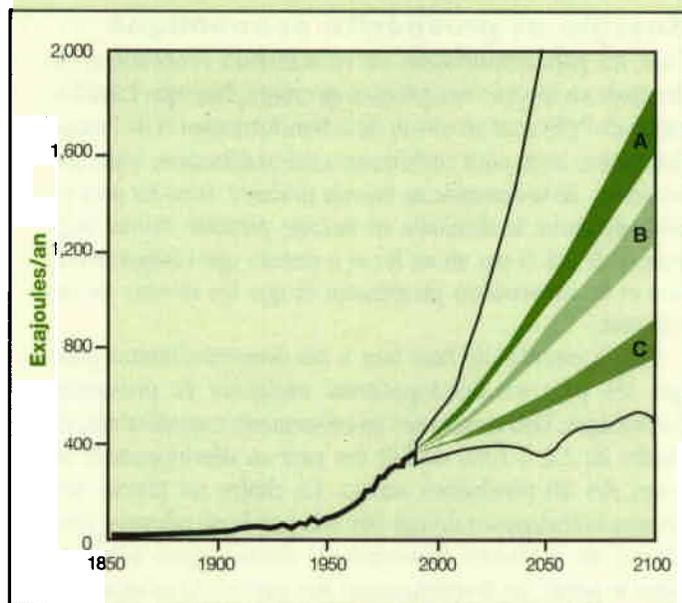
L'accès à des services énergétiques abordables dans les zones rurales pourrait contribuer à apporter une amélioration significative des conditions de vie et la satisfaction des besoins humains de base à relativement court terme. La quantité d'énergie nécessaire pour assurer de tels services est relativement faible, et le coût total est mineur comparé à celui des grandes centrales hydroélectriques, thermiques ou nucléaires. Les méthodes modernes permettant une utilisation plus rentable de la biomasse pourraient représenter un pas de géant dans cette direction. L'expérience démontre que la participation active des utilisateurs est obligatoire pour trouver des solutions

viables et appropriées pour l'énergie dans les zones rurales.

Le défi réside dans la découverte de méthodes qui permettraient de disposer de vecteurs modernes d'énergie à un coût abordable pour satisfaire les besoins de base

de tous les habitants des zones rurales ce qui peut, au moins au départ, nécessiter des subventions. La clef réside dans l'introduction de facteurs d'efficacité commerciale dans la mesure du possible, afin de réduire le montant des subventions nécessaires pour atteindre les objectifs sociaux fixés. Si une subvention est nécessaire, elle pourrait être conçue comme partie intégrante d'un nouveau contrat social, au titre duquel les fournisseurs d'énergie alimentent les zones rurales tandis que, simultanément, des conditions hautement concurrentielles sont créées (un élément clef des réformes dans le domaine de l'énergie). L'une des manières de financer les subventions qui pourraient s'avérer nécessaire serait de compléter la création de marchés concurrentiels par l'établissement d'un fonds public alimenté par des contributions obligatoires sur les câbles et les canalisations, réglées par les fournisseurs d'électricité et de gaz. De tels fonds ont été créés ou sont à l'étude dans plusieurs pays afin de protéger l'intérêt public dans un marché concurrentiel. Il est également possible d'opter pour des incitations économiques soigneusement calculées, en utilisant peut-être les régimes fiscaux.

SCHÉMA 8. BESOINS MONDIAUX EN ÉNERGIE PRIMAIRE, 1850 - 1990, ET DANS LES TROIS SCÉNARIOS 1990 - 2100



Le schéma fait également apparaître le large éventail des besoins énergétiques futurs en ce qui concerne les autres scénarios décrits dans les publications. La ligne verticale qui couvre le scénario en 1990 souligne l'incertitude, dont font état les publications, en ce qui concerne les besoins énergétiques annuels.

Source: Nakićenović, Grübler et McDonald, 1998; Morita et Lee, 1998; Nakićenović, Victor et Morita, 1998.

De manière plus précise, une partie de ces revenus pourrait être utilisée pour subventionner les foyers les plus démunis jusqu'à ce qu'ils puissent sortir de la pauvreté. Cette stratégie pourrait être parfaitement cohérente avec l'orientation d'un recours plus important au marché pour une meilleure réallocation des ressources. Si, par exemple, l'attribution d'une concession d'énergie rurale était l'approche choisie pour fournir des services énergétiques modernes à un prix déterminé pour

une zone particulière, et si la concession était attribuée en respectant les règles de la concurrence, les forces des marchés seraient amenées à jouer un rôle pour trouver la moins coûteuse des technologies énergétiques, avec le montant le moins élevé possible de subventions, pour satisfaire aux obligations du concessionnaire de fournir à tous des services énergétiques modernes.

## **PARTIE 4. ET MAINTENANT, OÙ ALLONS-NOUS ?**

**La Partie 4 identifie les stratégies et politiques qui sont essentielles pour assurer simultanément la croissance économique et le développement durable. Elles comprennent :**

- **L'établissement d'un cadre approprié (comprenant notamment une réforme du marché, des mesures réglementaires cohérentes et des politiques ciblées) afin d'encourager la compétition sur les marchés de l'énergie, de réduire le coût total des services énergétiques au profit des usagers finaux et de préserver les intérêts publics essentiels.**
- **L'envoi de signaux précis en matière de prix de l'énergie, ceci comprenant l'élimination progressive des subventions aux énergies conventionnelles et l'intégration d'un certain nombre d'externalités.**
- **L'élimination des blocages ou la mise en place des incitations nécessaires, pour encourager une plus grande efficacité énergétique ainsi que le développement sur des marchés plus larges des nouvelles technologies énergétiques durables.**

**Le défi de l'énergie durable nécessitera les efforts conjoints des organisations internationales, des gouvernements, de la communauté énergétique, de la société civile, du secteur privé et des individus. Quelles que soient les difficultés soulevées par la prise de mesures adéquates, elles seront minimales par rapport à l'enjeu. Il est nécessaire d'agir maintenant car l'humanité est dans une période dynamique et critique de transition pour l'économie, la technologie, la démographie et les structures, et parce que les systèmes énergétiques demandent des décennies pour pouvoir changer.**

### **Énergie et prospérité économique**

Dans les pays industrialisés ou en transition économique, la demande en services énergétiques va croître, bien que l'amélioration de l'efficacité au niveau de la transformation et de l'usage final puisse avoir pour conséquence une stabilisation, voire une réduction, de la demande en énergie primaire. Dans les pays en développement, la demande en énergie primaire devrait augmenter de 2,5 % par an au fur et à mesure que l'industrialisation et la motorisation progressent et que les niveaux de vie s'élèvent.

Il sera essentiel de faire face à ces demandes futures pour que les pays en développement atteignent la prospérité économique. Cela exigera des investissements considérables, de l'ordre de 2,0 à 2,5% du PIB des pays en développement au cours des 20 prochaines années. Ce chiffre est proche des niveaux historiques et devrait être à la portée de ces pays, sous réserve de politiques financières et économiques adaptées. Dans le passé, les investissements des pays en développement dans le domaine de l'énergie ont largement et inutilement reposé sur les subventions d'État et trop peu sur les ressources financières qui seraient générées par une fixation des prix réaliste basée sur les coûts réels des mesures réglementaires et une gestion efficace.

De manière générale, il n'y a aucune raison pour que le

secteur de l'énergie ne soit pas financièrement indépendant, dans le sens suivant : une fixation des prix et une politique de régulation adéquates généreraient des revenus permettant de couvrir les frais d'exploitation et de procurer des retours sur investissement suffisants pour attirer des investissements privés à grande échelle. En effet, l'un des premiers buts de la libéralisation du marché et des nouvelles formes de régulation introduites dans de nombreux pays dans les années 90 était précisément celui d'une réduction du besoin de subventions d'État et de l'attraction de capitaux et investissements privés vers le secteur énergétique. Les autres objectifs étaient d'encourager l'innovation, la rentabilité et l'efficacité dans la gestion.

Temporairement, des subventions publiques peuvent toutefois être nécessaires pour aider ceux qui sont exclus du marché du fait de leur extrême pauvreté. De la même manière que les zones pauvres des pays industrialisés ont bénéficié, dans le passé, de politiques énergétiques hors marché, les mêmes options doivent rester disponibles, lorsqu'elles se justifient, dans les pays en développement. En outre, les populations pauvres doivent être protégées contre les difficultés économiques provoquées par les fluctuations du marché, indépendantes de leur volonté. Dans certains pays en développement, par exemple, les augmentations du prix du pétrole des années 70 et du début des années 80 ont contribué, pour une large part, à l'augmentation

## L'innovation technologique dans les pays en développement pourrait être profitable sur un plan économique, environnemental et humain.

de la dette extérieure, jusqu'à 50 % dans certains cas<sup>16</sup>. Les conséquences de cet endettement, appauvrissement du pays et hausse du chômage, ont été particulièrement dures pour les populations pauvres, même si le combustible le plus utilisé était et reste pour eux le bois de feu plutôt que le pétrole. Le poids de l'endettement des années 70 continue de peser sur bien des pays en développement.

Bien qu'il ne semble pas exister de limites physiques aux ressources énergétiques globales, des problèmes potentiellement graves sont susceptibles d'apparaître si des politiques économiques, technologiques et environnementales appropriées ne sont pas élaborées à temps. Une fixation rationnelle du prix de l'énergie fait partie de ces mesures, mais il faut également inciter les marchés à trouver des solutions technologiques aux problèmes avant qu'ils ne deviennent lourds de conséquences pour la société et pour l'environnement. Il sera nécessaire de mettre en place des politiques éclairées en matière de recherche, développement et démonstration pour trouver les moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie et de résoudre les autres problèmes environnementaux à l'échelle mondiale tout en accroissant l'offre énergétique. Tout dépendra donc des politiques énergétiques et environnementales qui seront mises en place, et de leur relation avec les tendances à la mondialisation et à la libéralisation (voir ci-dessous).

Grâce aux avancées technologiques et à une meilleure information sur les impacts, les pays en développement seront en mesure de traiter les problèmes environnementaux locaux et régionaux dès le début du 21<sup>ème</sup> siècle et ce, dans une phase de leur développement plus précoce que celle des pays aujourd'hui industrialisés. En se préoccupant des conséquences négatives de la production et de l'utilisation d'énergie plus tôt, les pays en développement pourraient améliorer et non détériorer leur situation économique globale et les perspectives offertes à leur population. La question de la modification du climat au niveau mondial pourrait toutefois s'avérer plus difficile à concilier avec des taux de croissance économique élevés.

Dans l'ensemble, l'analyse faite dans ce rapport suggère qu'il n'existe pas de limites technologiques, économiques ou financières fondamentales qui empêcheraient le monde de profiter des services énergétiques tout en bénéficiant d'un environnement plus sain. Ceci ne signifie pas que l'on doit attendre que cette situation favorable se réalise, mais seulement qu'il est possible d'y parvenir. Comme le démontrent les scénarios présentés ci-dessus, un avenir durable dépend de la mise en œuvre de mesures politiques ambitieuses et d'un soutien de l'innovation technologique.

Dans le cadre de l'analyse des politiques appropriées, il est important de garder à l'esprit les caractéristiques clés de l'environnement politique et économique dans lequel les nouveaux systèmes énergétiques vont être amenés à se développer :

■ La structure générale des politiques macroéconomiques et de développement, en particulier celles relatives à l'éducation et à la croissance entendue de façon large. Au-

dessous d'un certain revenu par habitant, les besoins de subsistance autres que l'énergie accaparent la plus grande partie du budget et des priorités du foyer. La croissance des revenus au sein de groupes qui n'ont pas accès à l'énergie est le facteur déterminant primordial pour savoir s'ils seront prêts à payer la fourniture d'énergie (et créer ainsi la demande requise pour que le marché fonctionne efficacement). Ce qui, à son tour, est fonction de politiques qui ne sont pas de la responsabilité des industries énergétiques.

■ La libéralisation générale des marchés de l'énergie et la restructuration du secteur énergétique. Ces changements sont provoqués par des monopoles inefficaces, des contraintes budgétaires de l'État et l'expansion des possibilités technologiques, en particulier pour la production d'électricité. L'expérience a prouvé que la libéralisation et la restructuration peuvent abaisser les coûts et en même temps générer les fonds nécessaires au développement de l'offre (tant que cela reste profitable). Cependant, dans les marchés énergétiques restructurés, les subventions croisées ne seront plus disponibles pour étendre l'accès à des zones qui n'attirent pas les investisseurs, à moins que la restructuration ne soit accompagnée de mesures politiques spécifiquement orientées à cet effet.

■ La mondialisation et les transformations de l'ère de l'information. La mondialisation, expansion à l'échelle mondiale de grandes sociétés et acquisition de compagnies locales ou conclusion de partenariats, est liée à la libéralisation des marchés. L'acquisition de biens et de services auprès de fournisseurs étrangers et lointains est devenue une pratique courante. Les nouvelles technologies se répandent également plus rapidement que jamais auparavant, du fait de l'accès universel à Internet et aux autres technologies de l'information. Cette expansion peut accélérer la prise de conscience des options existantes en matière de développement durable de l'énergie et le déploiement de nouvelles technologies.

### Politiques énergétiques pour le développement durable

L'exercice des scénarios a montré que, bien que l'énergie puisse contribuer au développement durable, ses performances à cet égard dépendront de divers facteurs. Ceux-ci comprennent les attitudes et comportements, les informations et les technologies, la disponibilité de moyens financiers et d'organismes de soutien et, plus particulièrement, des politiques et mesures structurelles qui inciteront au changement dans la direction souhaitée. La voie actuelle du développement énergétique comme l'allure du changement, ne sont pas compatibles avec les facteurs clés permettant un développement durable. La divergence entre les avènements envisageables, qui apparaît dans les scénarios au bout d'environ vingt ans, démontre à quel point le système énergétique doit être prévu à long terme. Elle indique également que

si les gouvernements, les sociétés et les organisations internationales ne mettent pas en place les mesures et politiques appropriées maintenant, les marges d'action fondamentales qui existent aujourd'hui risquent de disparaître. Il deviendra alors encore plus difficile de changer de cap.

Parmi les questions critiques que les stratégies énergétiques durables et les politiques qui en découlent doivent résoudre, se trouve le moyen d'élargir l'accès à une énergie moderne à un prix abordable et fiable et de diminuer les conséquences négatives de l'utilisation de l'énergie sur la santé et l'environnement.

Avec un encadrement, de bons signaux sur les prix et des mécanismes de régulation appropriés, les marchés peuvent permettre de contribuer aux objectifs économiques du développement durable avec efficacité. On ne peut toutefois s'attendre à ce que les marchés satisfassent à eux seuls les besoins des groupes de population les plus vulnérables et préservent l'environnement. Lorsqu'ils sont en défaut sur ces points ou d'autres intérêts publics, les États devront mettre en œuvre des politiques ciblées et suivre une approche cohérente dans le domaine de la réglementation. Le problème réside dans le fait que les mesures prises au niveau de l'État sont, de manière générale, moins efficaces que les approches par le marché. Les interventions étatiques peuvent avoir des conséquences imprévues, à l'opposé de leurs objectifs initiaux. Pour cette raison, il est nécessaire de tenter différentes approches, et de tirer un enseignement de l'expérience acquise dans d'autres pays.

Les politiques et les cadres réglementaires en faveur du développement durable doivent être ciblés en priorité sur l'élargissement de l'accès aux services énergétiques, l'encouragement de l'efficacité énergétique, l'accélération de l'utilisation des énergies renouvelables et l'expansion de l'utilisation de technologies de pointe dans le domaine des énergies fossiles propres, sans pour autant fermer la porte à l'énergie nucléaire. Ces domaines de réglementation, de même que les décisions liées à ceux-ci dans le domaine des transports privés ou publics et de l'urbanisme, sont de la plus extrême pertinence en ce qui concerne les problèmes d'environnement et de sécurité associés aux combustibles conventionnels.

Dans leurs grandes lignes, les stratégies visant à encourager les systèmes énergétiques durables sont simples. Parvenir à les mettre en œuvre exigera cependant une large reconnaissance des défis auxquels nous sommes confrontés et un engagement plus vigoureux en ce qui concerne l'application de politiques précises. L'objectif des stratégies à déployer consiste essentiellement à mettre l'efficacité du marché au service de la réalisation d'un développement durable et à prendre les mesures complémentaires nécessaires pour accélérer l'innovation, franchir les obstacles, éviter les imperfections du marché et protéger l'essentiel de l'intérêt public. De toutes les stratégies possibles, six ressortent particulièrement :

### **Améliorer le fonctionnement des marchés**

Emportés par la dynamique de la concurrence, les marchés fonctionnent mieux que les systèmes administrés en ce qui concerne l'allocation des ressources.

Pourtant, le marché est incapable de prendre en compte de manière adéquate les coûts sociaux et environnementaux de la fourniture et de l'utilisation de l'énergie. Des mesures tendent à réduire les distorsions du marché qui, rendant ainsi le jeu égal pour tous, accorderaient à l'énergie durable (énergies renouvelables, mesures d'efficacité énergétique, nouvelles technologies à émissions quasi nulles) une bien meilleure situation sur le marché par rapport aux usages et pratiques actuels. Les distorsions du marché peuvent être réduites par l'élimination progressive des subventions permanentes affectées aux énergies conventionnelles (estimées à 250-300 milliards de \$ par an au milieu des années 90) et par l'incorporation des coûts sociaux et environnementaux dans les prix. Plusieurs pays ont expérimenté la création de taxes sur l'énergie et pour la protection de l'environnement afin de résoudre ce problème. Dans bien des cas, il sera nécessaire de créer des incitations pour induire ou accélérer le changement. L'octroi d'une subvention ciblée, limitée dans le temps par une clause d'extinction ("sunset clause"), représente l'une des options possibles. Lorsque les marchés de l'énergie ne peuvent fonctionner de manière efficace en raison de l'extrême pauvreté des usagers, des ressources supplémentaires comprenant une assistance officielle au développement seront nécessaires.

Une autre manière d'améliorer le fonctionnement des marchés tiendrait à trouver des méthodes permettant de vaincre les obstacles à l'efficacité énergétique dans l'utilisation finale de l'énergie. Même en l'absence de subventions, les barrières existant au sein des marchés, telles que le manque de connaissances technologiques, les divergences d'intérêts entre les investisseurs et les utilisateurs et le coût élevé des opérations des investisseurs privés, empêchent les mesures favorisant l'efficacité énergétique d'atteindre leur rendement potentiel. Les solutions permettant de franchir ces obstacles comprennent l'imposition volontaire ou obligatoire de normes (réellement respectées) en ce qui concerne les appareils, les véhicules et les bâtiments, de programmes d'étiquetage destinés à une meilleure information des consommateurs, des politiques d'achat permettant d'atteindre des standards plus élevés et de réaliser des économies d'échelle. Ces solutions visent également la formation technique aux nouvelles technologies d'efficacité énergétique et à leur maintenance et des mécanismes de crédit permettant d'aider les consommateurs à faire face à des coûts d'achat plus élevés.

### **Compléter la restructuration du secteur énergétique par des réglementations en faveur des énergies durables**

La réorganisation en cours à travers le monde du secteur de l'énergie (essentiellement conduite par la mondialisation croissante de l'économie) doit conduire à des marchés

énergétiques économiquement plus efficaces. Cette réorganisation représente une ouverture dont il faut profiter pour s'assurer que l'intérêt public requis pour le développement durable est correctement pris en compte dans les politiques qui émergent pour la réforme des marchés de l'énergie. Ce processus pourrait être amplifié si les gouvernements fixaient des objectifs définissant les caractéristiques de performance qui permettraient de qualifier "les technologies énergétiques durables" (par exemple, en stipulant des limites d'émissions de polluants de l'air ou des normes de performance à respecter par les usines, les machines et les véhicules).

Ces objectifs destinés aux fournisseurs pourraient être complétés par des mécanismes favorisant les technologies dans les choix opérés par les marchés. D'autres approches réglementaires peuvent être utilisées à l'appui du développement des énergies durables, parmi lesquelles l'obligation d'utiliser une certaine proportion d'énergie provenant de sources renouvelables, d'ouvrir les réseaux de distribution aux producteurs privés d'électricité, et de faire en sorte que les populations rurales soient desservies. De telles réglementations sont fondées sur la reconnaissance du fait que la réorganisation des marchés de l'énergie ne peut, en elle-même, conduire au développement durable.

### **Mobiliser des investissements supplémentaires pour les énergies durables**

La concurrence au sein des marchés s'accroît dans de nombreux pays. Pour cette raison, la réussite des politiques énergétiques durables dépendra de leur capacité à mobiliser les opérateurs privés et à catalyser les investissements privés sur une grande échelle, que ce soit à propos de financements, d'incitations, de taxes ou de réglementation. Pourtant, pour des raisons politiques ou institutionnelles, un grand nombre des pays en transition ou en développement, qui ont le plus grand besoin d'investissements, connaissent des difficultés pour attirer les sociétés privées et avoir accès aux marchés financiers. Il pourrait être nécessaire de mettre en place une législation commerciale et juridique fiable, ainsi que des incitations, pour encourager les sociétés privées à investir dans le développement d'énergies durables, ou pour compenser les risques liés à de tels investissements.

Il est également possible que les sources internationales de financement aient un rôle plus important dans les pays les moins avancés, en particulier dans les pays où rien ne favorise le développement "spontané" du commerce. La stabilité politique, le respect d'un état de droit, l'absence d'interventions arbitraires et l'existence d'institutions qui facilitent les placements financiers et les investissements sont en général des facteurs importants pour promouvoir l'investissement. Des facilités de crédit et une organisation financière favorable (y compris l'organisation de systèmes de micro-crédits tels que ceux existants à présent) seront nécessaires pour apporter une énergie commerciale à des populations exclues des marchés, en particulier dans les zones rurales.

### **Encourager l'innovation technologique**

Les technologies appliquées actuellement ne sont ni adéquates, ni assez rentables pour fournir l'énergie qui sera nécessaire au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, tout en préservant la santé humaine et la stabilité de l'environnement. Le soutien d'un éventail de technologies de pointe et de nouvelles technologies prometteuses constitue l'une des manières de s'assurer que des choix seront possibles au fur et à mesure que l'on en aura un besoin plus pressant. Les innovations énergétiques sont confrontées à des obstacles tout au long de la chaîne de l'innovation (depuis la recherche et le développement jusqu'aux projets de démonstration, à la réduction des coûts et à la diffusion générale). Certains de ces obstacles reflètent les imperfections des marchés ou certaines inadéquations du secteur public, et certains reflètent des différences de points de vue en ce qui concerne les besoins, les priorités des entreprises, les perceptions diverses de l'urgence, et le caractère acceptable des coûts.

Le soutien public, qui est nécessaire pour franchir ces obstacles, sera variable d'une technologie à l'autre, selon son degré de maturité et son potentiel commercial. Il est possible par exemple qu'il soit nécessaire d'accorder une priorité plus élevée aux obstacles à la diffusion d'une technologie qu'aux obstacles à l'innovation. Il est également probable qu'un soutien direct de la part des gouvernements sera plus nécessaire pour les technologies radicalement nouvelles que pour des avancées techniques progressives, le secteur privé fonctionnant généralement assez bien à cet égard. Pour soutenir les innovations techniques, tout en utilisant les pratiques de la concurrence pour abaisser les coûts, les choix possibles incluent les incitations fiscales, la recherche et le développement en "joint-venture", les politiques d'achat gouvernementales ou en coopération, les programmes d'étiquetage "vert" et les initiatives de transformation des marchés.

### **Soutenir le leadership technologique et le développement des compétences dans les pays en développement**

L'essentiel de la croissance prévue de la demande énergétique doit intervenir dans les pays en développement; l'innovation et le leadership dans le domaine des technologies énergétiques pourraient s'avérer hautement profitables pour ces pays, en termes d'économie, d'environnement, et de progrès humain. Les pays en développement (et en transition) ont besoin de développer davantage leurs ressources, humaines, naturelles et technologiques, afin de créer les systèmes énergétiques qui soient appropriés à leur situation. Mais ils ont également besoin d'assistance au moyen de transferts de technologie, de financement et de développement des compétences.

Le déclin de l'aide publique au développement par rapport aux investissements en capital suggère qu'une grande partie de cette assistance devra être apportée sous l'égide du secteur privé ou par des partenariats public-privé. La coopération industrielle internationale permet au secteur privé de gagner des marchés tout en favorisant la migration de nouvelles technologies vers les pays en développement. Les organismes

publics, les instituts de recherche privés et les instituts régionaux qui fournissent une formation à la gestion de la technologie représentent des occasions supplémentaires de faire progresser le partage de la technologie et le développement des compétences.

### **Encourager une coopération plus étroite au niveau international**

Le processus de mondialisation signifie que les idées, les capitaux et l'énergie passent d'un pays à l'autre. La combinaison d'efforts de plusieurs pays pour l'achat de technologies relatives aux énergies renouvelables pourrait, par exemple, constituer une voie efficace de progrès. L'harmonisation internationale des taxes environnementales et le commerce des droits d'émission (en particulier parmi les pays industrialisés), de même que l'application de normes d'efficacité minimales pour les produits fabriqués en série et les importations de machines et véhicules d'occasion, représentent d'autres voies allant dans ce sens. Le besoin de parvenir à une action concertée en matière d'énergie émerge clairement des conventions internationales principales qui sont nées du Sommet planète Terre de 1992, en particulier de la Convention cadre sur les changements climatiques. Bien que les principes de base et nombre d'articles détaillés de cette convention encouragent le développement d'énergies durables et fournissent un cadre pour les progrès qui interviendront, sa mise en application a été lente par rapport à l'urgence qu'il y a à parvenir à un développement plus rapide des énergies durables.

Le défi du développement énergétique durable exige un rôle de facilitateur de la part des gouvernements, des organisations internationales, des institutions financières multilatérales et de la société civile, comprenant les organisations non gouvernementales et les consommateurs privés. Des partenariats devront être créés, fondés sur un renforcement de l'intégration et de la coopération et s'inspirant d'une série d'expériences pratiques. L'un des dénominateurs communs à tous les secteurs et à toutes les régions est la mise en place des conditions appropriées d'encadrement et l'obligation, pour les institutions publiques, de travailler de manière réelle et efficace avec le reste de la société et les autres acteurs économiques pour atteindre des objectifs partagés au bénéfice de tous.

Il est clair que l'énergie peut représenter un moyen puissant pour parvenir à un développement durable. La réorientation de sa puissance d'action vers ce but suprême exigera toutefois des changements majeurs de politique à l'intérieur d'un cadre mondial qui le permette. La pauvreté, les inégalités, l'inefficacité, le manque de fiabilité des services, les priorités environnementales immédiates, le manque d'information et de compétences de base, l'absence d'institutions et de ressources requises, tous ces facteurs exigent que l'on procède à des changements. A moins que ces changements n'interviennent dans les prochaines décennies, bien des chances dont nous disposons actuellement seront perdues, les options dont disposeront les générations futures seront réduites, et l'objectif d'un développement durable ne sera pas atteint. ■

### **Références**

- De Almeida, E., et A. de Oliveira. 1995. "Mode de vie brésilien et consommation énergétique". In *Demande énergétique, changements de modes de vie et développement technologique*. Londres : Conseil mondial de l'énergie.
- AIE (Agence internationale de l'énergie). 1999. *Balances énergétiques des pays de l'OCDE*. Paris.
- Morita, T., et H.-C. Lee. 1998. "Base de données IPCC SRES, version 0.1, scénario d'émission". Base de données préparée pour le rapport spécial IPCC sur les scénarios d'émissions, <http://www.cger.nies.go.jp/cger-e/db/ipcc.html>.
- Nakićenović, N., A. Grübler, et A. McDonald, eds. 1998. *Perspectives énergétiques générales*. Cambridge : Presses Universitaires de Cambridge.
- Nakićenović, N., N. Victor, et T. Morita. 1998. "Base de données des scénarios d'émissions et bilan des scénarios". *Stratégies de réduction et d'adaptation pour un changement global 3 (2-4) : 95-120*.
- NU (Nations Unies). 1992. Sommet planète Terre, Agenda 21 : *Nations Unies, Programme d'Action de Rio*. New York.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 1997. *L'énergie après Rio*. New York.
- CMED (Commission mondiale sur l'environnement et le développement). 1987. *Notre futur commun*. Oxford : Presses Universitaires d'Oxford.
- CME (Conseil mondial de l'énergie). 1998. *Réunion : 17<sup>ème</sup> Congrès du Conseil mondial de l'énergie*. Londres.
- CME (Conseil mondial de l'énergie). 2000. *Rapport 2000 : L'énergie pour le monde de demain - Agissons maintenant !* Londres.
- CME - FAO (Conseil mondial de l'énergie et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1999. *Énergie en milieu rural et pauvreté dans les pays en développement : le défi*. Londres.
- Banque mondiale. 1996. *Énergie rurale et développement : Améliorer l'approvisionnement énergétique de deux milliards de personnes*. Washington, D.C.
- Banque mondiale. 1997. *Les indicateurs du développement mondial 1997*, Washington, D.C.
- IRM (Institut des ressources mondiales). 1998. *Un guide pour l'environnement global*. Oxford : Presses Universitaires d'Oxford.

### **Notes**

1. Dans ce rapport, le terme *pays industrialisés* désigne essentiellement les pays dont le PIB est élevé et sont membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE). Le terme *pays en développement* désigne les pays qui peuvent bénéficier de prêts de la Banque mondiale. Bien qu'un grand nombre des *pays en transition* connaissent un niveau d'industrialisation élevé, ils sont considérés comme formant une catégorie à part du fait de leurs besoins spécifiques en matière de développement.
2. Dans ce rapport, les termes *énergie traditionnelle* et *énergie non commerciale* sont employés indifféremment pour désigner les combustibles issus de la biomasse collectés localement et non traités, tels que les résidus des récoltes, le bois, et les excréments d'animaux. Bien que les sources d'énergies traditionnelles puissent être considérées comme renouvelables, le terme *énergies nouvelles renouvelables* désigne les combustibles biologiques modernes, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, les petites unités hydroélectriques, l'énergie des mers et enfin l'énergie géothermique.
3. Le rapport de la Conférence mondiale sur l'énergie et le développement (CMED) de 1987, internationalement connu sous le nom de rapport Brundtland, a proposé un programme en vue de changements majeurs à l'échelle mondiale.
4. Les liens entre l'énergie et le développement durable ont été récemment reconnus par la Session Extraordinaire de l'Assemblée Générale des Nations Unies relative aux Petits États Insulaires en Développement en 1999. Les conférences majeures qui ont pris en

considération l'importance des questions énergétiques ont été la Conférence des Nations Unies sur la Population, la Conférence des Nations Unies sur les Petits États Insulaires en Développement en 1994, le Sommet Social de Copenhague, la Quatrième Conférence Mondiale sur la Condition Féminine de Pékin en 1995, le Sommet du Programme Alimentaire Mondial et HABITAT II en 1996. Les questions relatives à l'énergie issues de ces conférences sont résumées aux chapitres 1 et 2 du PNUD (1997).

5. L'Agenda 21 est le plan d'action pour le développement durable adopté lors du Sommet planète Terre de Rio en 1992.

6. Les moyens d'atteindre ces objectifs sont traités plus en détail dans CME (2000).

7. Sauf indication contraire, tous les prix sont exprimés en dollars américains.

8. Ce but a été réaffirmé en 1992 (chapitre 33 d'Agenda 21).

9. Dans ce rapport, le terme *énergie conventionnelle* est utilisé pour désigner les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire ou les grandes unités hydroélectriques.

10. Dans ce rapport, le terme *bouleversement* est utilisé pour décrire un facteur de perturbation matérielle générée par le système énergétique, tel que la pollution de l'air. Le terme *conséquence* ou *effet* est utilisé pour désigner les effets qui en résultent, tels que les maladies des voies respiratoires ou la dégradation des forêts.

11. L'*Energy Charter Treaty*, ainsi qu'un protocole sur l'efficacité énergétique et les questions environnementales y afférentes, sont entrés en vigueur en 1998. Il ont été signés par 50 États environ, y compris les membres de l'Union Européenne et de la Communauté des États Indépendants, l'Australie et le Japon.

12. Une analyse des potentiels d'efficacité énergétique dans les usages finaux de l'énergie au cours des 20 prochaines années figure au chapitre 6 du rapport. Elle est fondée sur des études

techniques et économiques détaillées et des exemples illustrant les meilleurs pratiques à cet égard.

13. De manière conventionnelle, l'efficacité énergétique a été définie en fonction de la première loi de la thermodynamique. La seconde loi en ce domaine prend en compte le fait que différentes formes d'énergie ont des potentiels différents pour exécuter des tâches différentes. Par exemple, pour le chauffage, une chaudière à gaz peut fonctionner avec une efficacité de près de 100 % (selon les termes définis par la première loi de la thermodynamique). Ceci semble suggérer que des améliorations limitées de l'efficacité sont encore possibles. Pourtant, par extraction de chaleur du sol ou d'une autre source, une pompe à chaleur fonctionnant au gaz peut générer une quantité beaucoup plus importante de chaleur utile à basse température avec la même consommation d'énergie. Le deuxième exemple illustre le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique en se fondant sur la seconde loi de la thermodynamique.

14. Un système de paiement adéquat signifie l'utilisation de compteurs et une collecte des paiements afin de s'assurer que tous les services énergétiques ont un prix qui est payé par tous les utilisateurs de façon régulière.

15. Ces deux chiffres comprennent les deux milliards de personnes actuellement privées d'accès à l'énergie commerciale. Les prévisions démographiques des Nations Unies ont été revues à la baisse en 1998, après l'élaboration des scénarios décrits dans ce rapport. Bien que l'hypothèse démographique utilisée pour les scénarios décrits ici (11,7 milliards en 2100) soit légèrement supérieure à celle du scénario intermédiaire des Nations Unies (10,4 milliards), il n'y a pas d'incohérence entre ces deux chiffres.

16. Les politiques menées par les pays industrialisés et les pressions inflationnistes exercées par le pétrodollar peuvent également avoir contribué aux niveaux d'endettement.

## UNITÉS DE MESURES ÉNERGÉTIQUES, FACTEURS DE CONVERSION ET ABRÉVIATIONS

TABLEAU A1 : CONVERSION DES UNITÉS DE MESURE ÉNERGÉTIQUE\*

En:	Terajoules (TJ)	Gigacalories (Gcal)	Million de tonnes équivalent pétrole (Mtep)	Million d'unités thermiques britanniques (MtuB)	Gigawattheure (GWh)
De:	Multiplier par:				
Terajoule (TJ)	1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Million de tonnes équivalent pétrole (Mtep)	$4,1868 \times 10^4$	$10^7$	1	$3,968 \times 10^7$	11 630
Million d'unités thermiques britanniques (MtuB)	$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
Gigawattheure (GWh)	3,6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3 412	1

\* Données AIE. Les autres indices de conversion sont disponibles sur le site <http://www.iea.org/stat.htm>

TABLEAU A2. PRÉFIXES  
DES UNITÉS DE MESURE

k	kilo ( $10^3$ )
M	méga ( $10^6$ )
G	giga ( $10^9$ )
T	téra ( $10^{12}$ )
P	peta ( $10^{15}$ )
E	exa ( $10^{18}$ )

TABLEAU A3. RENDEMENT DE  
CONVERSION DANS LA PRODUCTION  
D'ÉLECTRICITÉ (POUR LE CALCUL DE  
L'ÉNERGIE PRIMAIRE ÉQUIVALENTE)

Type d'énergie	Rendement
Énergie nucléaire	0,33
Hydroélectricité	1,00
Énergie éolienne et solaire	1,00
Géothermie	0,10

TABLEAU A4.  
ABRÉVIATIONS

CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
H <sub>2</sub>	Hydrogène
kWh	kilowattheure
GWe	Gigawatt électrique
GWth	Gigawatt thermique
MWe	Mégawatt électrique
TWh	Térawattheure
GJ	Gigajoule
PJ	Petajoule



**NB : Le rapport final n'est disponible qu'en anglais.**

Copies of the full World Energy Assessment (about 500 pages) are available at a cost of US\$65 for residents of developed countries (by this we mean countries belonging to the Organisation for Economic Cooperation and Development). Others may obtain copies for US\$35. To place an order, please fill out the order form below and return it, with your payment, to the address specified.

A limited number of complimentary copies are also available to those actively engaged in the energy field, including NGOs, students and energy experts. To apply for a complimentary copy, please contact the World Energy Assessment, UNDP, Bureau for Development Policy, 304 East 45th Street, 9th Floor, New York, NY 10017, Fax (1+212) 906-5148. ■

## ORDER FORM

### QUANTITIES AND PRICING

Item	Price per item	Quantity	Subtotal
World Energy Assessment (residents of countries belonging to the OECD)	US\$65		
World Energy Assessment (residents of other countries)	US\$35		
Postage and handling US residents	add 5% (US\$5.00 minimum)		
Non-US residents	US\$5.00 per title in addition to US\$5.00 handling charge		
<b>Total</b>			

### PAYMENT AND SHIPPING INSTRUCTIONS

#### Payment method:

Enclosed is a check for US\$ \_\_\_\_\_ (equal to the Total above), payable to United Nations Publications.

Please charge the following: \_\_\_ Visa \_\_\_ MasterCard \_\_\_ American Express \_\_\_ JCB

Name as it appears on the card: \_\_\_\_\_

Card # \_\_\_\_\_ Expiration date \_\_\_/\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

#### Please ship to:

Name \_\_\_\_\_

Address \_\_\_\_\_

City \_\_\_\_\_ State \_\_\_\_\_ Zip code \_\_\_\_\_

Country \_\_\_\_\_

Phone \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_

### PLEASE RETURN THIS COMPLETED FORM TO:

#### For Orders from North America, Latin America and the Caribbean, and Asia and the Pacific

United Nations Publications  
Room DC2-0853, Dept. D138  
New York, N.Y. 10017  
Tel: (+1-800) 253-9646, (+1-212) 963-8302  
Fax: (+1-212) 963-3489  
E-mail: publications@un.org

#### For Orders from Europe, Middle East and Africa

United Nations Publications  
Sales Office and Bookshop  
CH-1211, Geneva 10, Switzerland  
Tel: +41 (22) 917-2614  
Fax: +41 (22) 917-0027  
E-mail: unpubli@unog.ch





Rapport  
sur l'énergie  
dans le monde



PROGRAMME DES NATIONS UNIES  
POUR LE DÉVELOPPEMENT  
Bureau for Development Policy  
One United Nations Plaza  
New York, NY 10017  
United States of America



DÉPARTEMENT DES AFFAIRES  
ÉCONOMIQUES ET SOCIALES  
DES NATIONS UNIES  
Two United Nations Plaza, DC-2  
New York, NY 10017  
United States of America



CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE  
Regency House, 5th Floor  
1-4 Warwick Street  
London W1R 6LE  
United Kingdom