



Conseil économique
et social

Distr.
GÉNÉRALE

E/C.13/1996/6
29 avril 1996
FRANÇAIS
ORIGINAL : ANGLAIS

COMITÉ DES SOURCES D'ÉNERGIE NOUVELLES
ET RENOUVELABLES ET DE L'ÉNERGIE POUR
LE DÉVELOPPEMENT

Deuxième session
12-23 février 1996

Énergie et protection de l'atmosphère

Rapport du Secrétaire général

RÉSUMÉ

L'extraction, la conversion et la combustion de combustibles fossiles et, à un moindre degré, les changements dans l'utilisation des sols et l'agriculture ont accru la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il pourrait en résulter des changements climatiques.

La protection de l'atmosphère est l'une des conditions préalables du développement économique durable. Les besoins en énergie sont déterminés par trois grands facteurs : l'accroissement de la population, le développement économique et industriel et l'évolution des techniques. La nature et l'ampleur des incidences de la productivité et de la consommation d'énergie sur l'environnement sont étroitement liées au degré de développement économique et d'industrialisation. On a choisi de classer les problèmes économiques selon qu'ils sont liés à la pauvreté, à l'industrialisation ou à la richesse. Ces trois phénomènes retentissent en effet différemment sur l'environnement.

La consommation mondiale d'énergie primaire est plus de 20 fois supérieure à ce qu'elle était au milieu du siècle dernier. Toutefois, cette croissance varie considérablement d'une région à l'autre. Elle est essentiellement le fait des pays développés. Les niveaux d'intensité énergétique (ou consommation spécifique) tendent à diminuer à mesure que le niveau de l'activité économique s'élève et que les techniques s'améliorent.



Les pays développés sont ceux où les émissions de dioxyde de carbone, d'aérosols et d'hydrocarbures chlorofluorés sont les plus fortes. À l'heure actuelle, il est impossible d'évaluer avec fiabilité l'effet conjugué des concentrations de gaz à effet de serre et les autres incidences que les activités humaines peuvent avoir sur le climat. Comme il est difficile de déterminer l'ampleur et la répartition géographique probables des changements climatiques, il est aussi très difficile de déterminer ce que l'on peut considérer comme étant des niveaux d'activité humaine dangereux. Toutefois, il serait tout à fait possible d'atténuer les effets indésirables de ces activités sur l'atmosphère. On pourrait, par exemple, améliorer le rendement énergétique, remplacer un combustible fossile par un autre, procéder à des changements structurels, exercer un contrôle sur les grosses sources ponctuelles de pollution, élargir les puits des gaz à effet de serre et prendre des mesures d'adaptation. Diverses politiques sont concevables.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Page</u>
INTRODUCTION	1	5
I. APERÇU	2 - 10	5
A. Pollution atmosphérique locale et transfrontière	4	5
B. Le gaz à effet de serre et le changement climatique	5 - 7	6
C. L'énergie pour le développement	8 - 10	6
II. ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE	11 - 22	7
A. Offre et consommation d'énergie par région . . .	12 - 17	7
B. Développement économique et environnement . . .	18 - 22	11
III. TENDANCES DES UTILISATIONS D'ÉNERGIE	23 - 37	12
A. Tendances sectorielles et régionales de l'utilisation d'énergie	26 - 28	13
B. Consommations spécifiques	29 - 33	14
C. Concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère	34 - 37	15
IV. IMPACTS SUR L'ATMOSPHÈRE DES GAZ À EFFET DE SERRE .	38 - 47	16
A. Explication scientifique du changement climatique	38 - 44	16
B. Ampleur des futures émissions	45 - 47	18
V. CHOIX TECHNIQUES EN MATIÈRE D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION	48 - 70	18
A. Possibilités d'amélioration des rendements . . .	50 - 57	19
B. Changement et substitution de combustibles . . .	58 - 59	20
C. Changements structurels	60 - 61	21
D. Contrôle de grandes sources ponctuelles d'émissions	62 - 64	22
E. Élargissement des puits et milieux récepteurs naturels	65 - 67	23

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Paragraphe</u> s	<u>Page</u>
F. Mesures d'adaptation	68 - 70	24
VI. SITUATION PARTICULIÈRE DANS DIFFÉRENTES RÉGIONS DU MONDE	71 - 77	24
VII. INSTRUMENTS PERMETTANT DE CONTRÔLER L'IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES	78 - 100	26
A. Politiques visant à assurer la mise en valeur durable des ressources énergétiques	79 - 80	26
B. Politiques visant à assurer l'efficacité énergétique et à promouvoir la décarburation . .	81 - 82	27
C. Instruments économiques et non économiques . . .	83 - 87	27
D. Moyens d'action aux échelons régional et national	88 - 89	28
E. Un financement approprié	90 - 91	29
F. Renforcement des compétences et de l'expérience	92 - 93	29
G. Moyens d'action sectoriels ou propres à certaines technologies	94 - 100	30
<u>Figures</u>		
I. UTILISATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN 1990, RAPPORTÉE À LA POPULATION, PAR RÉGION ET PAR SOURCE		9
II. UTILISATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE RAPPORTÉE PAR PIB PAR HABITANT, DANS DEUX PAYS : ÉTATS-UNIS (1800-1990) ET JAPON (1900-1990) . .		10

INTRODUCTION

1. À sa première session (7-18 février 1994), le Comité des sources d'énergie nouvelles et renouvelables et de l'énergie pour le développement a demandé au Secrétaire général d'établir un rapport sur l'énergie et la protection de l'atmosphère qu'il examinerait à sa deuxième session¹. C'est pour répondre à cette demande que le présent rapport, qui se fonde presque exclusivement sur une étude commandée par le Secrétariat², a été établi.

I. APERÇU

2. L'atmosphère terrestre est affectée par plusieurs facteurs interdépendants : pollution atmosphérique locale et régionale, hausse des concentrations de gaz à effet de serre, d'aérosols et d'halocarbures, etc. La combustion de combustibles fossiles et les utilisations déprédatrices de la biomasse polluent gravement l'atmosphère aux niveaux local et régional et entraînent souvent des phénomènes d'acidification qui altèrent des écosystèmes entiers. L'extraction, la conversion et la combustion de combustibles fossiles et, à un moindre degré, l'agriculture et les modifications apportées à l'utilisation des sols font augmenter les concentrations de gaz à effet de serre, ce qui altère l'équilibre radiatif de l'atmosphère et entraîne peut-être des changements climatiques. Les activités humaines ont provoqué une augmentation des concentrations atmosphériques de gaz présents dans la nature et y ont introduit de nouveaux gaz. Conjuguées aux gaz à effet de serre, les émissions d'hydrocarbures chlorofluorés, sont en train de détruire progressivement la couche d'ozone. Prises dans leur ensemble, ces sources de pollution devraient entraîner des changements climatiques aux niveaux régional et mondial. Ces changements affecteront de vastes populations, en particulier les plus vulnérables, qui sont pauvres et mal armées pour s'adapter.

3. La protection de l'atmosphère est l'une des principales conditions préalables d'un développement économique viable. Le présent rapport traite des moyens de protéger l'atmosphère contre les atteintes liées à l'utilisation de l'énergie. Il analyse la corrélation entre énergie et développement, les tendances actuelles de la consommation d'énergie dans le monde, les évolutions prévisibles dans ce domaine, les incidences que de tels phénomènes peuvent avoir sur l'atmosphère, et enfin les stratégies qui permettraient d'atténuer et d'éviter les effets nocifs de changements climatiques éventuels. Le rapport conclut par une évaluation des mesures qui pourraient être prises pour protéger l'atmosphère dans l'esprit d'un développement humain durable.

A. Pollution atmosphérique locale et transfrontière

4. La pollution locale et transfrontière qui résulte d'activités productrices d'énergie a pour effet de détériorer la qualité de l'air dans de nombreuses zones urbaines et dans certaines régions rurales à peu près partout dans le monde. En outre, elle nuit à l'économie et porte atteinte à la santé tout en mettant en péril les écosystèmes. Dans les pays en développement, les taux de pollution intérieure qui résultent de la combustion de biomasse ou de charbon de mauvaise qualité utilisés pour alimenter les foyers ouverts traditionnels sont généralement élevés. Les émissions d'oxydes de soufre et d'azote imputables aux centrales thermiques et à une circulation automobile dense provoquent une

pollution atmosphérique régionale et transfrontière qui conduit à l'acidification des forêts, des lacs et des sols. Le problème des "pluies acides" se pose depuis déjà un certain temps en Europe et en Amérique du Nord. La pollution atmosphérique transfrontière et l'acidification commencent elles aussi à préoccuper les pays d'Asie de l'Est qui se développent rapidement et font un usage abondant du charbon.

B. Le gaz à effet de serre et le changement climatique

5. Depuis que l'on a commencé à utiliser les combustibles fossiles, c'est-à-dire depuis deux siècles, la hausse des concentrations de gaz à effet de serre est très sensible. Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone ont augmenté de 30 %, celles de méthane de 150 % et celles d'oxydes d'azote de plus de 10 %. D'après les scientifiques, la plupart de ces augmentations seraient dues à des activités humaines comme la combustion de combustibles fossiles, les changements apportés à l'utilisation des sols et l'agriculture. L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre tend à réchauffer l'atmosphère tandis que les aérosols tels que le dioxyde de soufre tendent à la refroidir dans certaines régions.

6. Tous ces phénomènes devraient en s'additionnant aboutir à un réchauffement des températures moyennes à l'échelon de la planète et provoquer des changements climatiques régionaux et mondiaux, en particulier affecter la pluviométrie, l'humidité des sols, la configuration des courants aériens et océaniques ainsi que le niveau des mers. Les changements climatiques pourraient, à leur tour, avoir des effets écologiques contraires aux activités humaines et compromettre le développement durable. La nature exacte de ces incidences, notamment leur ampleur, leur variabilité et leur distribution régionale, est très mal connue sur le plan scientifique.

7. L'appauvrissement de la couche stratosphérique d'ozone est largement imputable aux émissions d'hydrocarbures chlorofluorés et d'halons. Cet appauvrissement a pour effet d'exposer la surface terrestre à des rayonnements ultraviolets plus intenses, phénomène qui peut avoir des conséquences préjudiciables pour la santé, et en particulier entraîner une multiplication des cancers de la peau et des maladies ophtalmiques. Les hydrocarbures chlorofluorés peuvent aussi produire un effet de serre, toutefois compensé en partie par la raréfaction de l'ozone qui est lui aussi un gaz à effet de serre. Le Protocole de Montréal (relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone) organise la réduction des concentrations de substances qui appauvrissent la couche d'ozone³, mais certains des gaz qui sont censés remplacer ces substances pourraient eux aussi avoir un puissant effet de serre.

C. L'énergie pour le développement

8. Bien qu'à ce jour, la consommation d'énergie commerciale ait énormément augmenté, la majorité des habitants de la planète n'ont encore que très peu accès aux services que l'énergie rend aux habitants des pays industrialisés. C'est là l'un des signes de la pauvreté. Les inégalités sont si marquées qu'il serait pratiquement impossible pour la grande majorité de la population mondiale d'accéder aux modes de consommation gourmande en énergie qui se sont imposés dans les pays industrialisés. L'adoption, de par le monde, de modes de

consommation énergétiques plus viables à terme et la protection de l'atmosphère sont reconnues comme étant des objectifs nationaux et internationaux importants. En partant des niveaux local et national, on est en train d'élaborer des accords internationaux sur l'environnement.

9. Pour protéger adéquatement l'atmosphère terrestre, il faudra surmonter un certain nombre de redoutables obstacles. Pour répondre aux besoins essentiels de la population et poursuivre le développement économique et social, il faut des quantités considérables et de plus en plus importantes d'énergie. Toutefois, les modes de consommation énergétique actuels, qui très souvent laissent beaucoup à désirer, ont déjà produit des émissions qui dépassent les niveaux tolérables dans les zones urbaines et qui, pour beaucoup d'écosystèmes situés dans les régions rurales, sont supérieurs aux charges critiques. Ces problèmes devraient être résolus d'urgence, mais l'on continuera, pendant encore des dizaines d'années, à dépendre des combustibles fossiles pour la production et la fourniture de services énergétiques. Pour s'acheminer vers des modes de consommation énergétiques plus viables, il faudrait consentir un gros effort de recherche appliquée et suivre avec constance les politiques nécessaires. Cette démarche nécessitera pendant des décennies des investissements énormes appelant des formes nouvelles de financement et plusieurs décennies de rotation du capital.

10. La protection de l'atmosphère au niveau tant local que régional et mondial, est un objectif qui entre en concurrence avec d'autres objectifs d'ordre socio-économique, dont certains (élimination de la pauvreté, offre de soins de santé adéquats et lutte contre le chômage) sont considérés comme plus urgents. À ce problème vient s'ajouter celui des incertitudes qui, au plan scientifique, continuent de peser sur la nature exacte des interactions existant entre les activités humaines et l'atmosphère ainsi que sur les incidences éventuelles des changements climatiques, notamment les coûts et les avantages à prévoir si l'on tentait de s'adapter à ces changements ou de les atténuer.

II. ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

11. Les besoins énergétiques sont fonction de trois grands facteurs : l'accroissement de la population, le développement économique et industriel et le progrès technique. En fait, loin d'en être une simple conséquence, la consommation d'énergie peut être vue comme l'une des conditions essentielles de la croissance économique et du progrès social.

A. Offre et consommation d'énergie par région

12. Avant la révolution industrielle, pour fournir les services énergétiques voulus (chauffage, éclairage, travail), on ne pouvait guère exploiter que les flux énergétiques naturels, et le travail des bêtes et des hommes. La densité de puissance et l'énergie disponibles étaient fonction du site. Il n'y avait pour toute source d'énergie mécanique que les animaux de trait, l'eau et les moulins à vent. Pour convertir l'énergie chimique en chauffage et éclairage, il n'y avait guère d'autre moyen que de brûler du bois de feu et des chandelles. La consommation énergétique annuelle par habitant ne dépassait généralement pas 0,5 tonne d'équivalent-pétrole⁴. Il y a encore à l'heure actuelle quelque deux milliards d'êtres humains dont le mode de consommation finale de l'énergie est

de ce type : ils utilisent des formes et des techniques traditionnelles d'énergie et ne peuvent quasiment pas se procurer de services énergétiques modernes. Or, il y a là un empêchement grave à la satisfaction des besoins fondamentaux : il est impossible dans ces conditions de moderniser les structures économiques et le développement humain s'en trouve freiné.

13. La figure I montre la consommation énergétique par habitant en 1990 dans certaines régions du monde, selon les sources d'énergie, avec en parallèle la population de ces régions. La hauteur des bâtons de la figure I est proportionnelle à la consommation énergétique actuelle par habitant, la largeur à l'effectif de la population. Autrement dit, l'aire de chaque bâton est proportionnelle à l'utilisation totale d'énergie. On peut ainsi constater que la consommation d'énergie primaire par habitant présente d'énormes différences d'une région à l'autre. Moins d'un tiers de la population du monde consomme plus des deux tiers de l'énergie mondiale. La répartition de la consommation historique cumulée est encore plus inégale : près de 85 % de l'ensemble de l'énergie consommée jusqu'à présent l'ont été par moins de 20 % de l'ensemble des êtres humains ayant vécu depuis 1860.

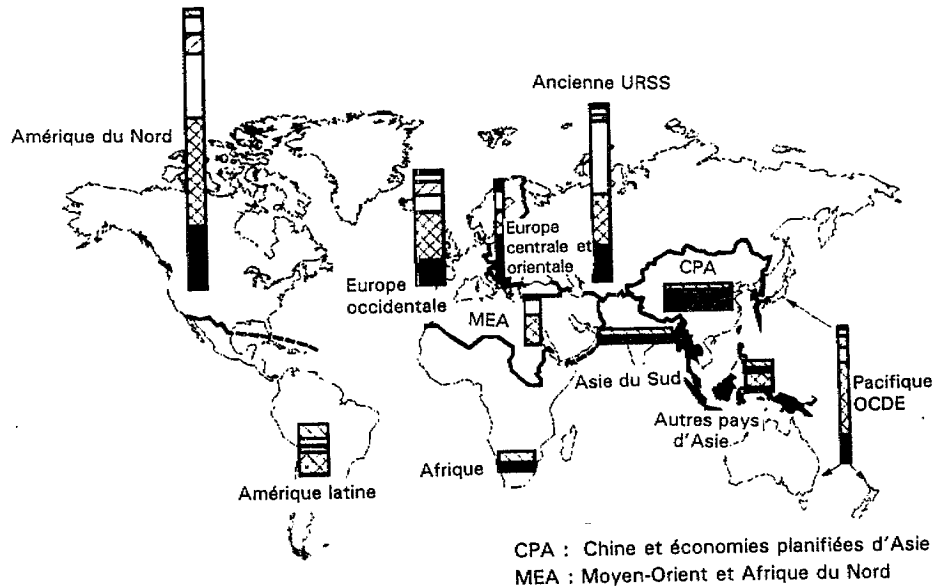
14. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie commerciale par habitant est vingt fois plus importante en Amérique du Nord qu'en Asie du Sud. Les disparités sont encore plus marquées pour ce qui est de la consommation des formes modernes d'énergie commerciale. L'utilisation d'énergie commerciale par habitant peut être dans les cas extrêmes 500 fois plus élevée dans un pays que dans un autre. La consommation d'énergie par habitant est bien plus faible en Europe occidentale et au Japon qu'en Amérique du Nord, pour un niveau de revenus du même ordre, ce qui révèle des modes de consommation énergétique assez différenciés même entre pays développés. Les disparités sont également très marquées entre pays en développement, et encore plus creusées dans tous les cas entre les différents groupes socio-économiques.

15. La structure de l'approvisionnement énergétique présente elle aussi des différences marquées. Les pays en développement sont surtout tributaires du charbon et d'autres combustibles solides, tels que les sources traditionnelles et non commerciales d'énergie⁵. La plupart des pays développés comptent une part importante de pétrole brut et de gaz naturel dans leur consommation d'énergie primaire; dans certaines régions, l'énergie nucléaire et les sources modernes d'énergie renouvelable représentent une proportion appréciable de la consommation.

16. Il existe une relation manifeste et statistiquement significative entre la consommation d'énergie par habitant et la production économique par habitant mesurée par le produit intérieur brut (PIB), aussi bien aux taux de change en vigueur qu'en parité de pouvoir d'achat; cette relation vaut pour les comparaisons de pays à pays, comme de région à région et pour les comparaisons diachroniques (voir figure II).

Figure 1

Utilisation d'énergie primaire en 1990, rapportée
 à la population, par région et par source



Source : Département de la coordination des politiques et du développement durable, Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies.

Légende : Hauteur des bâtons : utilisation d'énergie (TEP/habitant)
 Largeur des bâtons : population en millions

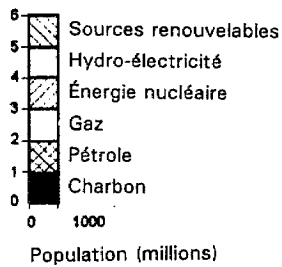
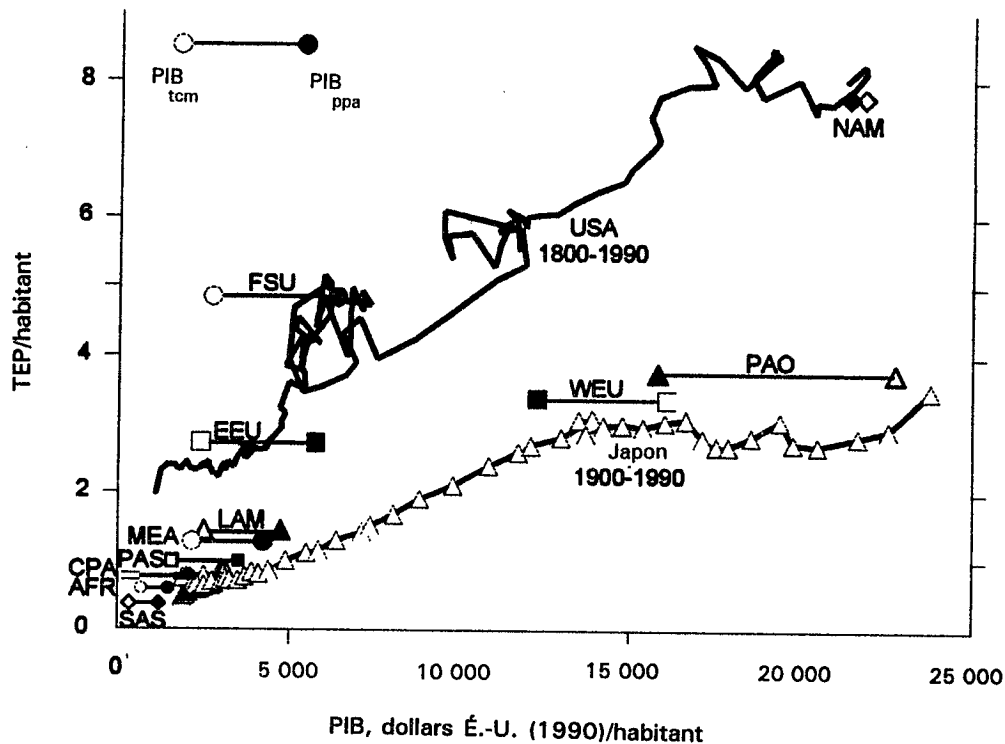


Figure II

Utilisation d'énergie primaire rapportée au PIB par habitant,
 dans deux pays : États-Unis (1800-1990) et Japon (1900-1990)



Source : Département de la coordination des politiques et du développement durable, Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies.

Note : En dollars des États-Unis, aux taux de change du marché (tcm) et aux parités de pouvoir d'achat (ppa) de 1990.

Légende :

- | | |
|--|---------------------------------|
| SAS : Asie du Sud | NAM : Amérique du Nord |
| AFR : Afrique | EEU : Communauté européenne |
| CPA : Chine et économies planifiées d'Asie | FSU : Ancienne Union soviétique |
| PAS : Asie et Pacifique | WEU : Europe occidentale |
| MEA : Moyen-Orient | USA : États-Unis d'Amérique |
| LAM : Amérique latine | PAO : Pacifique et Océanie |

17. À une extrémité de la gamme, on trouve les pays à faible revenu, où la consommation d'énergie par habitant est la plus basse, pays d'Afrique subsaharienne et d'Asie du Sud en particulier. Quand le revenu est plus élevé, la consommation d'énergie augmente. Parmi les pays à production économique et consommation d'énergie par habitant intermédiaires, on trouve ceux d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, des régions d'Asie bordant le Pacifique, et d'Amérique latine. La consommation d'énergie primaire par habitant dans certains des pays d'Asie où le revenu est un peu plus élevé est déjà supérieure actuellement à celle de certains pays développés⁶. Bien que ce phénomène d'accroissement de la consommation d'énergie allant de pair avec le développement économique se retrouve partout, il n'existe pas de "loi" unique et universelle qui définisse précisément une relation entre croissance économique et utilisation d'énergie.

B. Développement économique et environnement

18. Les impacts de la production et de l'utilisation d'énergie sur l'environnement sont en relation étroite, pour le type et l'ampleur, avec le stade de développement économique et d'industrialisation. Trois catégories de problèmes économiques ont été analysées en fonction de leur impact sur l'environnement : il s'agit de problèmes liés à la pauvreté, à l'industrialisation et à la richesse⁷. Aux différents stades de développement économique correspondent des contraintes différentes pour l'environnement. Mais le développement économique donne aussi aux sociétés les moyens de résoudre les problèmes écologiques. Aux différents types de problèmes économiques répondent des politiques de l'environnement et des solutions d'ordre différent.

19. Les problèmes écologiques causés par la pauvreté sont notamment le manque de moyens d'assainissement et d'eau potable, une forte pollution atmosphérique due à la concentration de particules dans l'air ambiant extérieur et intérieur. Ces impacts ne touchent généralement que les zones proches de la source de pollution. Parmi les effets nocifs fréquents, il faut citer la mauvaise santé, parfois cause de mortalité élevée. La solution la plus efficace à ces problèmes écologiques passe en fait par le développement économique.

20. Les problèmes écologiques dus à l'industrialisation sont notamment les fortes concentrations de dioxyde de soufre dans l'air ambiant et le niveau élevé de déchets industriels dangereux. Les problèmes se posent surtout dans les zones urbaines et industrielles, mais s'étendent de plus en plus avec la montée de l'industrialisation, et commencent à toucher non seulement la santé des êtres humains mais aussi de nombreux écosystèmes. La durée de ces effets sur l'environnement peut aller de quelques jours (brumée urbaine) à des périodes beaucoup plus longues lorsqu'il s'agit de pollution d'ampleur régionale (pluies acides, apparition de produits toxiques dans les bassins fluviaux, déboisement de régions entières). Les problèmes écologiques associés à l'industrialisation suivent généralement une courbe ascendante, s'intensifiant et s'étendant, pour atteindre une acuité maximale et décroître ensuite. La courbe ascendante correspond à l'expansion de la production et à l'urbanisation. La baisse coïncide avec le développement économique. Les politiques propres à résoudre les problèmes écologiques dus à l'industrialisation consistent à combiner les incitations à conserver l'environnement plus propre avec la réglementation. Les mesures d'incitation doivent être de nature à encourager des modifications structurelles allant dans le sens d'une utilisation plus rentable de l'énergie

et des autres ressources (notamment amélioration des appareils pour l'utilisation finale de l'énergie, combustibles plus propres, équipements publics de meilleure qualité). La réglementation comprend notamment les normes écologiques, les incitations d'ordre financier et fiscal, la réduction des émissions provenant de grandes sources ponctuelles, l'entretien et le remplacement du matériel à dates régulières.

21. Les problèmes écologiques associés à la richesse sont surtout l'accroissement constant des volumes de déchets urbains et des émissions de gaz à effet de serre, surtout de dioxyde de carbone (CO₂), liées à la production et à l'utilisation d'énergie. Les effets sur l'environnement sont en majorité indirects et à long terme. Bien souvent, on n'en connaît avec certitude ni l'ampleur ni la nature exacte : c'est le cas par exemple pour les changements climatiques et les pertes de diversité biologique. À la différence des deux premières catégories, les problèmes écologiques liés à la richesse ne font généralement que s'aggraver avec l'augmentation des revenus et de la consommation. Aussi les politiques à suivre doivent-elles être ambitieuses et englober de nombreux types d'activité économique, afin d'encourager des modifications structurelles à long terme des modes de production comme de consommation. Il n'y a généralement pas de "trucs" techniques débouchant sur des solutions rapides.

22. Il existe deux types de stratégies face aux problèmes écologiques que suscitent les revenus et la consommation élevés : elles consistent à améliorer le rendement énergétique d'une part, et à dissocier énergie et carbone ou décarburation (modifier l'approvisionnement énergétique au profit de sources et de systèmes d'utilisations finales plus propres) de l'autre.

III. TENDANCES DES UTILISATIONS D'ÉNERGIE

23. À l'échelon mondial, la consommation d'énergie a été multipliée par 20 depuis le milieu du XIXe siècle, soit un taux annuel d'accroissement de 2,2 %. La consommation mondiale d'énergie primaire, combustibles traditionnels compris, s'établissait vers 1860 à moins de 0,5 gigatonne d'équivalent-pétrole. À l'orée de notre siècle, la consommation mondiale d'énergie primaire avait plus que doublé, dépassant 1 gigatonne d'équivalent-pétrole, pour dépasser 2 gigatonnes en 1940. Il n'a ensuite fallu par deux fois qu'une vingtaine d'années pour que la consommation double, puis double encore. En 1994, la consommation d'énergie primaire s'élevait à 9,1 gigatonnes d'équivalent-pétrole⁸.

24. La contribution relative aux différentes sources d'énergie primaire a en outre profondément changé au cours des 100 dernières années. L'évolution de la part relative occupée par les principales sources d'énergie dans la consommation mondiale totale, la dynamique des transformations structurelles du système énergétique mondial et la part relative des différentes sources d'énergie primaire dans l'approvisionnement mondial en énergie primaire, montrent qu'il a fallu environ un demi-siècle au pétrole brut pour remplacer le charbon comme principale source d'énergie dans le monde. À l'échelon mondial, le temps nécessaire pour les transitions énergétiques radicales a été de l'ordre de 50 ans. À l'échelon régional, de même que pour une technique énergétique donnée ou un appareil donné, il faut généralement moins de temps, ne serait-ce que du fait que la rotation des capitaux est plus rapide.

25. Dans le secteur de l'énergie, la durée utile du matériel énergétique, et donc le temps de renouvellement et de remplacement des biens de production, sont habituellement d'autant plus brefs que le matériel est plus près de l'utilisateur final. L'ampoule électrique, exemple typique d'utilisation finale, est habituellement remplacée en moins d'un an, les appareils ménagers (chaîne stéréo...) en moins de 10, et le gros matériel domestique (chaudière de chauffage, par exemple) en moins de 20. À l'inverse, la durée utile des gros équipements énergétiques est beaucoup plus longue : pour les centrales thermiques et les installations utilisant des sources d'énergie renouvelables, elle est de l'ordre de 30 ans. Elle est encore plus longue pour les grandes installations de production d'énergie hydro-électrique (barrages) et pour les infrastructures (réseau ferré, routes, câbles enterrés). La durée utile type des installations énergétiques étant comprise entre 30 et 50 ans, la totalité des gros équipements du secteur de l'énergie auront été remplacés deux fois au moins avant la fin du XXI^e siècle, ce qui offre de vastes possibilités d'améliorer le rendement et de restructurer le système énergétique de manière à ne plus dépendre des combustibles fossiles.

A. Tendances sectorielles et régionales de l'utilisation d'énergie

26. Les utilisations sectorielles d'énergie connaissent des variations considérables selon les régions et les pays. Des 9 gigatonnes d'équivalent-pétrole d'énergie primaire consommées dans le monde en 1990, 6,5 environ vont aux utilisations finales, soit un rendement global de la conversion d'énergie primaire en énergie finale d'environ 72 %. La part la plus importante, 40 % environ, correspond à la consommation combinée des secteurs agricole, domestique et commercial, y compris l'utilisation directe de combustibles traditionnels non commerciaux recueillis et consommés sur place. La deuxième place (31 % environ) correspond aux utilisations industrielles, plus 6 % pour l'alimentation en matières premières des industries (utilisation non énergétique de combustibles fossiles). Globalement, le secteur des transports représente la part la plus modeste, 23 %, de l'ensemble des utilisations finales de l'énergie, mais connaît le taux de croissance le plus rapide de toutes les utilisations sectorielles.

27. Dans les pays de l'OCDE, la consommation finale d'énergie est répartie à peu près également entre les différentes utilisations sectorielles. Dans les pays à économie en transition, les utilisations industrielles représentent la part de loin la plus importante; dans les pays en développement ce sont les activités agricoles, domestiques et commerciales. Dans les pays de l'OCDE comme dans les pays en développement, ce sont les besoins énergétiques du secteur des transports qui augmentent le plus rapidement. Les utilisations industrielles de l'énergie ont en fait diminué dans les pays de l'OCDE. Dans les pays en développement, à l'inverse, le développement économique et l'industrialisation entraînent une augmentation de la consommation d'énergie dans l'industrie.

28. Les pays développés sont les principaux responsables de l'augmentation de la consommation mondiale d'énergie primaire. Si leur part en représente encore les deux tiers, on constate cependant qu'elle diminue à mesure que le monde se développe. La consommation d'énergie connaît une augmentation rapide, notamment en Asie, qui sera principalement à l'avenir le fait de pays actuellement en développement. Les régions industrialisées ont toujours été les plus grandes

consommatrices d'énergie. Mais les pays en développement ont connu, pendant la majeure partie du XXe siècle, des taux d'accroissement largement supérieurs à ceux des pays industrialisés, avec toutefois des niveaux de consommation absolue nettement moins élevés. Les taux de croissance annuelle de la consommation d'énergie fossile y ont été particulièrement élevés (près de 9 % en moyenne), notamment dans les années 50 et 60. Ce phénomène s'explique par le remplacement rapide des formes d'énergie traditionnelles par l'énergie commerciale (fossile), venant s'ajouter à l'augmentation de la consommation d'énergie qu'entraîne le développement économique de ces régions. La consommation a certes ralenti ces 10 dernières années, mais le phénomène se poursuit.

B. Consommations spécifiques

29. Le développement économique et l'évolution des techniques ont également un impact important sur la consommation spécifique d'énergie, c'est-à-dire sur la quantité d'énergie nécessaire par unité de production économique, habituellement mesurée par le produit intérieur brut (PIB), soit pour l'ensemble de l'économie soit pour des secteurs ou activités donnés. Il y a à la baisse des consommations spécifiques des causes nombreuses et variées, à commencer par l'amélioration des techniques intéressant certains éléments de l'utilisation finale et de la transformation de l'énergie; l'évolution structurelle du système énergétique, comme le passage de la centrale au charbon à la centrale à cycle combiné pour la production d'électricité; et la substitution des combustibles en fonction de l'utilisation finale, comme le remplacement du bois de feu par le gaz de pétrole liquéfié. On peut également citer le passage à des activités économiques à moindre intensité énergétique, les nouvelles utilisations finales de l'énergie et, à terme, l'évolution des modes de vie. Chacun des éléments appartenant à ces catégories ne représente pas en soi une diminution de la consommation spécifique. Toutefois, considérés ensemble, ils font apparaître des tendances persistantes et généralisées.

30. De façon générale, la consommation spécifique, y compris celle d'énergie non commerciale, s'améliore avec le temps. Le processus ne va pas sans heurt. Les périodes d'amélioration rapide alternent avec les périodes de stagnation. Il arrive même que la consommation augmente dans les premières phases du décollage économique, lorsqu'il faut acquérir une base industrielle et un équipement à forte intensité d'énergie et de matériaux.

31. Il n'en va pas de même pour la consommation spécifique d'énergie commerciale, qui commence par augmenter pour atteindre un niveau maximum avant de diminuer. L'augmentation initiale est imputable au remplacement des formes et techniques traditionnelles par l'énergie commerciale. Lorsque cette phase est pratiquement terminée, la consommation d'énergie commerciale décroît de la même façon que l'ensemble de la consommation d'énergie.

32. Si la tendance est à une convergence relative entre les pays, il n'en reste pas moins que les structures de la consommation spécifique d'énergie traduisent des situations et des évolutions différentes en matière de développement. Le développement économique est un processus cumulatif, reflétant des modes de consommation, des modes d'habitat, des besoins relatifs aux transports, des structures industrielles et des dates de décollage industriel tous différents.

L'évolution de la consommation spécifique nationale est donc fonction du parcours suivi par le pays.

33. On a retenu pour la présente étude de l'utilisation de l'énergie et du carbone cinq pays illustrant des cas de figure différents. Les États-Unis sont l'un des premiers pays industrialisés pour la consommation spécifique d'énergie de même que pour le niveau par habitant des émissions de carbone. À l'inverse, la France et le Japon brûlent relativement peu de carbone, mais pour des raisons différentes : au Japon, on y est parvenu, pour une large part, en restructurant le système énergétique (le pétrole et le gaz naturel ont remplacé le charbon) et en France en substituant le nucléaire à l'énergie fossile. Enfin, la Chine et l'Inde sont deux pays qui se développent rapidement et où l'énergie fossile n'a pas encore complètement remplacé les sources traditionnelles d'énergie, et la consommation spécifique d'énergie et de carbone y demeurent très élevée. À eux cinq, ces pays sont responsables de près de la moitié de la consommation d'énergie et des émissions de dioxyde de carbone d'origine énergétique dans le monde.

C. Concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère

34. Les séquelles de cette considérable expansion des utilisations de combustibles (fossiles surtout) font que depuis le début de la révolution industrielle, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est passée de 280 ppmv (parties par million en volume) à plus de 358 ppmv.

35. Les pays industrialisés sont responsables d'une grande partie (60 %) des émissions actuelles de dioxyde de carbone. Les émissions passées leur sont également en grande partie imputables. Bien que situées à des niveaux absolus beaucoup moins élevés, les émissions de ce gaz dans les pays en développement augmentent plus rapidement que dans les pays développés. Depuis 1850, environ 240 gigatonnes de carbone-élément (GtC) ont été rejetées dans l'atmosphère par suite de la production d'énergie. C'est beaucoup plus que la quantité de carbone mise en circulation par suite du déboisement et de la modification de l'utilisation des sols, estimée à 120 GtC pour la même période.

36. L'important fossé qui sépare dans ce domaine les pays développés des pays en développement se creuse encore si l'on considère la dimension historique : le carbone reste très longtemps dans l'atmosphère et l'on estime que 84 % du dioxyde de carbone d'origine fossile libéré depuis 1800 dans l'atmosphère, et s'y trouvant encore, provient des émissions des pays aujourd'hui industrialisés. La part des pays en développement dans l'accumulation dans l'atmosphère du dioxyde de carbone libéré par la consommation d'énergie est, avec 16 %, d'autant plus faible qu'environ 70 % des hommes ayant vécu après 1800 ont habité ou habitent dans ces pays. L'écart entre pays industrialisés et pays en développement semble toutefois se combler lorsqu'on analyse les augmentations des concentrations atmosphériques en tenant compte de toutes les sources de pollution et de tous les gaz à effet de serre.

37. La principale source des émissions de carbone dues aux combustibles fossiles est le charbon, avec environ 43 % du total, suivi du pétrole, à peu près 39 %, et du gaz naturel, 18 %. Si l'on tient compte des combustibles

fossiles utilisés pour autre chose que la production d'énergie, comme les matières premières industrielles, les parts du charbon et du pétrole s'inversent, soit 40 % et 42 % respectivement.

IV. IMPACTS SUR L'ATMOSPHÈRE DES GAZ À EFFET DE SERRE

A. Explication scientifique du changement climatique

38. Les gaz présents à l'état de trace dans l'atmosphère aident à réguler la température de la Terre. Le rayonnement du soleil est la source d'énergie qui anime le système climatique. C'est lui qui réchauffe la surface de la planète. La majeure partie de cette énergie se trouve dans la partie visible du spectre électromagnétique. Pour compenser celle du soleil, la terre doit émettre la même quantité d'énergie dans l'espace, en la libérant dans la partie infrarouge du spectre. Une partie de la chaleur réfléchie est retenue par les gaz présents à l'état de trace dans l'atmosphère, produisant l'"effet de serre". L'atmosphère est en majorité constituée d'azote et d'oxygène, deux éléments transparents au rayonnement infrarouge. Les gaz les plus absorbants sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, à l'origine de 90 % de l'effet de serre naturel. Le méthane, l'oxyde nitreux et l'ozone troposphérique sont eux aussi des gaz à effet de serre.

39. Depuis le début de la révolution industrielle, les activités humaines ont eu pour effet non seulement d'augmenter les concentrations atmosphériques de gaz ayant naturellement un effet de serre mais aussi d'en créer. Les émissions anthropiques de chlorofluorocarbones (CFC) produisent aussi un effet de serre, ce phénomène étant quelque peu compensé par la diminution, depuis les années 70, de l'ozone de la basse stratosphère due aux CFC et aux halons. Les activités humaines ont eu sur les concentrations de gaz à effet de serre une influence à la fois directe, par les émissions anthropiques de dioxyde de carbone, de méthane, d'oxyde nitreux et de CFC, et indirecte, en modifiant la délicate chimie atmosphérique, notamment par des concentrations plus élevées de vapeur d'eau dans la stratosphère, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et l'augmentation des concentrations d'ozone dans la troposphère.

40. De même, les activités humaines ont un impact sur la quantité d'aérosols présents dans l'atmosphère, qui, eux aussi, influencent le climat. Ces particules renvoient une partie du rayonnement solaire dans l'espace, avec pour effet de refroidir la surface de la terre. De plus, bon nombre d'entre elles se comportent comme des noyaux de condensation des gouttelettes d'eau des nuages et modifient ce faisant la réflexion et l'absorption du rayonnement solaire par les nuages. Les aérosols naturellement présents dans l'atmosphère y ont été projetés par l'éruption des volcans ou le vent des déserts. Le dioxyde de soufre libéré par les centrales à charbon et la combustion de la biomasse est la principale source d'aérosols résultant de l'activité humaine. On pensait auparavant que les effets de ce phénomène se limitaient à la formation de brouillard au niveau local et de pluies acides à l'échelon régional. Des études récentes du GIEC montrent que l'augmentation des concentrations de dioxyde de soufre atténuent partiellement le réchauffement net du climat résultant de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Mais les effets des aérosols n'annulent pas les effets à l'échelle planétaire des gaz à effet de

climatiques peuvent encore survenir, en particulier lorsqu'on contrôlera efficacement les émissions d'aérosols pour lutter contre la pollution atmosphérique aux niveaux local et régional.

41. L'analyse des températures enregistrées à la surface de la terre indique un réchauffement mondial moyen de 0,3 à 0,6 degrés Kelvin au cours des 100 dernières années. Le fait que les températures minimales aient davantage augmenté que les températures maximales semble lié à l'augmentation, dans le même temps, des nuages de basse altitude et des aérosols ainsi qu'à un effet de serre plus marqué. Par ailleurs, on a officiellement enregistré depuis le début des années 80 les sept années les plus chaudes. De même, les 15 dernières années ont probablement été en moyenne les plus chaudes de ces six derniers siècles. On sait aussi que les 240 GtC de dioxyde de carbone rejetées dans l'atmosphère par la combustion de combustibles fossiles et les 120 GtC provenant du déboisement et de la combustion de la biomasse ont augmenté d'environ 28 % la teneur en carbone de l'atmosphère par rapport aux niveaux de concentration d'avant l'ère industrielle. Les concentrations d'autres gaz à effet de serre, comme le méthane, l'oxyde nitreux et les CFC ont elles aussi notablement augmenté. Leur effet total combiné, sans celui de la vapeur d'eau, équivaut actuellement à une augmentation de près de 50 % de dioxyde de carbone.

42. Il n'est malheureusement pas possible de déterminer avec certitude l'impact total de la concentration accrue des gaz à effet de serre et les autres incidences de l'activité humaine sur le climat. On utilise des modèles théoriques de l'atmosphère pour calculer l'augmentation de la température mondiale moyenne correspondant à un réchauffement compris entre 0,8 et 2,2 degrés Kelvin. L'inertie du système climatique par rapport au rythme relativement rapide de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre ralentit de 30 à 50 % le changement climatique qui devrait en résulter. De plus, les émissions anthropiques d'aérosols, de dioxyde de soufre principalement, diminuent de 20 à 40 % le réchauffement mondial théorique. C'est ainsi que le changement constaté, entre 0,3 et 0,6 degrés Kelvin, se situe à la limite inférieure de ce qui serait théoriquement prévu.

43. Étant donné qu'il est difficile de prévoir l'ampleur et la répartition géographique du changement climatique, calculer les niveaux potentiellement "dangereux" d'intervention humaine est davantage un problème de choix d'une politique qu'un problème scientifique. Les êtres humains se sont adaptés avec plus ou moins de bonheur à la variabilité du climat dans le passé. Puisque l'incertitude reste grande quant à la localisation, la rapidité et l'ampleur des répercussions du changement climatique et les éventuels effets bénéfiques, la présente analyse portera principalement sur les stratégies qui permettraient de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre à différents niveaux possibles.

44. L'objectif de stabilisation des gaz à effet de serre pose un certain nombre de problèmes. On sait qu'à des niveaux plus élevés, les concentrations de la plupart des gaz à effet de serre se maintiennent dans l'atmosphère entre 50 et 100 ans. (Le méthane est une exception puisqu'il a une durée de vie d'à peine plus de 10 ans.) Il s'ensuit deux conséquences importantes pour le développement durable. D'une part, il faudra encore au moins un demi-siècle pour que le réchauffement dû à l'effet de serre diminue de façon notable après

qu'on aura stabilisé les concentrations des gaz qui en sont responsables. D'autre part, l'échelle temporelle du changement climatique et la durée de vie dans l'atmosphère de la plupart des gaz équivalent à peu près au temps nécessaire pour remplacer les gros équipements, dont le système énergétique. Il faudra de nombreuses décennies, voire des siècles, pour que les concentrations se stabilisent et une durée équivalente pour que les températures fassent de même.

B. Ampleur des futures émissions

45. En ce qui concerne les éventuels changements climatiques, l'objectif scientifique consiste essentiellement à élaborer différents scénarios d'émissions couvrant une gamme suffisamment large de niveaux de concentration atmosphérique de gaz à effet de serre. Il devient alors possible de formuler précisément différentes stratégies énergétiques correspondant chacune à un certain niveau de concentration et, ce faisant, favoriser les politiques visant à stabiliser les concentrations à un niveau propre à prévenir toute intervention dangereuse pour le système climatique.

46. Il ressort de l'analyse de différents scénarios, que le cumul des émissions dans le temps est le principal élément qui permette d'évaluer le niveau des futures concentrations de gaz à effet de serre. Ce qui signifie que l'évolution dans le temps des différentes catégories d'émissions n'est pas très importante tant que leur quantité totale ne varie pas pendant une période donnée. Tous les scénarios conduisant à une stabilisation prévoient des émissions ne dépassant pas 3 GtC par an. Ce niveau correspond à la capacité d'absorption naturelle du dioxyde de carbone libéré dans l'atmosphère.

47. Les différents scénarios entraînant une stabilisation à environ 450 ppmv prévoient tous une quantité cumulée d'émissions atteignant 600 GtC environ en l'an 2100. Dans les scénarios où les émissions dépassent 1000 GtC, les concentrations sont supérieures à 550 ppmv, soit plus du double des niveaux d'avant l'ère industrielle. Au-delà de 1000 GtC, les concentrations ne se stabilisent pas. Par comparaison, la teneur actuelle en dioxyde de carbone de l'atmosphère est de 760 GtC. En conséquence, pour que la consommation énergétique soit soutenable à terme, compte tenu de la compréhension actuelle du risque de changement climatique, les émissions cumulées de carbone ne devront pas excéder 1000 GtC en 2100. La plupart des scénarios débouchant sur des quantités semblables d'émissions prévoient l'adoption de mesures ambitieuses pour modifier la structure des futurs systèmes énergétiques de façon à réduire l'impact sur l'environnement tout en utilisant suffisamment d'énergie pour permettre le développement économique de la planète.

V. CHOIX TECHNIQUES EN MATIÈRE D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION

48. Les choix techniques qui s'offrent en matière d'atténuation et d'adaptation doivent être assez variés et exhaustifs compte tenu de la multitude de polluants, de l'omniprésence des émissions dans un grand nombre d'activités humaines et surtout à l'échelle temporelle des changements climatiques éventuels. Contre les effets nocifs des émissions, le choix le plus évident consiste à réduire le volume de celles-ci.

49. Les émissions globales produites par le système énergétique dépendent de la structure et du rendement de la source, de la conversion et de l'utilisation finale de l'énergie. Il est possible de réduire les émissions en améliorant le rendement, en changeant de combustible et en passant à des formes d'énergie plus propres, et en réduisant par divers procédés techniques les polluants émanant de grandes sources ponctuelles. Il est également possible d'atténuer les effets des polluants en élargissant les puits des gaz à effet de serre et en adoptant des mesures d'adaptation. Ces divers choix sont évalués ici.

A. Possibilités d'amélioration des rendements

50. Les améliorations de rendement constituent le choix le plus indiqué. La fourniture de services énergétiques ayant un meilleur rendement réduit non seulement la quantité d'énergie primaire requise, mais également les effets nocifs des polluants sur l'environnement, la consommation de ressources et les coûts énergétiques. Elles correspondent généralement aussi à la solution la plus susceptible d'atténuer les effets sur l'atmosphère. Le rendement énergétique peut être plus ou moins accru; cela dépend quelquefois de divers facteurs techniques mais correspond plus souvent à un choix économique et social, c'est-à-dire au mode de vie et par conséquent aux types de services énergétiques demandés et offerts.

51. Vers 1900, la génération de l'électricité produite avait un rendement d'environ 5 % contre 36 % environ actuellement dans les pays de l'OCDE et les meilleures centrales électriques à cycle combiné alimentées au gaz naturel peuvent avoir un rendement supérieur à 50 %. Le rendement total moyen de la conversion de l'énergie primaire en énergie utile au niveau mondial est d'environ 34 %. Les rendements les plus élevés sont obtenus dans la conversion des combustibles en énergie secondaire. Le rendement des raffineries de pétrole est d'à peu près 90 % et les pertes subies en moyenne lors de la conversion, du transport et de la distribution de l'énergie sont assez faibles, avec un rendement se situant entre 60 et près de 90 %.

52. Somme toute, les processus de conversion de l'énergie primaire en énergie finale ont un rendement assez élevé qui est de l'ordre de 74 % en moyenne au niveau mondial. Par contre, le rendement de conversion de l'énergie de sa forme finale à sa forme disponible, au stade de la consommation, est faible et tourne autour de 46 % au niveau mondial. C'est généralement au stade de l'utilisation finale que le gaz naturel et l'électricité ont le rendement le plus élevé et au stade de la conversion de l'énergie primaire en énergie finale qu'il est le plus bas. Les rendements les plus bas au stade de l'utilisation finale sont ceux de la biomasse avec environ 17 %, principalement à cause de la prédominance dans les pays en développement de méthodes traditionnelles de conversion au stade de l'utilisation finale. Le rendement global du passage de l'énergie primaire par rapport à l'énergie disponible est de 34 % au niveau mondial. Les chiffres correspondants sont de 22 % dans les pays en développement et de 42 % dans les pays à économie en transition. Ce qu'il faut surtout retenir dans l'ensemble, c'est que c'est au stade de l'utilisation finale que le rendement est le moins élevé dans tous les systèmes d'énergie et que c'est là que les améliorations présenteraient le plus d'avantages. Même les techniques aux rendements les plus élevés risquent de ne pas répondre aux modes

de vie gourmands en énergie qui prévalent dans les pays à économie de marché très prospère.

53. C'est dans les pays en développement suivis des pays en transition que le potentiel relatif d'amélioration de rendement est le plus grand en raison, dans ces régions, de modèles économiques traditionnels et de techniques d'utilisation finale de l'énergie à faible rendement. Des techniques dépassées, et surtout une pénurie chronique de capitaux, limitent le remplacement de techniques obsolètes et les investissements dans de nouvelles techniques à meilleur rendement énergétique. En dépit de leur dotation en capital énergétique somme toute plus moderne et de meilleur rendement, les pays industrialisés de l'OCDE continuent d'avoir, en chiffres absolus, les meilleures chances d'améliorer leur rendement énergétique.

54. En améliorant le rendement énergétique, on arrive généralement à réduire l'exploitation des ressources et les impacts sur l'environnement pour tous les polluants et sur toutes échelles spatiales et temporelles. La décarburation permettrait aussi de réduire la pollution mondiale, régionale et locale liée à la production et à l'utilisation d'énergie. Outre les rendements accrus et l'énergie plus propre, on a aussi adopté avec succès des systèmes antipollution aux grandes sources ponctuelles, et plus récemment à des sources mobiles. Il s'agit notamment d'épurateurs de soufre et d'azote dans les centrales électriques et de réacteurs catalytiques pour les véhicules à moteur.

55. Un moyen d'améliorer le rendement énergétique consisterait à déterminer la quantité minimum d'énergie théoriquement nécessaire pour accomplir une tâche donnée, comme le définit la deuxième loi de la thermodynamique (on parle alors d'analyse exégétique). Ce type d'analyse est extrêmement utile car elle permet de déterminer les domaines où les rendements pourraient être le plus améliorés. Il s'agit là également des domaines où l'on aura la possibilité maximale de réduire les émissions découlant de l'utilisation de sources d'énergie fossile.

56. Plusieurs études partent de ce concept : elles démontrent que le rendement de l'énergie primaire transformée en services fournis est très bas. Le rendement global de l'énergie primaire transformée en services énergétiques effectifs aux États-Unis serait de 2,5 %⁹. D'autres estimations établies pour divers pays s'inscrivent entre 15 et 23 %¹⁰. Les estimations mondiales et régionales varient de 10 à moins de 5 %¹¹.

57. Ces résultats indiquent que le rendement pourrait théoriquement être très fortement amélioré, par facteur qui varie de 5 à 20. Pratiquement, cela dépend de nombreux éléments, notamment du développement, du transfert et de la diffusion de technologie, de la disponibilité de capitaux, et d'incitations économiques et réglementaires appropriées, y compris l'élimination des entraves et des subventions qui entraînent des effets de distorsion. Cela présuppose de plus la disponibilité de ressources financières et l'existence d'incitations adéquates.

B. Changement et substitution de combustibles

58. On pourrait beaucoup réduire les émissions en remplaçant les combustibles fossiles très polluants par des combustibles plus propres. C'est ainsi que le

passage du charbon au gaz naturel réduit à la fois les émissions de dioxyde de carbone, de particules et de dioxyde de soufre, qui sont d'importants polluants aux échelles locale et régionale. Il est difficile de déterminer avec précision la réduction de la quantité d'émissions qu'une substitution de combustibles rendrait possible. Les possibilités de substitution de combustibles pourraient être limitées par les ressources disponibles au niveau régional, les possibilités commerciales, les écarts de prix et diverses considérations géopolitiques. Les perspectives de substitution de combustibles à court terme sont plutôt limitées par le développement d'autres sources d'approvisionnement en énergie, les installations de conversion, les dispositifs antipollution installés à la source polluante; en outre le renouvellement des équipements prend un temps considérable.

59. Les possibilités de réduire les émissions augmentent nettement à plus long terme. Les émissions de carbone d'ici à la fin du XXI^e siècle – à supposer que l'on utilise le gaz naturel comme combustible de transition et qu'il y ait une forte pénétration du marché par le nucléaire et les sources renouvelables, relativement peu coûteux – pourraient n'être que de l'ordre de 7 GtC contre 22 GtC en se fondant sur les mêmes hypothèses mais en utilisant par contre du charbon et des combustibles de synthèse. Dans un cas comme dans l'autre, la demande mondiale d'énergie devrait quintupler. Le capital incorporé dans les gros équipements énergétiques et les ressources disponibles au niveau régional tendent à dissuader de tirer parti des possibilités qu'offre la substitution des combustibles. Compte tenu de ce facteur limitatif, cette formule serait pourtant plus efficace si on l'alliait à de vigoureux efforts visant à améliorer les rendements et à l'épuration et à l'élimination du carbone.

C. Changements structurels

60. Cette formule consiste à transformer la structure même du système énergétique en le faisant passer des combustibles fossiles dont l'usage prédomine actuellement à des sources d'énergie dépourvues de carbone, comme l'énergie solaire et nucléaire, ou à des sources de carbone ayant un effet neutre sur l'atmosphère, comme l'utilisation écologiquement rationnelle de la biomasse. Les vastes possibilités ainsi offertes de réduire les émissions pourraient même à long terme dépasser celles liées à l'amélioration des rendements. Des études indiquent qu'à terme, il serait possible de restructurer entièrement le système énergétique mondial en éliminant l'utilisation de combustibles fossiles, surtout en accompagnant cette restructuration de vigoureuses mesures de conservation et d'amélioration du rendement énergétique. Dans la pratique, de nombreux facteurs limitent les possibilités d'atténuation des effets sur l'atmosphère : coûts élevés, l'absence de techniques adéquates et de capitaux suffisants, et d'autres contraintes relatives aux ressources. C'est ainsi que les possibilités d'atténuer les effets des polluants à l'échelle mondiale grâce à l'utilisation de la biomasse pourraient être limitées par la concurrence entre l'utilisation des terres à des fins agricoles et leur utilisation pour créer "des fermes énergétiques".

61. L'une des analyses les plus systématiques du potentiel à long terme des sources d'énergie renouvelables et nucléaires a été effectuée pour le Congrès du Conseil mondial de l'énergie à Tokyo 1995. Une série de scénarios d'évolution de la demande ont été examinés au regard de diverses options portant sur

l'approvisionnement en énergie. L'étude a également examiné les échanges internationaux, la disponibilité et les coûts d'acquisition des techniques ainsi que d'autres problèmes. Il ressort de cette étude que pour que les formules retenues puissent réduire vraiment et durablement la pollution atmosphérique, il faut très vite lancer des travaux concertés de recherche-développement. Des démonstrations de techniques au niveau de marchés constituant de nouveaux créneaux, pour faciliter l'acquisition des connaissances technologiques et réduire les coûts, doivent être effectuées pour rendre ces choix plus compétitifs que les combustibles fossiles, en particulier pour ce qui est des sources d'énergie renouvelables et de la biomasse. Dans le cas de l'énergie nucléaire, il conviendrait de rassurer le public au sujet de la sécurité, de l'évacuation des déchets et de la prolifération. Par conséquent, le changement structurel correspondrait également à un choix plus avisé s'il était soutenu par une vigoureuse volonté de relever les rendements énergétiques.

D. Contrôle de grandes sources ponctuelles d'émissions

62. Cette méthode consiste essentiellement à réduire les émissions émanant de centrales électriques et de vastes installations de conversion de l'énergie. Cette méthode offre de très réelles possibilités de réduire les émissions. Parmi les mesures éventuelles de contrôle figurent notamment l'utilisation de laveurs pour l'élimination du dioxyde de carbone, mesure qui s'applique principalement aux grandes centrales électriques alimentées par des combustibles fossiles et à certains processus industriels. Dans la plupart des cas, il est démontré qu'il est possible de limiter les émissions même si les coûts restent souvent prohibitifs.

63. Pour stabiliser les concentrations de méthane dans l'atmosphère, il faudrait réduire de 5 % les émissions anthropiques actuelles, ce qui correspondrait à peu près à un quart du méthane rejeté dans l'atmosphère par le secteur de l'énergie. Selon les estimations actuelles, il est possible de réduire de 10 % les émissions anthropiques de méthane à un coût négatif ou faible. C'est dans le domaine de la gestion des déchets et de l'agriculture que les possibilités sont les plus intéressantes. L'épuration du dioxyde de carbone émanant des gaz de cheminée demeure une stratégie d'atténuation à grande échelle d'un coût prohibitif. La possibilité d'épurer et ensuite d'éliminer le dioxyde de carbone reste à démontrer sur une grande échelle.

64. En outre, la question du stockage de quantités énormes de dioxyde de carbone qu'il faudrait piéger pendant peut-être des milliers d'années reste non résolue. On peut pour l'utilisation, l'évacuation et le stockage du dioxyde de carbone notamment opter pour la formule de la récupération secondaire du pétrole, du stockage dans des gisements de gaz naturel épuisé et autres réservoirs souterrains, de l'utilisation dans la chimie organique ou comme matière première d'autres secteurs, ou encore de l'immersion au fond de l'océan. Tous ces choix comportent des risques de fuite à long terme, des coûts souvent inconnus et surtout des effets sur l'environnement également inconnus.

E. Élargissement des puits et milieux récepteurs naturels

65. L'élargissement des puits naturels est de portée limitée comme méthode visant à atténuer les effets des gaz à effet de serre qui sont absorbés par des puits naturels, comme le dioxyde de carbone. De grandes quantités de dioxyde de carbone sont constamment soustraites à l'atmosphère par des processus naturels comme la photosynthèse, l'altération des roches et l'absorption par les océans. L'accroissement de la concentration de gaz à effet de serre indique cependant que les émissions ont, en raison des activités anthropiques, dépassé la capacité d'absorption des puits. L'élargissement des puits naturels peut se faire de diverses manières. On peut notamment avoir recours à ce qu'on appelle "la géo-ingénierie", le stockage au fond des océans, l'altération des roches, ou la "ferro-fécondation" du plancton océanique. On ignore si ce sont là de vraies solutions ou si elles auraient au contraire de graves conséquences sur l'environnement. La solution la plus importante correspond notamment à la préservation et l'élargissement des puits terrestres du carbone. La végétation constitue le milieu récepteur le plus vaste. Elle absorbe le dioxyde de carbone par photosynthèse. Ce qu'il faut manifestement faire, c'est freiner le déboisement à l'échelle mondiale et favoriser davantage la croissance de la végétation.

66. Les quantités de carbone qui ont été libérées dans l'atmosphère en raison des changements intervenus dans l'affectation des sols au cours des années 80, notamment en raison du déboisement, sont de l'ordre de 0,6 à 2,8 GtC par an, contre environ 6 GtC provenant des émissions dues à la combustion des combustibles fossiles. Outre les émissions de dioxyde de carbone, le déboisement et brûlage de la biomasse dont il s'accompagne libèrent d'autres gaz qui ont un effet de serre direct ou indirect, notamment le méthane, les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone.

67. Des scénarios indicatifs montrent que les taux actuels de déboisement risquent d'accroître considérablement les futures émissions de gaz à effet de serre, si les mesures voulues ne sont pas prises. Les émissions de dioxyde de carbone pourraient osciller entre 3 et 5 GtC par an au cours du siècle prochain, ce qui risquerait de détruire la plupart des ressources forestières de la planète et de faire disparaître pratiquement les forêts tropicales. Le scénario-catastrophe prévoit que jusqu'à 340 GtC pourraient être rejetées dans l'atmosphère au cours du siècle prochain. La teneur actuelle de l'atmosphère en carbone est d'environ 760 GtC. Par contre, entre 100 et 150 GtC pourraient être retirées de l'atmosphère au cours de la même période grâce à un programme de reboisement mondial vigoureux. Les coûts de reboisement peuvent par contre varier sensiblement d'une région à l'autre, et dans certains cas d'un facteur 30. Les effets sur les marchés mondiaux du bois seraient également considérables. Différentes stratégies régionales peuvent par conséquent être imaginées pour équilibrer les effets d'un programme mondial de fixation du carbone. Du point de vue de la protection de l'atmosphère et du cycle du carbone donc, le ralentissement et l'arrêt du déboisement semblent être une priorité plus immédiate pour l'élargissement des puits.

F. Mesures d'adaptation

68. Ce choix correspond à une série de nombreuses mesures préventives précises destinées à permettre aux populations et aux écosystèmes naturels de s'adapter à un changement climatique éventuel. Ce choix pourrait être conjugué à des mesures d'atténuation ou servir de dernier recours en cas de changement climatique inévitable et important. Les mesures d'adaptation ne visent pas à protéger l'atmosphère mais plutôt à réduire les effets nocifs des perturbations écologiques éventuelles dues à l'action de l'homme sur le système climatique. Elles sont liées à l'inertie du système climatique, notamment aux effets cumulatifs des émissions anthropiques, aux longs retards qui surviennent entre le processus de négociation politique, les moyens d'action et la réduction des émissions obtenue et au temps considérable qui s'écoulera entre la stabilisation des concentrations de polluants atmosphériques et la stabilisation du climat. Tout compte fait, même dans le cas des choix les plus ambitieux, certains changements climatiques sont l'inévitable conséquence du passé, de la dépendance actuelle et à moyen terme à l'égard des combustibles fossiles et des longs délais de réaction du système climatique.

69. Les populations et la plupart des écosystèmes ont une capacité naturelle de s'adapter aux changements climatiques. Pour les écosystèmes naturels, l'adaptation aux changements écologiques intervient naturellement, quoiqu'à un rythme très lent. Aussi, le rythme auquel les changements climatiques interviennent paraît-il plus important que les changements absolus au niveau du climat. La possibilité qu'a l'homme d'intervenir pour faciliter ou accélérer l'adaptation naturelle peut être considérée comme limitée, parmi certaines mesures telles que la préservation des couloirs de migration de la végétation. C'est la principale raison pour laquelle les récentes études effectuées sur les effets climatiques considèrent les écosystèmes naturels comme étant les plus vulnérables aux changements climatiques provoqués par l'homme.

70. Les possibilités d'adaptation des systèmes socio-économiques sont pratiquement illimitées dans les limites des changements écologiques et climatiques prévus au cours du siècle prochain. Après tout, l'homme s'accommode de régimes climatiques beaucoup plus contrastés que ceux que font attendre les prévisions de changement climatique les plus pessimistes. Mais cette adaptation nécessite des ressources, une recherche appliquée appropriée, de meilleures informations et de meilleures habitudes de gestion, et un savoir-faire et du temps suffisants. Il faudra peut-être bouleverser complètement des choses aussi différentes que les cultures pratiquées et les itinéraires aériens et maritimes. Enfin, certains types d'adaptation pourraient entraîner des dépenses considérables, comme la protection des zones côtières basses de la montée du niveau des océans, le déplacement de certaines infrastructures ou l'aménagement de vastes enclos protégés.

VI. SITUATION PARTICULIÈRE DANS DIFFÉRENTES RÉGIONS DU MONDE

71. La capacité d'atténuation des effets des polluants et d'adaptation aux changements écologiques résultant de la production et de l'utilisation de l'énergie varie considérablement suivant les régions et les pays. En dépit des nettes distinctions entre les pays, la section suivante tente de faire la

synthèse des effets des changements écologiques mondiaux et des problèmes de développement énergétique durable propre à chacun des trois groupes régionaux.

72. La plupart des pays de l'OCDE se caractérisent par des économies ayant atteint leur maturité et très développées, ont des revenus, une consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre très élevées et figurent parmi ceux qui ont contribué le plus jusqu'ici aux émissions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation de l'énergie. Ce sont également ceux qui sont le mieux à même à moyen terme de réduire ces émissions, ceux qui disposent des plus grands moyens financiers et technologiques pour atténuer leurs effets et s'adapter et généralement aussi ceux qui sont les moins vulnérables aux effets de ces émissions sur leur environnement.

73. Bien que très industrialisés, les pays à économie en transition se distinguent par certaines particularités. Le processus de transition a causé des perturbations et dure plus longtemps que prévu. Entre 1990 et 1994, la production économique conjuguée de ces pays a chuté de quelque 40 %. La demande d'énergie primaire a par conséquent baissé de quelque 25 % au cours de la même période et les émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie de quelque 30 %. Ces pays sont donc sans doute encore bien loin de la stabilisation des émissions que la Convention-cadre sur les changements climatiques a prescrite dès maintenant ou pour un proche avenir. En outre, d'autres exigences sociales et économiques plus pressantes ainsi que de graves problèmes de capitaux ont rendu toute mesure spécifique ou supplémentaire d'atténuation ou d'adaptation moins prioritaire. En même temps, le processus de restructuration économique ouvre d'autres possibilités d'améliorer le rendement et d'introduire des changements structurels dans le secteur de l'énergie.

74. On estime que les effets éventuels des changements climatiques dans la région ne seraient pas tous négatifs. Toutefois, on s'attend à ce que les changements climatiques soient lourds de conséquences pour la plupart des écosystèmes naturels non gérés par l'homme, en particulier les forêts boréales. Il se pourrait également que du méthane soit libéré du permafrost dans l'atmosphère, principalement dans les terres de la toundra et sous forme de clathrates de méthane, ce qui pourrait accroître considérablement l'effet de serre en raison des vastes quantités de méthane piégées dans le permafrost et du caractère fortement radiatif du méthane.

75. Les pays en développement ont un triple problème. Premièrement, leur contribution passée et présente au stress environnemental mondial lié à l'énergie est encore faible, mais devrait s'accroître, compte tenu des exigences du développement économique et social. La part des pays en développement dans les émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie devrait dépasser 50 % entre les années 2035 et 2045, et se situer entre 64 et 71 % des émissions mondiales d'ici à la fin du XXI^e siècle.

76. Le deuxième problème a trait à la plus grande vulnérabilité des pays en développement à d'éventuels changements climatiques. Diverses études s'accordent sur le fait que les dégâts résultant des changements climatiques représentent une part plus significative des activités économiques des pays en développement que des pays industrialisés. Ces pays sont également plus tributaires d'activités soumises aux aléas climatiques comme l'agriculture. Les

effets des changements climatiques devraient être également plus grands dans les pays en développement en raison des multiples dégâts écologiques et autres, y compris la pauvreté, la croissance démographique, la pollution, la désertification, le développement industriel et infrastructurel, etc.

77. Le troisième problème est lié aux possibilités d'adaptation qui sont également plus limitées en raison de la faiblesse des revenus nationaux qui se traduit par des budgets de recherche-développement modestes, de graves pénuries de capitaux et des capacités institutionnelles trop limitées pour faire face aux changements climatiques.

VII. INSTRUMENTS PERMETTANT DE CONTRÔLER L'IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES

78. La présente section est consacrée aux obstacles non techniques à la mise en oeuvre des moyens de protéger l'atmosphère ainsi qu'aux dispositions nécessaires pour l'encourager. Il est notamment possible de prendre des mesures commerciales, réglementaires et institutionnelles. Il est peu probable qu'un instrument quelconque soit élaboré et appliqué uniquement pour répondre à des besoins ponctuels de protection de l'environnement. Il est clair que les instruments adoptés doivent être associés aux priorités fixées aux niveaux local et régional en matière de développement, comme l'amélioration des services énergétiques ou la qualité de l'air. Dans certains cas, il faut contrôler la mise en oeuvre des politiques retenues pour veiller à ce que les mesures en question soient appliquées.

A. Politiques visant à assurer la mise en valeur durable des ressources énergétiques

79. Il existe des moyens de sensibiliser le public et les acteurs du secteur privé, ou encore de résoudre en partie d'importantes questions qui subsistent sur les plans scientifique et politique, notamment en ce qui concerne les critères de développement durable à long terme et les problèmes relatifs à l'environnement. La recherche, aux échelons national et international, peut contribuer à élargir le champ des connaissances. La sensibilisation du public est une étape essentielle, car elle permet de créer un climat favorable à l'application des nombreuses mesures nécessaires pour progresser sur la voie du développement écologiquement viable. Si l'on veut réduire de façon draconienne les émissions de polluants liées aux activités industrielles ainsi qu'à la production et à la consommation d'énergie, il est peu probable que l'on puisse se contenter d'une solution unique qui serait universellement adoptée. Il faut donc évaluer toutes les méthodes en prenant en compte le contexte régional, national ou sectoriel dans lequel elles s'inscrivent, l'analyse en question portant sur la totalité du cycle de vie. On ne pourra obtenir des résultats significatifs qu'en combinant plusieurs méthodes et certaines filières technologiques récentes ou améliorées, et en exploitant l'effet de synergie associé. Par exemple, les méthodes permettant à la fois de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'atténuer d'autres menaces qui pèsent sur l'environnement aux niveaux local et régional sont particulièrement intéressantes. Bien entendu, cette optique suppose que l'on adopte une conception holistique de la protection de l'environnement. Elle s'applique à la fois aux problèmes locaux, régionaux et mondiaux.

80. De même, aucune mesure et aucun moyen d'action ne pourront, à eux seuls, permettre de formuler, d'adopter et de diffuser en temps voulu des méthodes visant à atténuer l'impact des activités humaines sur l'environnement. Il faut particulièrement propager les techniques qui favorisent le développement économique sans nuire à l'environnement. Dans les pays en développement, il faudrait donner une priorité absolue aux mesures permettant de renforcer les services énergétiques en quantité et en qualité, d'augmenter le revenu par habitant et d'améliorer les niveaux de vie.

B. Politiques visant à assurer l'efficacité énergétique et à promouvoir la décarburation

81. Il faut donner la priorité aux instruments susceptibles d'améliorer les rendements. On peut obtenir rapidement des résultats notables même en conservant les installations et le matériel existants. En adoptant les meilleures techniques et pratiques actuelles, on peut cependant aller plus loin. On a particulièrement intérêt à rechercher l'amélioration du rendement, car elle offre de multiples avantages : moindre consommation de ressources, atténuation de l'impact sur l'environnement et réduction des coûts du système.

82. Une autre option s'avère très prometteuse : celle qui vise à décarburer le système énergétique. Il s'agit d'utiliser des sources et des vecteurs d'énergie à faible teneur en carbone ou sans carbone. La décarburation est le remplacement de combustibles à forte teneur en carbone, comme le charbon, par des combustibles à teneur en carbone faible ou nulle (énergie nucléaire et la plupart des sources d'énergie renouvelables). Par unité d'énergie primaire produite, il y a alors moins d'émissions. Au niveau mondial, la décarburation progresse au rythme assez lent de 0,3 % par an, alors qu'il faudrait atteindre le taux de 1,9 % pour compenser les effets de la croissance mondiale à long terme de la consommation d'énergie primaire, qui est de 2,2 % par an environ.

C. Instruments économiques et non économiques

83. Les instruments économiques comprennent les taxes, les droits, les exonérations, les subventions (y compris les déductions pour amortissement accéléré), les permis négociables, l'application du principe "pollueur-payeur" et l'internalisation des externalités environnementales. Les instruments non économiques comprennent l'information, la publicité, l'éducation, les normes, la législation, les mesures institutionnelles, les interdictions et les contrôles. En raison du grand nombre d'agents économiques concernés et de la difficulté de mettre au point des mesures économiques d'encouragement équitables, de nombreux pays emploient avec succès des instruments non économiques : normes de construction, normes relatives aux véhicules ou dispositions concernant les émissions de cheminée. La plupart de ces instruments peuvent être utilisés dans les deux sens, c'est-à-dire pour supprimer ou établir des barrières, et pour favoriser ou freiner le progrès. À court terme, il semble que ces instruments constituent un mode d'action privilégié au niveau des utilisations finales de l'énergie.

84. Une combinaison d'instruments ayant des composantes économiques et non économiques remporte depuis peu un certain succès : la planification intégrée des ressources et la gestion de la demande sont imposées aux compagnies de

distribution par les autorités de contrôle, qui cherchent notamment à leur faire vendre non plus de simples kilowattheures, mais des "services énergétiques". Toutes deux favorisent le développement des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité et de production d'énergie thermique pour le chauffage urbain, qui sont susceptibles d'améliorer encore le rendement.

85. Il faut prendre, au niveau international, de nouvelles dispositions institutionnelles. En mettant au point des instruments visant à promouvoir le développement durable et à réduire notablement l'impact des activités humaines sur l'environnement, on ne doit pas s'attendre à ce que les mesures réglementaires en question soient appliquées spontanément, ni s'en remettre aux seules lois du marché. Certains détails restent à négocier.

86. Ce qui est à craindre, ce n'est pas tant l'échec des mécanismes du marché – en raison d'indications erronées ou trompeuses – mais le fait d'être exclu de celui-ci. Très souvent, des questions importantes, telles que les effets d'une activité donnée sur l'environnement (externalités), n'ont aucune influence sur le fonctionnement du marché.

87. En établissant des écozones spéciales, on pourrait éventuellement catalyser et accélérer le développement durable et l'expansion des technologies respectueuses de l'environnement. Il faudrait aussi encourager la mise en place de conditions socio-économiques favorables et utiliser des instruments permettant d'agir à grande échelle sur les marchés, afin de créer un environnement propice aux innovations et à l'expansion de la recherche-développement.

D. Moyens d'action aux échelons régional et national

88. Il faut également prendre en compte le niveau de développement humain, qui varie d'une région à l'autre et se traduit par des impératifs spécifiques dans le domaine social et en matière d'environnement, ainsi qu'une dotation en ressources différente et des équipements économiques et techniques déjà en place. Pour une région riche en ressources hydrologiques éoliennes, en biomasse ou en gaz naturel, on n'emploiera pas les mêmes moyens que pour une région pauvre en ressources énergétiques. Ainsi, si le rejet du dioxyde de carbone en mer, à grande profondeur, s'avère écologiquement acceptable, cette solution intéressera surtout certaines régions côtières. Enfin, la réinjection de dioxyde de carbone dans des champs de gaz épuisés n'est possible que dans les régions productrices de gaz.

89. Jusqu'aux années 80, la législation constituait le principal moyen d'action aux échelons national et régional, mais depuis peu, les stratégies économiques et les approches fondées sur la logique du marché ont gagné du terrain. Les méthodes d'intervention sur le marché au niveau macro-économique visent à établir des mécanismes fiables de fixation des prix et de concurrence. Rien que dans le secteur de l'énergie, on estime que la suppression des subventions, qui faussent le prix du carburant, entraînerait un gain de rendement permettant de réduire les émissions de 18 %. Par ailleurs, il semblerait que la plupart de ces mesures soient également nécessaires pour que les règles du jeu soient équitables.

E. Un financement approprié

90. Ni l'établissement de règles du jeu équitables ni l'adoption de mesures de protection provisoires ne suffisent pour surmonter l'obstacle économique majeur que représente le manque chronique de capitaux, particulièrement sensible dans les pays en développement. Ainsi, un projet susceptible de réduire les coûts de longévité des installations et le niveau des émissions, mais exigeant davantage de capital initial n'obtiendra peut-être pas le financement nécessaire. En outre, les mesures qu'il faudrait prendre dans les domaines de l'énergie et de l'environnement sont souvent en concurrence avec de nombreux autres besoins.

91. Même dans les pays industrialisés, où les projets à fort coefficient de capital obtiennent plus facilement le financement nécessaire, il existe des obstacles majeurs à l'amélioration du rendement énergétique, à la restructuration du secteur de l'énergie et à la décarbonation à l'échelon national. C'est souvent en agissant dans les secteurs autres que celui de l'énergie que l'on obtient les meilleurs résultats. En donnant la préférence aux installations et au matériel d'approvisionnement et de transformation de portée modeste mais produits en série, on pourrait limiter les risques, atténuer les incertitudes et réduire le volume du capital initial nécessaire.

F. Renforcement des compétences et de l'expérience

92. Une autre source de difficulté tient à la disparité qui existe entre régions et entre pays sur le plan des compétences et de l'expérience techniques de base. Il arrive souvent que les pays en développement ne disposent pas des connaissances et du savoir-faire nécessaires pour mettre au point, importer et adopter de nouvelles technologies. La plupart des renseignements dont on dispose sur les méthodes permettant d'atténuer l'impact des activités humaines sur l'environnement et sur les moyens de les appliquer sont formulés en fonction des besoins et de la situation des pays industrialisés, et ne présentent qu'un intérêt limité pour les pays en développement. Il est donc nécessaire de diffuser des informations fiables et objectives sur les technologies disponibles, et d'en fournir des descriptions détaillées; il importe également d'évaluer chaque méthode, y compris du point de vue technique, pour déterminer l'apport qu'elle peut constituer dans diverses situations et face à des besoins différents en matière de développement. Il est donc essentiel de renforcer les capacités au niveau local.

93. Il convient de veiller particulièrement à ce que les technologies utilisées soient appropriées. Il revient aux pays industrialisés d'offrir les premiers débouchés aux technologies respectueuses de l'environnement, afin que les effets d'apprentissage et la réduction des coûts qui en résulte soient exploités au maximum avant que les technologies en question ne soient transférées dans des pays en développement. À l'heure actuelle, les instruments financiers internationaux favorisant le développement économique ne permettent plus d'effectuer les innovations nécessaires dans les pays en développement. Il faudrait donc encourager les initiatives locales et, comme on l'a vu plus haut, renforcer les capacités.

G. Moyens d'action sectoriels ou propres à certaines technologies

94. Les moyens d'action visant l'ensemble du système énergétique comprennent les taxes sur les émissions et sur les produits énergétiques ainsi que les dispositions et normes réglementaires. Si l'on excepte la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, la part de l'approvisionnement énergétique dans les émissions de gaz à effet de serre liées à la production ou à la consommation d'énergie est moindre que celle des utilisations finales. C'est pourquoi la taxe sur le carbone, prélevée en fonction des émissions, pourrait être recueillie principalement au niveau des utilisations finales; le secteur d'approvisionnement en énergie non électrique ne serait ainsi affecté que de manière indirecte. D'autre part, il est essentiel que les mesures réglementaires aient pour unique objectif d'améliorer le système d'évaluation des coûts, en prenant en compte au niveau national l'impact des activités humaines sur l'environnement, et que les mesures en question visent à satisfaire aux critères d'efficacité et aux normes écologiques plutôt qu'à privilégier certaines technologies.

95. On dispose de moyens d'action propres à chaque technologie qui présentent une grande diversité. Ils consistent à mettre au point et à promouvoir des technologies spécifiques et à les combiner pour obtenir des filières technologiques complètes. On y parvient essentiellement en supprimant les obstacles non techniques à l'innovation et à l'adoption de nouvelles technologies et en prenant des dispositions visant à encourager la conception et la diffusion.

96. L'établissement de manuels, de modes d'emploi et de programmes fait partie intégrante du renforcement des compétences et du savoir-faire au niveau local, ceux-ci devant être acquis au moyen de l'enseignement scolaire, de la formation et de la mise en pratique. Il est capital que les connaissances techniques soient assimilées au niveau des individus. Cela détermine non seulement l'aptitude à retirer de la technologie des bénéfices sociaux et économiques mais aussi la faculté d'innover et d'adapter de nouvelles technologies et pratiques. En conséquence, le renforcement des capacités et la mise en valeur des ressources humaines devraient constituer une priorité absolue de tout programme d'élaboration et de transfert de technologies, l'accent étant mis sur l'acquisition de connaissances spécialisées dans le domaine concerné.

97. Le passage du stade de l'expérimentation et de la mise au point à celui de la commercialisation et de la diffusion constitue une autre étape décisive. On dispose des moyens d'action suivants : exemption de taxes, subventions avec clause d'extinction, primes d'excellence technique, subventions à l'utilisateur final, promotion de la gestion intégrée des ressources et, si nécessaire, mesures provisoires de protection. Il importe encore plus d'éliminer les obstacles à l'innovation tels que les subventions visant à protéger des technologies plus anciennes et les autres entraves à l'implantation sur les marchés. En matière de recherche-développement, il convient d'assurer un financement approprié et stable pour les technologies nécessitant un long délai de mise en oeuvre, en spécifiant clairement l'affectation des ressources. Il est d'autant plus important de prendre cette précaution lorsqu'il s'agit d'élaborer toute une gamme de nouvelles technologies.

98. Lorsqu'on modifie radicalement le mode de production, le système énergétique et les technologies employées, processus parfois qualifié de surenchère technologique, il est essentiel de prendre en compte les coûts sociaux supplémentaires qu'occasionne la mise en place de nouvelles infrastructures et de structures d'appui. On est parfois gêné par la nécessité de maintenir à la fois l'ancien système et le nouveau durant la période de transition, ce qui entraîne également une augmentation du coût social et parfois une détérioration de la qualité des services. Il est donc important que le gouvernement ou un organisme public compétent s'attache à promouvoir le nouveau système et à éliminer les obstacles, y compris les moins apparents, jusqu'à l'étape de la commercialisation.

99. Lorsqu'une nouvelle technologie est lancée sur le marché, il faut employer de nouveaux moyens d'action pour favoriser la flexibilité et la réduction des coûts durant la phase d'apprentissage. Pour les technologies modulaires et flexibles, on peut obtenir une réduction notable des coûts en misant sur l'apprentissage par la pratique, mais dans d'autres cas, par exemple lorsqu'il s'agit de produire de l'énergie en grande quantité à partir de la biomasse, le gain peut être moindre.

100. Un fonctionnement à plus grande échelle soulève d'autres difficultés, ce qui est particulièrement fréquent au niveau de l'approvisionnement en énergie. Le plus souvent, chaque génération de technologie tend à résoudre les vieux problèmes mais en crée de nouveaux. Si l'on souhaite que les instruments utilisés pour améliorer les conditions de vie tout en protégeant l'environnement ne soient pas une source de nouvelles difficultés, il convient d'agir avec une très grande précaution.

Notes

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

² Nabojša Nakićenović et Arnulf Grübler, 1996. "Energy and protection of the atmosphere", document établi par l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués, Laxenburg (Autriche).

³ Protocole de Montréal (...) à la Convention de Vienne relative à la protection de la couche d'ozone (Recueil des Traités, vol. 26, 1987).

⁴ V. Smil, 1994. Energy in World History, Boulder (États-Unis d'Amérique), Westview Press.

⁵ D. O. Hall, 1991. "Biomass energy", Energy Policy, octobre 1991, p. 711 à 736.

⁶ Agence internationale de l'énergie, 1994a. Statistiques et bilans énergétiques des pays membres et non membres, 1971-1992, Paris, OCDE.

⁷ Banque mondiale, Rapport sur le développement dans le monde, 1992 : développement et environnement (New York, Oxford, 1992).

⁸ BP Statistical Review of World Energy (Londres), 1995 (et numéros antérieurs). Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués et Conseil mondial de l'énergie, 1995. Global Energy Perspective to 2050 and Beyond. Londres, Conseil mondial de l'énergie.

⁹ Ayres, R. U., 1988. Energy Inefficiency in the US Economy: A New Case for Conservation, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh (États-Unis d'Amérique).

¹⁰ GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (deuxième rapport d'évaluation), 1995. Synthèse des informations scientifiques et techniques se rapportant à l'interprétation de l'article 2 de la Convention-cadre sur les changements climatiques, Genève.

¹¹ P. V. Gilli, N. Nakićenović et R. Kurz, 1995. "First- and second law efficiencies of the global and regional energy systems", in: Proceedings of the 16th World Energy Congress Division 3: Rational Energy End-use Technologies PS/SRD 3.1:229-248, WEC, Londres.
