

DES OPTIONS OUVERTES

ÉNERGIE, TECHNOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

HANS-HOLGER ROGNER, LUCILLE LANGLOIS ET ALAN MCDONALD

Le développement durable se fonde sur l'amélioration du bien-être socio-économique, notamment de celui des pauvres de la planète. Telle est la priorité absolue énoncée dans la définition originale de 1987 du développement durable conçue pour le rapport Brundtland (Nations Unies). Ce rapport définit le cadre d'Action 21, programme adopté en 1992 à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, également appelé Sommet "planète Terre".

Selon le rapport Brundtland, *le développement durable est un développement qui répond aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre l'aptitude des générations futures à satisfaire leurs propres besoins. Il renferme deux concepts clés :*

■ *le concept de "besoins", en particulier de besoins essentiels des pauvres de la planète, auxquels il faut accorder la priorité absolue;*

■ *l'idée de limitations qu'impose l'état de la technologie et de l'organisation sociale à l'aptitude de l'environnement à satisfaire les besoins actuels et futurs".*

Ces deux concepts continuent de guider le débat sur la façon d'instaurer un développement durable. De nombreuses organisations intergouvernementales et non gouvernementales telles que la Commission du développement durable (CDD) et le Conseil mondial de l'énergie (CME) insistent sur le même point en admettant le fait important que les deux milliards de pauvres de la planète – soit

un tiers de la population mondiale, qui vit essentiellement dans des pays en développement – n'ont pas accès à des services d'énergie et de transport modernes et abordables. Par ailleurs, elles concèdent que pour que ces deux milliards d'individus bénéficient de ces services de base d'une manière qui n'anéantisse pas la capacité de charge de l'environnement, des changements sans précédent des technologies, des modes de vie et de l'organisation sociale vont devoir s'opérer.

En avril 2001, la neuvième session de la Commission du développement durable (CDD-9) – la première consacrée à l'énergie – a spécifiquement noté que "l'énergie est indispensable pour atteindre les buts du développement durable".

COMBIEN D'ÉNERGIE ?

De combien la future consommation mondiale d'énergie pourrait-elle devoir augmenter dans des scénarios plausibles de développement durable ? L'évaluation de la situation énergétique mondiale établie par le PNUD, le Département des affaires économiques et sociales de l'ONU et le CME en vue de la CDD-9 cite des scénarios élaborés par le CME et l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA). Selon ces scénarios, un développement durable nécessi-

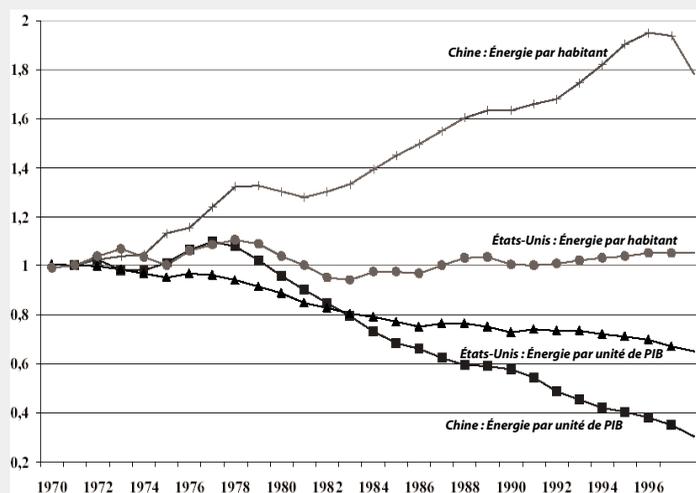
terait, d'ici à 2050, une croissance de la consommation d'énergie de 60 % à 180 %. Même à l'extrémité inférieure de cette fourchette, dans les scénarios où la consommation d'énergie par habitant et absolue diminue (comme dans les pays de l'OCDE), la consommation globale d'énergie augmente considérablement. Quoi qu'il en soit, le développement économique – condition préalable essentielle du développement durable – nécessitera bien plus d'énergie que nous n'en consommons aujourd'hui, en particulier si l'on veut aider les pauvres.

Une consommation d'énergie plus rationnelle. Heureusement, grâce à la technologie, l'offre et la consommation d'énergie pourront être, à l'avenir, bien plus propres et rationnelles qu'elles ne l'ont été par le passé. Tandis qu'en amont, les progrès des géosciences et des techniques de prospection, d'extraction et d'enrichissement (de matières de moindre qualité) étendent continuellement la base de ressources, l'innovation et le progrès technologique améliorent le rendement de la conversion d'énergie et des techniques et infrastructures d'utilisation finale.

Aux États-Unis et en Chine, de récentes améliorations ont été recensées dans le domaine de l'intensité énergétique, c'est-à-dire la quantité d'énergie requise pour

M. Rogner dirige la Section de la planification et des études économiques au Département de l'énergie nucléaire de l'AIEA. Mme Langlois et M. McDonald sont fonctionnaires de cette section. Les références sont disponibles auprès des auteurs.

INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE PAR HABITANT EN CHINE ET AUX ÉTATS-UNIS, 1971-1998



Sources : Adapté des Bilans énergétiques des pays de l'OCDE (AIE) et des Indicateurs du développement dans le monde (Banque mondiale, 2001).

produire une unité de produit intérieur brut (PIB) (voir graphique ci-dessus). L'intensité énergétique est un indicateur agrégé du rendement global et de l'efficacité de la production et de la consommation d'énergie ainsi que de la transition structurelle de procédés et sous-secteurs industriels à forte intensité énergétique vers d'autres moins énergivores.

Depuis 1970, aux États-Unis, l'intensité énergétique a diminué de 32 %, soit une amélioration de 1,4 % par an. Ce chiffre indique que les améliorations ont été plus rapides pendant les chocs pétroliers des années 70 et au début des années 80 que récemment; cependant, les données américaines à plus long terme indiquent aussi une amélioration moyenne d'environ 1 % par an.

Les intensités énergétiques actuelles d'Europe occidentale et du Japon sont encore plus faibles qu'aux États-Unis, et rien ne permet de penser que cette évolution historique vers des intensités énergétiques toujours plus faibles s'interrompra ou s'inversera subitement. Les scénarios

IIASA-CME cités dans l'évaluation de la situation énergétique mondiale prennent pour hypothèse des améliorations moyennes mondiales à long terme comprises entre 1 % et 1,4 % par an.

Perspectives des pays en développement. Comme le montrent les données relatives à la Chine, les perspectives d'amélioration sont encore plus importantes dans les pays en développement que dans les pays industrialisés. Les intensités s'y sont améliorées à un taux stupéfiant de 4 % par an. Il existe à cela plusieurs raisons.

Premièrement, l'intensité énergétique globale des pays en développement, compte tenu de la consommation énergétique tant commerciale que non commerciale (résidus agricoles ou bois de chauffage, par exemple), diminue avec le développement tout comme dans les pays industrialisés. Les statistiques qui se limitent à la consommation énergétique commerciale peuvent semer la confusion car elles font généralement apparaître une augmentation initiale de

l'intensité énergétique avec le développement. Cela est dû au fait que la transition d'une cuisine au feu de bois non commercial, par exemple, à une cuisine utilisant de l'électricité commerciale ou du gaz de pétrole liquéfié (GPL) transfère de la consommation d'énergie de la catégorie non commerciale vers la catégorie commerciale. Toutes choses égales par ailleurs, l'intensité énergétique commerciale augmente. En réalité, cependant, comme la cuisine à l'électricité ou au GPL est plus rentable que les feux ouverts, l'intensité énergétique globale diminue.

Des effets plus importants peuvent se matérialiser à mesure que des procédés industriels plus efficaces remplacent les procédés traditionnels. Comme l'intensité énergétique globale des pays en développement et des pays en transition est généralement supérieure à celle des pays de l'OCDE, les possibilités d'amélioration sont également meilleures.

Deuxièmement, les possibilités d'amélioration sont meilleures simplement parce que les pays en développement disposent de technologies supérieures à celles dont disposaient les pays industrialisés actuels lorsqu'ils en étaient à des stades comparables de développement.

Les pays en développement n'ont pas à suivre – et non pas suivi – la voie empruntée par leurs prédécesseurs. Les chiffres des intensités énergétiques commerciales montrent que les pays qui se développent plus tard ont des pics d'intensité énergétique commerciale plus faibles et atteignent ces pics à un stade plus précoce de développement. Le progrès de la technologie permet des avancées technologiques et institutionnelles. Les données montrent que les pays et ceux

qui investissent dans ces pays profitent au moins de certaines de ces occasions. On pourrait, sans aucun doute, faire mieux.

Comme noté précédemment, les besoins énergétiques mondiaux projetés continuent d'augmenter considérablement, malgré l'amélioration continue de l'intensité énergétique et même dans des scénarios jugés conciliables avec un développement durable. Cela s'explique par les besoins considérables en développement de gens très nombreux qui sont déjà pauvres ou qui naîtront pauvres dans les années à venir. La bonne nouvelle, cependant, est que grâce à la technologie, l'augmentation nécessaire de la consommation d'énergie sera relativement plus faible, plus économique et plus rationnelle qu'elle ne l'aurait été il y a un siècle ou un demi-siècle.

Selon le chapitre 9.9 d'Action 21, cependant, une grande partie de l'énergie mondiale ... est actuellement produite et consommée de façons qui ne pourraient pas être maintenues si la technologie devait rester inchangée et si les quantités globales devaient augmenter considérablement.

COMBIEN DE POLLUTION ?

Toutes choses égales par ailleurs, une importante augmentation de la consommation d'énergie signifie une importante augmentation de la pollution. Heureusement, dans le domaine énergétique comme ailleurs, les choses ne sont jamais égales. Une raison est le fait avéré que plus un individu s'enrichit, plus ses sources d'énergie deviennent propres.

Cela n'est pas surprenant. Avec davantage de revenus disponibles et un moindre besoin de se concentrer sur sa subsis-

tance, un individu peut commencer à payer pour satisfaire d'autres besoins et désirs, dont un environnement plus propre et plus sain. Cela vaut tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement, qui seront à l'origine de l'importante augmentation de la future consommation d'énergie. Une étude réalisée au Brésil, par exemple, a montré que le bois de chauffe, qui pollue fortement, représente la quasi-totalité de la consommation d'énergie des pauvres. Les individus plus riches, en revanche, s'éloignent du bois de chauffe pour s'orienter vers des combustibles plus propres : électricité, gaz et combustibles liquides.

Une autre raison est que le développement déplace à la fois la nature et la répartition de la pollution, par exemple d'une pollution locale de l'air à une acidification régionale ou à une élévation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le développement passe également par l'industrialisation et l'urbanisation, qui tendent à accroître la pollution – du moins au centre et à la périphérie des villes.

Des études montrent que les pays très pauvres tendent à avoir des niveaux élevés de pollution domestique du fait de la cuisine sur feux de bois ouverts, par exemple. Ces niveaux diminuent avec le développement, mais l'industrialisation et l'urbanisation font que la pollution des villes commence à augmenter (du fait, par exemple, de la production d'électricité et des transports). Aux stades ultérieurs du développement, enfin, la pollution de l'air urbain culmine et commence à diminuer lorsque les mesures de protection de l'environnement deviennent abordables.

Au siècle présent, ces pics de pollution de l'air urbain et d'acidification régionale interviendront probablement plus précocement et seront vraisemblablement plus faibles dans les pays en développement d'aujourd'hui que ceux connus par les pays industrialisés avec les techniques d'hier.

Les pays en développement d'aujourd'hui disposent simplement de moyens qui n'existaient pas il y a 20 ans et d'un coût nettement inférieur à ce qu'il était il y a dix ans. Ils n'existaient certainement pas dans l'un des pays les plus industrialisés de tous – le Royaume-Uni – pendant le smog fatal de Londres en 1953. Nombre des pays en développement d'aujourd'hui font déjà bon usage des possibilités de réduction du dioxyde de soufre (*voir graphiques page 38*).

Enfin, la réduction de la pollution a en retour un effet positif sur le développement économique (en réduisant la morbidité et les dépenses de santé et l'endommagement des infrastructures). Si l'on réduit la pollution à des stades plus précoces du développement, l'effet positif peut se produire plus tôt, accélérant le développement.

RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

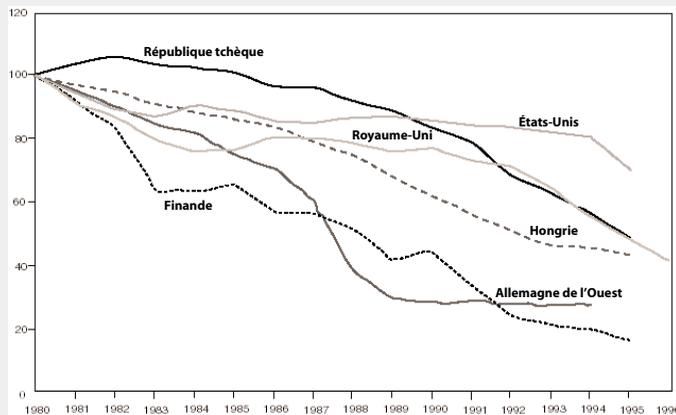
Des études ont montré qu'il se produit une augmentation constante des émissions de gaz à effet de serre parallèlement à la croissance de la prospérité, même lorsque les niveaux de pollution de l'air diminuent.

Il semble que nous échangeons simplement une forme de pollution pour une autre, avec des conséquences potentiellement considérables. Pourtant, les tendances montrent l'impact potentiel que peuvent exercer l'innovation et le progrès technologique

ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE SOUFRE

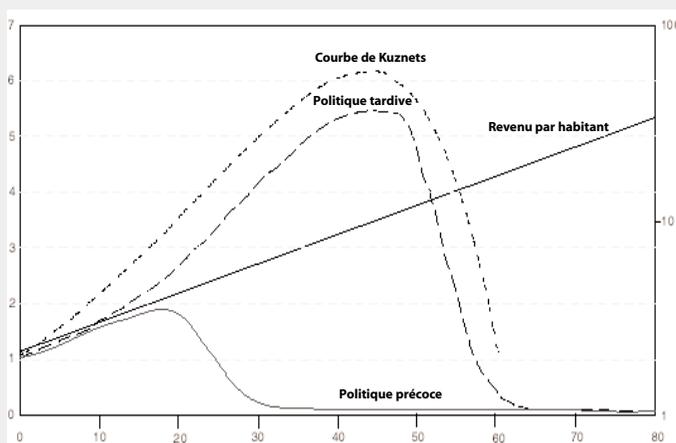
Le graphique du haut décrit l'évolution générale des émissions de SO₂ aux États-Unis et dans certains pays européens. Le second graphique décrit les émissions de SO₂ projetées en Asie. Dans ce dernier, la ligne pointillée décrit la croissance des émissions si l'Asie réduisait ses émissions lorsque son revenu par habitant atteindra le niveau auquel les pays industrialisés d'aujourd'hui (ceux du graphique supérieur) ont commencé à réduire les leurs. La ligne pleine intitulée "Politique précoce" décrit les émissions plus faibles qui seraient celles de l'Asie si celle-ci profitait aujourd'hui des techniques modernes qui n'existaient pas lorsque les pays industrialisés du graphique supérieur ont commencé à réduire leurs émissions. Nombre des pays en développement d'aujourd'hui font déjà bon usage de ces possibilités de réduction.

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE SO₂ DANS CERTAINS PAYS INDUSTRIALISÉS



Source : Évaluation de la situation énergétique mondiale : l'énergie et le défi du développement durable, PNUD, ONU/DAES et CME, New York (2000).

EFFETS SIMULÉS DE POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES PRÉCOCES ET TARDIVES SUR LES ÉMISSIONS DE SO₂ EN ASIE



Source : Summers, R., et A. Heston. 1991 "The Penn World Table (Mark 5): An Expanded Data Set of International Comparisons, 1950-1988". Quarterly Journal of Economics 56:327-69.

sur la lutte contre la pollution. À mesure qu'une forme de pollution devient inacceptable, on conçoit des méthodes de lutte contre les émissions. Cela n'empêche pas de nouvelles formes de pollution de se développer, ni d'anciennes formes de pollution de devenir à leur tour inacceptables; cela indique cependant qu'il est toujours possible d'améliorer l'environnement dans le cadre d'une consommation croissante d'énergie.

Le XXI^e siècle offrira des solutions de rechange bien plus nombreuses que n'en offrait le XX^e siècle (*voir tableau*). Des diminutions de coûts ont été observées récemment pour plusieurs techniques de production d'électricité, et l'on peut raisonnablement s'attendre, à l'avenir, à d'autres diminutions. L'histoire du progrès technologique offre de solides raisons d'être, à cet égard, optimiste.

En extrapolant les tendances actuelles de la pollution sur la base d'une poursuite des prix, de la consommation et des techniques d'aujourd'hui sans tenir suffisamment compte de l'apparition de nouvelles techniques, on obtiendrait un tableau erroné de la situation de l'environnement au XXI^e siècle. On partirait, en outre, d'une base erronée pour prendre les futures décisions énergétiques et infrastructurelles.

QUELLES RESSOURCES ET QUELLES TECHNIQUES ?

Les ressources naturelles sont essentielles au développement durable; le développement durable consiste, quant à lui, à éviter de gaspiller indûment les biens et les ressources naturelles au détriment des futures générations.

Les ressources, cependant, ne sont précieuses que lorsqu'elles font l'objet d'une demande. Cela

COMPARAISON DU COÛT ESTIMATIF DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ : TECHNIQUES NON FOSSILES ET À FAIBLES ÉMISSIONS DE CARBONE

Technologie	Coût moyen actuel (US cents par kWh)	Coût moyen futur (US cents par kWh)	Observations
Vent	5 - 13	3 - 8 3 - 8	Les coûts ont diminué de six fois de 1985 à 2000. Coûts correspondant à des sites éoliens bons à excellents.
Biomasse	5 - 15		Au Brésil, le nombre de centrales à vapeur de 25 MW a diminué 3 fois depuis les années 80.
Systèmes photovoltaïques Insolation, 2 500 kWh/m ² Insolation, 1 500 kWh/m ² Insolation, 1 000 kWh/m ²	20 - 40 35 - 70 50 - 100		Base : coûts de 5-10 \$/watt-crête. Les coûts ont diminué de 50 fois depuis 1975, de 5 fois depuis 1980, de 2 fois depuis 1990. Les applications hors réseau autonomes ajoutent 8-40 \$/watt-crête en coûts de stockage.
Thermosolaire	10 - 18		Miroirs paraboliques dans des zones de forte insolation seulement. Dernière application : vers 1990.
Géothermique	3 - 10		Coûts variant fortement selon l'emplacement.
Centrale au gaz à cycles combinés Coût carburant \$ 2/GJ Coût carburant \$ 5/GJ	 3 ± 20% 5 ± 10%	 3 ± 15% 4 - 5 5 ± 8% 7 - 8	 Aucune réduction de carbone. Extraction et évacuation du carbone incluses. Aucune réduction de carbone. Extraction et évacuation du carbone incluses.
Gazéif. intégrée à cycle combiné Coût carburant \$ 1/GJ Coût carburant \$ 3/GJ	 4 - 5 5 - 8	 3 - 5 5 - 7 5 - 7 7 - 9	 Aucune réduction de carbone. Extraction et évacuation du carbone incluses. Aucune réduction de carbone. Extraction et évacuation du carbone incluses.
Énergie nucléaire	4 - 8	2 - 5	La future fourchette de coûts prend en compte l'amélioration des modèles évolutifs et la mise au point de modèles innovants.
Réseau Heures creuses Heures de pointe Moyenne zones urbaines Moyenne zones rurales	2 - 3 15 - 25 8 - 10 15 à > 70		Dépend de la pointe. Zones rurales de pays en développement.

Note : Chiffres arrondis et reposant sur des taux d'actualisation de 10 %.

Sources : Évaluation de la situation énergétique mondiale : l'énergie et le défi du développement durable. PNUD, Département des affaires économiques et sociales de l'ONU et CME, New York, 2000. GIEC 2001, Changements climatiques 2001 : atténuation. Troisième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Groupe de travail III, Chapitre 3. Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni).

implique également l'existence ou l'élaboration de techniques permettant de les exploiter pour produire des biens et des services utiles sur le plan socio-économique. Les ressources évoluent par conséquent de façon dynamique en fonction des modes de vie désirés et des techniques disponibles.

Le concept dit de "durabilité forte" reconnaît que certains dommages causés à l'environnement peuvent être permanents, que les sources d'énergie fossiles

sont finies ou que les effets potentiels des changements climatiques peuvent être irréversibles. Dans ses formes les plus extrêmes, il peut se traduire par un désir d'interrompre à la fois le progrès et l'évolution technologiques. Il considère, au risque de compromettre le développement socio-économique, qu'il devrait exister des limites à notre aptitude à utiliser ou à dégrader les ressources naturelles. Cette conception ignore, cependant, la

nature dynamique des ressources et des modes de vie, qui fait que l'on n'aura peut-être plus besoin ou envie, à l'avenir, d'appliquer certaines des limites suggérées. Des biens artificiels pourraient très bien se substituer à des ressources naturelles épuisées.

Les biens artificiels, par exemple, englobent les stocks mondiaux de capital technologique et humain, y compris la capacité inépuisable de l'homme à innover et à cultiver la terre.

On pourrait donc contrebalancer l'appauvrissement des ressources fossiles finies par la production de biens artificiels mondiaux en concevant des infrastructures énergétiques inépuisables et en développant notre base de connaissances.

De même, une évolution telle que la déforestation à des fins agricoles pourrait être compensée par une amélioration des techniques agricoles et par une reforestation. Ce concept autorisant une substitution dans et entre des catégories de biens est connu sous le nom de "durabilité faible".

De nombreux groupes de pression écologistes considèrent que l'amélioration du rendement, l'exploitation de sources d'énergie renouvelables et la dématérialisation de la production et de la consommation sont les seuls substituts valables à l'utilisation de combustibles fossiles. Si une durabilité faible ne peut être obtenue par ces moyens, ils préconisent de changer de mode de vie. Bien que reconnue comme étant quasi-exempte d'émissions, l'énergie nucléaire n'est pas, pour eux, une technologie viable. Cette opinion très médiatisée, cependant, qui a prévalu lors de l'examen de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto, n'est pas la seule valable.

Le rôle de l'énergie nucléaire. La CDD-9, en avril 2001, a offert une excellente occasion de débattre, dans le cadre des questions liées à l'énergie, aux transports et aux changements atmosphériques, du rôle de l'énergie nucléaire dans le développement durable.

Sur l'énergie nucléaire, on est parvenu à deux importantes conclusions. Premièrement, les pays ont accepté de n'être pas d'accord sur le rôle de l'énergie

nucléaire dans le développement durable. Le texte final de la CDD-9 reconnaît que certains pays considèrent l'énergie nucléaire comme étant incompatible avec un développement durable tandis que d'autres estiment qu'elle contribue grandement au développement durable. Dans chaque cas, le raisonnement est présenté dans le texte. La seconde conclusion, autour de laquelle un consensus s'est dégagé, est que "le choix de l'énergie nucléaire incombe aux pays".

Les arguments avancés en faveur d'une contribution importante du nucléaire au développement durable sont qu'il élargit la base de ressources en exploitant l'uranium; qu'il réduit les émissions nocives; qu'il développe l'approvisionnement en électricité et qu'il accroît le stock mondial de capital technologique et humain. Il devance les autres techniques en internalisant toutes les externalités, de la sûreté au stockage des déchets en passant par le déclassement, le coût de ces opérations étant déjà inclus, dans la plupart des pays, dans le prix de l'électricité d'origine nucléaire.

La filière complète de l'énergie nucléaire, de l'extraction des ressources au stockage des déchets en passant par la construction des réacteurs et des installations, n'émet que deux à six grammes de carbone par kilowatt/heure – soit à peu près autant que les énergies éolienne et solaire et deux fois moins que le charbon, le pétrole, voire le gaz naturel. En outre, le nucléaire évite d'émettre nombre d'autres polluants tels que le SO₂, le NO_x et des matières sous forme de particules.

POLITIQUE GÉNÉRALE

Il est permis d'espérer que nous atteindrons un jour le double objectif d'un développement

durable, qui est la priorité économique absolue pour les pauvres de la planète, et d'une gestion responsable des ressources naturelles.

Ce n'est cependant pas la direction que nous prenons actuellement. Tous les scénarios présentés dans les études auxquelles nous faisons référence indiquent, à l'avenir, une augmentation de la pollution, une consommation accrue de ressources et des progrès limités en faveur des pauvres de la planète. En l'absence d'une politique d'anticipation, cette évolution risque de nous rapprocher des problèmes d'aujourd'hui et de nous éloigner de la promesse, pour demain, d'un développement durable.

Il n'existe pas de formule parfaite garantissant un retour réussi à une trajectoire plus viable. On peut, en revanche, énoncer deux principes importants et suggérer, à cet égard, quelques considérations de politique générale.

Premièrement, nous réitérons qu'un développement économique – prioritaire pour les pauvres – nécessitera une croissance substantielle de la consommation d'énergie.

Deuxièmement, le progrès technologique – en matière de production et de consommation d'énergie et de lutte contre la pollution – sera essentiel pour réduire les intensités énergétiques et la pollution et développer la base de ressources tout en accroissant la consommation d'énergie.

Politiques pro-technologie. Examinons tout d'abord les caractéristiques de politiques visant à promouvoir le progrès technologique. Ces politiques doivent encourager l'innovation et la diffusion des techniques. Dans le secteur de l'énergie, elles pourront mettre en avant la réduction des intensités énergé-

tiques, de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre, et l'utilisation efficace des ressources nouvelles et existantes suivant le concept de "durabilité faible".

La libéralisation des marchés de l'énergie, avec des prix déterminés par le marché, présente de nombreux avantages pour stimuler cette innovation et cette diffusion. Déjà, la libéralisation de divers marchés mondiaux et la concurrence qu'on y a instaurée ont entraîné une amélioration des rendements, ce qui se traduit souvent, également, par une diminution des coûts. Ce processus, cependant, présente aussi ses écueils qui exigent, de la part des gouvernements, une attention soutenue. Les considérations de politique économique qui entrent en jeu sont notamment les suivantes :

Le premier écueil, comme l'a montré la Californie, est le danger de mauvaises politiques de libéralisation. Des contraintes politiquement attrayantes mais économiquement malavisées telles que des prix de détail de l'électricité plafonnés et une limitation des contrats à long terme, peuvent se solder par un échec. Or, un public échaudé est doublement prudent, de sorte que si les hommes politiques tirent des enseignements de leurs erreurs, ils auront probablement de grandes difficultés à convaincre les électeurs de leur donner, en matière de libéralisation, une seconde chance.

Comme c'est le cas dans nombre d'activités de recherche-développement, les rendements privés de la recherche énergétique sont parfois inférieurs aux rendements sociaux. Comme les inventeurs ne peuvent transformer tous les avantages sociaux découlant de leurs inventions en profits personnels, les investissements privés

dans la recherche risquent de ne pas être socialement optimaux. Les gouvernements ont donc un rôle à jouer pour financer la recherche au-delà de ce que fournit le secteur privé.

Il est difficile d'inciter à réduire des émissions d'énergie qui ne coûtent rien à l'émetteur. Le dioxyde de carbone en est un bon exemple. Dans la plupart des pays, les émissions de CO₂ sont non réglementées et gratuites. Il n'existe par conséquent aucune incitation économique à mettre au point des techniques et des innovations visant à réduire ces émissions. La solution réside dans des politiques qui transforment les réductions d'émissions de carbone en une activité lucrative. Différentes politiques (taxes, subventions, autorisations, etc.) pourront convenir dans différents pays; au niveau international, il sera toujours possible d'améliorer les programmes d'"échange" de droits d'émission mis en œuvre au titre du Protocole de Kyoto.

Quels que soient les mécanismes préférés, cependant, il est certain que sans politiques visant à rendre la non-émission de carbone directement lucrative, les incitations économiques visant à réduire les émissions resteront sans effet. Notons que les politiques qui pénalisent la consommation d'énergie sont déconseillées. Une pollution menaçant la santé humaine et l'intégrité de l'environnement n'est pas souhaitable et doit être pénalisée. La consommation d'énergie, en soi, est positive et nécessaire pour améliorer le niveau de vie. Même dans les pays industrialisés, taxer l'énergie nuit aux pauvres sans inciter à réduire ce qui importe, à savoir la pollution plutôt que la consommation.

Les marchés libéralisés désapprouvent les subventions

publiques. Or, les subventions sont utiles pour lever les obstacles auxquels se heurtent les nouvelles technologies lorsqu'elles entrent en concurrence avec d'anciennes technologies bien établies. D'aucuns soutiendront que le développement durable nécessite l'élimination de toute subvention. Nous estimons, nonobstant, qu'il est possible de discerner des subventions assorties de clauses d'extinction qui aideront de nouvelles technologies à franchir le pas du laboratoire vers le marché de l'énergie, où elles pourront (ou non) se développer en fonction de leurs propres mérites.

Politiques pro-énergie en faveur des pauvres. Libéraliser les marchés de l'énergie, internaliser des externalités négatives telles que les coûts d'atténuation des dommages causés par la pollution, et généralement "corriger" les prix – tout cela est utile mais, dans le cas des très pauvres, ne suffit pas. Pour ceux qui sont incapables de payer quelque prix que ce soit, "corriger les prix" n'est pas une solution. Pour profiter du développement économique et devenir des consommateurs actifs sur des marchés de l'énergie libéralisés, les pauvres ont besoin qu'on les aide par une éducation et des soins de santé, des programmes novateurs de financement des petites entreprises, un transfert de technologie et la mise en place d'institutions stables.

Les politiques sociales et infrastructurelles des gouvernements sont souvent à l'origine d'évolutions technologiques facilitant le développement économique et orientant ce dernier dans le sens de la viabilité. Par exemple, des ramifications rurales des réseaux électriques ou de gaz naturel ne se justifient souvent pas, d'un

point de vue économique, sur des marchés libéralisés. Dans ce cas, de nouvelles technologies renouvelables hors réseau offriront la meilleure façon de fournir des services énergétiques modernes aux ruraux démunis. Des projets de ce type font connaître aux clients des marchés énergétiques ruraux en développement des technologies capables de satisfaire leurs besoins. Ces marchés offrent aux nouvelles technologies la possibilité d'acquiescer une expérience et d'opérer les ajustements nécessaires pour réduire leurs coûts et envisager une distribution à long terme. Au niveau mondial, ils favorisent un progrès technologique qui permettra à la future croissance économique et énergétique d'être plus efficace, plus rapide et plus propre que ne l'a été la révolution industrielle.

À titre d'illustration, on citera trois exemples :

- En Inde, mise en œuvre d'un projet rural dans lequel des capitaux de lancement de l'AID des États-Unis ont facilité l'installation de systèmes photovoltaïques solaires soutenant des activités de vannerie génératrices de revenus pour les femmes locales.

- Dans 88 000 villages mexicains sans électricité, mise en œuvre de 200 projets d'énergie solaire et éolienne visant à pomper de l'eau pour l'alimentation, l'irrigation et l'élevage de bovins.

- Mise à la disposition de coopératives isolées cultivant le café dans les hautes terres du Chiapas (Mexique) de moyens de communication radio à énergie solaire. Ces moyens permettent aux employés des coopératives de mieux régler et coordonner les récoltes, le transport et la production en fonction du marché. Les radios ont également aidé à atté-

nuer les pertes et les risques pendant deux feux de forêt.

Le développement durable doit aussi prêter attention aux besoins des citadins pauvres et des mégapoles en plein essor. L'urbanisation crée, en matière d'électricité, d'importantes demandes centralisées qui nécessitent en permanence une importante production – également centralisée. Une grande partie de la croissance énergétique prévue au XXI^e siècle interviendra dans les villes. Les progrès réalisés dans le domaine des énergies renouvelables hors réseau adaptées au développement rural devront donc se compléter d'améliorations – énergie nucléaire ou électricité à base de combustibles fossiles propres (rendement de conversion élevé, réduction de la pollution et piégeage du carbone) – garantissant une production centralisée adaptée à des mégapoles et à de vastes zones métropolitaines.

La libéralisation des marchés, une taxation appropriée et des politiques limitant la pollution et les émissions de gaz à effet de serre pourront contribuer à promouvoir de nouvelles technologies efficaces et propres de production centralisée. Cependant, des politiques publiques plus dynamiques pourront être nécessaires pour introduire de nouvelles technologies sur les marchés urbains concurrentiels.

Une politique dynamique et souple. Les politiques et leurs résultats diffèrent d'un pays à l'autre. Un développement durable nécessitera de doser différentes techniques énergétiques dont l'attrait relatif dépendra des ressources, de l'économie, de la géographie, de la démographie et des préférences sociales. L'énergie solaire est plus attrayante dans les pays enso-

leillés que dans les pays brumeux; l'énergie éolienne plus attrayante dans les pays ventés; le charbon, le pétrole et l'hydroélectricité là où les ressources sont abondantes. Les économies de services sont moins énergivores que les économies de transformation; le secteur des transports consomme davantage lorsque les distances sont importantes; quant aux pays pauvres en ressources, ils se préoccupent davantage de la sécurité énergétique et de la diversité des approvisionnements que les pays riches en énergie.

Ainsi, si toutes les politiques doivent promouvoir le développement, notamment celui des pays pauvres de la planète, et favoriser l'utilisation de techniques plus efficaces et plus propres, il n'existe pas de "modèle unique" convenant à tous. Les pays doivent être souples et tenir compte de leur propre situation.

L'idée-force du développement durable, énoncée dans le rapport Brundtland cité en introduction au présent article, consiste à conserver des biens précieux et à maintenir ouvertes toutes les options. S'agissant de l'énergie nucléaire et à la lumière des conclusions de la CDD-9, les pays capables et désireux de conserver ouverte l'option nucléaire ont un rôle particulièrement important à jouer. Leur défi consistera à encourager l'innovation et l'adaptabilité de façon que les techniques nucléaires puissent apporter une contribution là où une énergie relativement exempte d'émissions sera le plus nécessaire, y compris dans les grandes villes et dans les pays en développement. L'amélioration permanente des techniques électronucléaires aidera beaucoup ceux qui choisissent de les utiliser. □