

Electricité, santé et environnement: choisir les options durables

Un colloque international sur l'évaluation comparative des options énergétiques a examiné les grands problèmes à résoudre

par
**Leonard Bennett
et Malik Derrough**

La demande d'énergie, notamment d'énergie électrique, est appelée à augmenter considérablement, surtout dans les pays en développement, au rythme de la croissance démographique mondiale. Le choix des options énergétiques sera déterminant pour la continuité du développement social, économique et écologique de notre planète.

Dans nombre de pays, les planificateurs et décideurs du secteur de l'énergie ont à résoudre les problèmes ardues que pose l'avenir de ce secteur et ils doivent évaluer maintes options et stratégies énergétiques en tenant compte d'une multitude de facteurs. La plupart des grandes questions ont été examinées par un colloque international réuni à Vienne, à la fin de 1995, par l'AIEA et neuf autres organisations internationales (*voir l'encadré*).

Pour ouvrir ce colloque, le Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix, a brossé un tableau d'ensemble de la situation mondiale de l'énergie. Les combustibles fossiles continueront probablement à dominer l'offre mondiale d'énergie, tandis que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse et autres sources renouvelables joueront un rôle certes très appréciable, mais de second ordre. La contribution de l'énergie nucléaire, qui représente actuellement environ 7 % de l'énergie et 17 % de l'électricité consommées dans le monde, devrait garder toute son importance.

M. Blix évoqua quelques-uns des problèmes complexes auxquels se heurtent les responsables de la politique énergétique, en particulier dans le secteur de l'électricité, lorsqu'ils doivent tenir compte des facteurs multiples qui interviennent dans l'ensemble du cycle du combustible d'une chaîne énergétique — y compris leur action technique et économique et leurs effets sur la santé publique et l'environnement. Les coûts demeurent des facteurs clés mais doivent être appréciés selon de nombreux critères comparatifs, notamment pour les pays qui souffrent d'un manque chronique d'électricité.

M. Bennett est chef de la Section de la planification et des études économiques, Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA, et M. Derrough est membre de cette section.

Les analyses qu'il faut faire désormais exigent l'incorporation de tous les éléments pertinents dans une évaluation comparative exhaustive des diverses options et stratégies, et la mise au point de bases de données plus étoffées, de méthodes analytiques et autres auxiliaires sur lesquels les dirigeants puissent compter pour prendre leurs décisions. Les organisations internationales, précisa M. Blix, ont un rôle important à jouer dans la solution de ces problèmes.

En plus de l'aide qu'elle apporte aux autorités nationales de l'énergie pour l'analyse et la planification de leurs réseaux, l'AIEA exécute un programme relatif à l'analyse comparative et à des méthodologies qui doivent objectivement servir le processus décisionnel. Nous parlerons ici des activités menées dans le contexte des grands problèmes examinés par le colloque international de 1995, et des principaux exposés présentés au cours des six séances techniques.

Synthèse des principaux exposés

M. E. Andreta (Commission européenne) a souligné qu'il importait de bien comprendre les rapports entre l'électricité, l'environnement et l'économie (rapports E3). Ces rapports sont très complexes et il est impossible de gérer l'ensemble des réseaux électriques sans disposer d'un part de technologies fiables et efficaces et, d'autre part, de moyens complets de gestion et de planification. La Commission européenne a mis au point toute une série de modèles énergétiques pour un développement durable de l'approvisionnement en énergie et en électricité. Les bases de données et les modèles élaborés au titre du projet DECADES lancé par l'AIEA sont aussi une contribution positive qui appelle une coopération mondiale dans ce domaine (*voir l'encadré*).

M. R. Stern (Banque mondiale) estime que la consommation d'énergie primaire des pays en développement égalera celle des pays de l'OCDE en l'an 2000 et lui sera 2,5 fois supérieure en 2030. La Banque mondiale pense que les investissements

nécessaires au seul secteur de l'électricité atteindront les 150 milliards de dollars par an. Le financement devra se partager entre les ressources nationales et le capital international. Il faudra combiner judicieusement les politiques et les choix technologiques en fonction de la situation de chaque pays, des ressources dont il dispose et des compromis inévitables entre les objectifs économiques et écologiques.

Pour nombre de pays, le gaz naturel présente un grand intérêt. L'ennui, c'est qu'on ne le trouve pas toujours là où on en a besoin, d'où la nécessité des gazoducs ou de la liquéfaction, deux solutions qui demandent de gros investissements, une large coopération internationale et beaucoup de temps. M. Stern rappelle que la combustion du gaz naturel, contrairement à celle du charbon, produit relativement peu de CO₂. Cela dit, l'effet de serre du gaz naturel non brûlé (méthane) est à peu près 30 fois celui du CO₂, de sorte qu'une fuite d'environ 5 % au niveau des gazoducs annulerait la réduction de CO₂ obtenue en brûlant du gaz au lieu du charbon dans une centrale.

Mme J. Aloisi de Larderel, Département de l'industrie et de l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Tandis que pratiquement 100 % de la population des pays industriels bénéficient de l'électricité, environ deux milliards d'habitants des pays en développement en sont privés; d'où un vaste potentiel d'électrification dans ces pays. L'électricité est une source d'énergie propre et d'un bon rendement pour les particuliers, les transports et l'industrie. Or, une production massive d'électricité pour des populations toujours plus nombreuses, dont les conditions de vie s'améliorent, et un secteur industriel en expansion peut avoir de graves conséquences écologiques. C'est pourquoi le premier souci du PNUE est d'appeler l'attention sur l'environnement et d'encourager les responsables de la planification et des politiques énergétiques à tenir davantage compte des problèmes écologiques.

Mme A. Tcheknavorian-Asenbauer, Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI). L'ONUDI estime que l'industrialisation des pays en développement, qui comptent pour 60 % dans la croissance démographique mondiale prévue, fera tripler la consommation d'énergie d'ici à 2025.

Une meilleure rentabilité des matériels consommateurs d'énergie et une gestion rationnelle des industries peuvent améliorer les rendements jusqu'à 40 %, et cela au prix d'investissements relativement modestes. Le développement des procédés industriels, quoique beaucoup plus exigeant en capitaux, aiderait à économiser plus de 50 % d'énergie. Les décideurs doivent donc étudier toutes les options possibles de conservation et d'emploi rationnel de l'énergie, notamment leur apport potentiel aux politiques économiques et écologiques de leur pays respectif.

Les sources nouvelles et renouvelables telles que l'énergie solaire, la biomasse et les petites centrales

Le colloque international

Le colloque sur l'électricité, la santé et l'environnement: évaluation comparative au service des décideurs s'est réuni à Vienne du 16 au 19 octobre dernier. Il était organisé par l'AIEA et neuf autres organisations internationales: l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE), la Banque internationale pour la reconstruction et le développement (BIRD), la Commission européenne (CE), la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP), l'Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIAAS), l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Quelque 200 experts de 53 pays et de 16 organisations y ont participé.

Ce colloque a été réuni au titre du projet DECADES, sous les auspices de l'AIEA et de ses partenaires. Ce projet traite des bases de données et des méthodologies appliquées à l'évaluation comparative de différentes sources d'énergie pour la production d'électricité. Il vise essentiellement à développer l'échange d'informations et la coopération entre les parties intéressées et concernées, en matière d'analyse de la demande d'électricité et de planification de l'offre, en vue de la mise en œuvre de politiques durables, compte tenu des problèmes économiques, sociaux, sanitaires et écologiques. Les sujets suivants ont été traités: problèmes clés du processus décisionnel; évaluation des effets sanitaires et écologiques; schéma intégré d'une évaluation comparative; exécution d'une évaluation comparative; monographies; et analyse comparative dans le processus décisionnel. Le colloque s'est terminé par une table ronde sur les problèmes de la coopération mondiale en vue de l'application de politiques durables dans le secteur de l'électricité. En marge du colloque était organisée une exposition illustrant les résultats d'analyses comparatives faites dans différents pays, avec démonstration de logiciels pour informer les participants sur les moyens informatiques les plus modernes, les bases de données et les modèles analytiques utilisés dans les études menant aux décisions.

Le compte rendu du colloque sera publié par l'AIEA.

hydroélectriques devraient être considérées comme options de décentralisation pour desservir les zones rurales dont l'électrification à partir du réseau principal est coûteuse du fait de la faible densité de population. Mme Tcheknavorian a souligné l'importance de la biomasse, notamment du bois, comme source d'énergie pour les populations rurales et les indus-

tries locales. Elle a rappelé que la biomasse fournit 50 % de l'énergie industrielle en Afrique, mais que les rendements de conversion sont souvent faibles, et que le ramassage du bois de chauffage peut mener à la déforestation.

Il faudrait donc que les pays industriels aident les pays en développement en leur transférant des technologies bien adaptées à leurs besoins et à leur situation. Pour évaluer et comparer les divers systèmes énergétiques, les décideurs doivent considérer le transfert de technologie comme une composante stratégique. Il faut, par conséquent, déterminer la mesure dans laquelle les diverses technologies peuvent être assimilées, ainsi que le temps et les ressources financières nécessaires à cette fin. Pour tout dire, l'ONUDI a appris par l'expérience que, pour faciliter un développement socio-économique durable, le choix des systèmes énergétiques doit se fonder sur la situation particulière du pays intéressé.

M. L. Olsson, Organisation météorologique mondiale (OMM). Intervenant au nom de M. Obasi, secrétaire général de l'OMM, M. Olsson a passé en revue les problèmes relatifs à l'énergie et à l'évolution du climat. La production et la consommation d'énergie ont un effet complexe sur l'environnement, notamment sur le climat, et le besoin d'énergie dépend à son tour des conditions météorologiques. De même, l'exploitation de l'énergie de la biomasse, de l'énergie hydroélectrique et des autres sources renouvelables est tributaire de ressources extrêmement sensibles au climat. L'évolution potentielle du climat préoccupe le monde entier, d'où la nécessité croissante d'évaluer les impacts écologiques. Pour apprécier équitablement les divers systèmes énergétiques, il est fort important de diffuser l'information pertinente et de considérer objectivement le développement scientifique, technologique et socio-économique. Telle est la précieuse contribution du projet DECADES à l'étude du problème.

Sommaire des séances techniques

Séance 1: Les grands problèmes du processus décisionnel. Présidée par M. Rajendra Pachauri, directeur de l'Institut Tata d'études énergétiques en Inde, la discussion a essentiellement porté sur les divers problèmes qui se posent aux décideurs dans les différentes régions. Les mémoires présentés ont expliqué que les priorités peuvent varier considérablement selon le niveau de développement social, économique et industriel d'un pays. Des exposés traitant de plusieurs points importants ont été faits par M. K. Leydon (CE); M. H. Khatib, au nom du Comité sur les questions d'énergie des pays en développement (Conseil mondial de l'énergie); M. L.D. Ryabev et M. Y.F. Chernilyn (Russie); Mme Ellis et M. S. Peake (Agence internationale de l'énergie de l'OCDE); et M. R. Lanari (Canada).

● Les pays membres de l'Union européenne sont tributaires des importations pour 50 % au moins de leur énergie, proportion qui atteindra probablement environ 70 %, a déclaré M. Leydon. Pour l'économiste, la question est de savoir comment respecter les objectifs écologiques tout en évitant une hausse du coût de l'énergie, facteur de production. M. Leydon a souligné qu'il ne sera pas facile, dans une situation géopolitique en mutation, de concevoir de nouveaux services énergétiques répondant aux nouveaux besoins, de maîtriser les rendements énergétiques, et de mettre au point des technologies et des productions nouvelles. Le cadre décisionnel doit refléter fidèlement la complexité des choix à faire.

● Les pays en développement, notamment les moins riches, sont avant tout préoccupés par les coûts, a dit M. Khatib. Aussi s'efforcent-ils d'utiliser des combustibles locaux, quelle que soit leur qualité et chaque fois qu'ils le peuvent. Ils donnent la priorité éventuellement à des technologies locales moins efficaces que les technologies modernes, mais nécessitant peu d'investissements. Le plus souvent, ils n'ont pas les moyens d'investir de surcroît dans des systèmes réducteurs de pollution. Ils n'en deviennent pas moins conscients des problèmes écologiques et essaient de lutter contre la pollution, en particulier lorsqu'elle les touche directement.

● M. Khatib rappelle que les deux plus grands pays en développement, la Chine et l'Inde, comptent respectivement 1 175 millions et 900 millions d'habitants, soit 2 075 millions à eux deux, c'est-à-dire presque la moitié de la population totale de tous les pays en développement. La demande potentielle d'électricité est considérable dans ces deux pays qui d'ailleurs possèdent de grosses réserves de charbon. La Chine et l'Inde vont donc continuer pendant plusieurs décennies à utiliser surtout du charbon pour produire de l'électricité. De fait, tous les pays en développement qui disposent de réserves confortables et rentables de charbon donneront la préférence à ce combustible. Pour minimiser les conséquences écologiques d'une consommation accrue de charbon, il faudra promouvoir les technologies propres dans les pays en développement.

● On s'attend que la part d'électricité dans la consommation d'énergie des pays de l'OCDE passe de 18 % à plus de 21 % d'ici à 2010. Le secteur électrique est une source importante de CO₂; en 1993, 33 % du total des émissions étaient imputables à ce secteur. Ainsi, malgré les engagements pris au titre de la Convention-cadre concernant les changements climatiques, on prévoit que les émissions totales dues à la production d'électricité dans les pays de l'OCDE vont augmenter puisque les projections de la demande d'électricité prédisent une augmentation d'environ 2,1 % par an jusqu'à 2010. Toutefois, ces émissions dépendront de la combinaison des combustibles, actuellement très variable d'un pays à l'autre. La Norvège, par exemple, produit aujourd'hui 99 % de son électricité à partir

Le point du projet DECADES

M. B.A. Semenov, directeur général adjoint à l'AIEA et président du comité directeur du projet DECADES jusqu'en janvier 1996, a présenté au colloque les trois principaux domaines d'activité du projet*: les bases de données, les méthodologies, et la formation et l'appui pour l'exécution d'évaluations comparatives.

Bases de données. Une base de données technologiques de référence, adressable sur ordinateur personnel, a été constituée. Elle contient une information numérique, écrite et visuelle sur les principales caractéristiques des technologies de production d'électricité à différents échelons des chaînes de production utilisant les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. Plusieurs centaines de technologies sont décrites en détail par un ensemble de paramètres couvrant la performance technique, les coûts, les émissions atmosphériques, les déchets et autres charges écologiques. Parallèlement à cette base de données, une quinzaine de pays ont reçu une aide pour constituer des bases de données par pays en utilisant le système informatique de la base de référence pour mettre en mémoire les données relatives aux installations de leurs chaînes de production d'électricité. Ces bases de données par pays couvrent plus de 1 000 technologies.

Méthodologies. Deux activités leur ont été consacrées: 1) préparation d'un rapport décrivant les moyens informatiques déjà disponibles pour évaluer comparativement les options et stratégies de production d'électricité; 2) élaboration d'un nouvel ensemble logiciel pour l'analyse et la planification des réseaux électriques (DECPAC).

Le rapport sur les moyens informatiques est fondé sur les renseignements communiqués par les auteurs de logiciels de plusieurs pays et organisations internationales. Quant à DECPAC, il a été mis au point grâce à une aide financière des Etats-Unis et offre de meilleures possibilités d'intégration des aspects techniques, économiques, sanitaires et écologiques dans la planification de l'expansion des réseaux. Il est relié aux deux bases de données mentionnées ci-dessus et permet d'analyser les coûts, les émissions atmosphériques, les déchets solides et autres charges sanitaires et écologiques des diverses stratégies de production d'électricité. Une douzaine d'équipes de différents pays mettent DECPAC à l'épreuve pour des études de cas et leurs premiers résultats montrent que ce logiciel est extrêmement utile aux analystes et aux planificateurs du secteur de l'électricité et répond à un besoin réel.

Formation et appui. Des ateliers de formation sont organisés à l'échelle nationale, régionale ou inter-régionale. Ils s'adressent à des groupes d'utilisateurs constitués pour promouvoir l'échange d'informations entre eux et les concepteurs de logiciels. Par ailleurs, vers la fin de 1994, a commencé la préparation d'un ouvrage de référence visant à intégrer les questions économiques, sociales, sanitaires et écologiques dans l'élaboration des directives du secteur de l'électricité. Le travail est dirigé conjointement par l'AIEA et la Banque mondiale et bénéficie d'importantes contributions d'autres organisations participant au projet DECADES et d'experts de divers pays. Parmi les sujets traités, notons la planification intégrée des ressources,

le calcul des coûts externes et leur internalisation, l'analyse à critères multiples et les aides à la décision. Cet ouvrage, dont la publication est prévue pour l'été 1996, est destiné à aider les dirigeants à établir un schéma d'évaluation comparative tenant compte d'impératifs et d'objectifs spécifiques, et à sélectionner des moyens informatiques pour l'exécution d'études prédécisionnelles.

Etudes de cas. M. Semenov a signalé que plus de 20 monographies nationales rendent compte d'évaluations comparatives de stratégies et politiques de remplacement pour le secteur de l'électricité. Elles ont été faites dans le cadre d'un programme de recherche coordonnée de l'AIEA par des spécialistes de l'analyse des réseaux électriques, de la macro-économie et de l'évaluation des effets écologiques. Ce programme a mis en lumière la nécessité de concilier les préoccupations et les priorités, par exemple l'allègement de l'impact local et mondial sur l'environnement compte tenu des problèmes économiques et sociaux et du maintien de l'offre.

Résultats encourageants. Jusqu'à présent, DECADES a donné de bons résultats et a prouvé que la collaboration d'organisations internationales et d'experts et établissements nationaux était efficace. Les experts nationaux, notamment ceux des pays en développement et des pays en transition, se sont beaucoup intéressés au projet, dont la première phase concerne la comparaison des diverses options de production d'électricité, sans toutefois négliger d'autres aspects, telles les technologies touchant le consommateur. Des renseignements sur celles-ci pourraient être inclus dans les bases de données, avec incorporation dans le modèle DECPAC d'une analyse des options correspondantes. A cet égard, M. Semenov a noté une étroite coordination pour la préparation d'un projet de manuel d'écologie appliquée au développement du secteur énergétique, sous la direction de la Banque mondiale, qui pourrait contribuer à améliorer encore les moyens de DECADES.

A l'avenir, il faudra s'occuper davantage de l'analyse comparative des conséquences sanitaires et écologiques. L'AIEA a déjà commencé d'établir une base de données sur l'impact sanitaire et écologique des systèmes énergétiques, mais il faut encore y travailler pour qu'elle puisse être utilisée aux fins d'une analyse comparative. La Commission européenne, en collaboration avec des établissements de recherche nationaux, a analysé de son côté les coûts extérieurs des systèmes énergétiques. Il serait également utile de disposer d'études nationales faites avec les moyens mis au point pour examiner des questions hautement prioritaires comme le rapport coût-efficacité des divers systèmes énergétiques et les mesures à prendre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres charges écologiques.

* Voir un précédent article intitulé «Electricité, santé et environnement: le projet DECADES», par Evelyne Bertel, *Bulletin de l'AIEA*, volume 37, n° 2 (septembre 1995).

des énergies renouvelables; le Danemark utilise le charbon pour 87 % de sa production électrique et le Royaume-Uni, les Etats-Unis, l'Australie et l'Allemagne comptent aussi sur le charbon pour l'essentiel de leur production. En France, par contre, 75 % de l'électricité est d'origine nucléaire, tandis qu'en Italie c'est le pétrole qui domine.

- Au Canada, la population autochtone, en l'occurrence les Inuits, a son mot à dire dans la planification d'une centrale hydroélectrique. Une enquête intensive a permis de préciser certaines mesures qui pourraient apaiser ses préoccupations au sujet de l'impact potentiel du projet. Cette consultation a donné aux membres de la communauté une confiance et un sens de responsabilité vis-à-vis du projet qu'ils n'auraient autrement jamais éprouvés. Il importe que les groupes intéressés puissent participer activement aux décisions au lieu de n'être que de passifs spectateurs.

Séance 2: L'évaluation des conséquences sanitaires et écologiques. Sous la présidence de M. Mohan Munasinghe (Sri Lanka), il a été question des moyens à l'étude pour évaluer les conséquences sanitaires et écologiques des chaînes de production d'électricité. Des exposés ont été présentés par Mme N.P. Villela (Brésil); Mme D. Lin (Chine); M. B. Sørensen (Danemark); M. A. Markandya de l'Université Harvard (Etats-Unis); M. S. Morris (Centre coopérant de l'OMS sur les effets sanitaires et écologiques de systèmes énergétiques, Laboratoire national de Brookhaven (Etats-Unis)); et Mme N. Pop-Jordanova (ex-République yougoslave de Macédoine). Des points importants ont été précisés.

- Plusieurs mémoires ont souligné le besoin permanent d'amélioration des bases de données et des moyens analytiques afin de réduire l'incertitude des données et des résultats. Il est difficile de chiffrer la valeur des conséquences sanitaires d'un système énergétique car maints problèmes sont à résoudre. Toutefois, l'estimation des coûts de l'impact faciliterait le processus de décision, en ce qui concerne le choix des combustibles, des technologies et de l'emplacement des centrales.

- La méthode habituelle d'analyse directe des effets sanitaires d'une exposition à des agents physiques et chimiques devrait s'étendre aux effets psychologiques (choc, anxiété, peur, etc.), a déclaré Mme Pop-Jordanova. Ses recherches font apparaître une grande différence entre les effets réels et les effets perçus. Une évaluation comparative fournirait l'information objective et transparente requise pour atténuer cette différence.

- Toutes les technologies énergétiques impliquent un certain risque sanitaire. M. Morris a fait remarquer que, malgré maintes études des effets sanitaires relatifs de différentes techniques de production d'électricité, la répartition des investissements ne semble pas avoir changé. Il est probable cependant, du fait de la préoccupation croissante du public en présence des effets sanitaires et écologiques de la

production électrique, que ces études conditionnent davantage les décisions futures. C'est pourquoi il importe que les évaluations comparatives fournissent aux décideurs une information scientifiquement correcte et compréhensible.

- Dans sa conclusion, M. Munasinghe a fait observer que les scientifiques et les analystes ne sont pas encore au bout de leurs peines s'ils veulent offrir aux décideurs l'information exhaustive dont ceux-ci ont besoin. Il reste encore beaucoup à faire pour étudier à fond les problèmes transfrontaliers et mondiaux, tel celui des émissions des gaz à effet de serre et de leur impact; pour évaluer les effets à long terme éventuels de l'évacuation de déchets chimiques et radioactifs, par exemple; et pour explorer toutes les voies possibles de contamination. Les incertitudes qui marquent encore les données et les résultats des modélisations ne permettent pas de répondre de façon catégorique à toutes les questions. Il faut donc activer la coopération entre analystes et décideurs pour assurer le transfert à ces derniers de l'information pertinente et des résultats utiles qu'offrent les études analytiques.

Séance 3: Les schémas intégrés d'évaluation comparative. Pendant cette séance présidée par M. Kurt Yeager de l'Electric Power Research Institute (Etats-Unis), des exposés ont été faits par M. I.F. Vladu (AIEA); M. N.J. Eyre et Mme J.E. Berry sur le projet ExternE de la CE et du Département de l'énergie des Etats-Unis; M. R. Wilson de l'Université Harvard (Etats-Unis); M. P. Capros (Grèce); M. Y. Uchiyama de l'Institut central de recherche de l'industrie électrique (Japon); M. Munasinghe (Sri Lanka); M. M. Chadwick de l'Institut de l'environnement de Stockholm (Suède); et M. S. Hirschberg de l'Institut Paul Scherrer (Suisse). Ci-après, les principaux sujets traités.

- Le projet ExternE a montré que la comparaison exacte des cycles du combustible est difficile. Chaque cycle a ses effets particuliers et les hypothèses faites pour la quantification peuvent fausser la comparaison. Certains cycles ont des effets à très long terme, tels l'échauffement de la planète dû aux combustibles fossiles et l'impact radiologique des isotopes de longue période du cycle du combustible nucléaire. Les valeurs monétaires aussi bien que la méthodologie appliquée pour pondérer la distribution spatiale et temporelle des risques pour la population sont toujours controversées, ce qui aggrave l'incertitude. Malgré les problèmes non résolus, l'étude a beaucoup progressé en ce qui concerne l'évaluation des dommages sur de longues périodes et de vastes étendues, leur notification cohérente pour les différents cycles énergétiques, le relevé des incertitudes restantes et la détermination des paramètres importants pour le processus de décision.

- L'analyse du cycle des chaînes de production d'électricité de la Suisse a montré que le nucléaire émettait environ 100 fois moins de gaz à effet de

serre que les cycles à l'antracite et dix fois moins que l'option solaire. Avec les cycles autres que ceux à combustibles fossiles, la centrale n'émet qu'une faible proportion de ces gaz, la plus grande partie étant imputable aux autres stades de la chaîne du fait de l'énergie qu'ils consomment et des matières qu'ils produisent. En Suisse, les améliorations technologiques prévues réduiront d'environ 30 % les émissions des systèmes au charbon et à l'énergie nucléaire et de cinq fois celles des systèmes solaires grâce aux nouveaux capteurs en silicium amorphe.

- Une analyse des émissions des chaînes de production et de distribution de l'électricité, faite au Japon, a montré que les systèmes au charbon, au pétrole et au gaz émettent respectivement environ 270, 190 et 180 grammes de carbone par kilowattheure (kWh). En revanche, les chaînes hydroélectriques, nucléaires et solaires photovoltaïques émettent respectivement environ 5, 6 et 35 grammes de carbone par kWh. On prévoit que les perfectionnements techniques réduiront sensiblement les émissions des divers systèmes. Les centrales à turbines à gaz à cycle combiné brûlant du gaz naturel liquéfié émettront 140 grammes de carbone par kWh (180 grammes par kWh avec les centrales actuelles au gaz naturel). On s'attend même à de meilleurs résultats avec les systèmes nucléaires et photovoltaïques. Les réacteurs de pointe à cycle du combustible fermé émettront de 2 à 3 grammes de carbone par kWh (6 grammes par kWh avec les réacteurs actuels) et les systèmes photovoltaïques à cellule au silicium amorphe, 8 grammes par kWh (35 grammes par kWh avec les installations photovoltaïques en service).

- Toutes les méthodes d'évaluation du risque écologique comportent des problèmes de quantification; non seulement les effets écologiques sont difficilement quantifiables, mais on ne s'accorde généralement pas sur ce qu'il faut quantifier, remarque M. Chadwick. Plusieurs méthodes ont été envisagées pour résoudre ces problèmes et diverses approches possibles de l'évaluation comparative du risque écologique ont été proposées. Il faut cependant approfondir la question si l'on veut se mettre à peu près d'accord sur l'approche la plus utile pour le processus de décision; M. Chadwick pense que ce serait là un bon sujet d'étude pendant la prochaine phase du projet DECADES.

- Selon M. Wilson, quatre problèmes préoccupent l'opinion publique, mais l'importance des risques respectifs est controversée, soit parce que les experts ne sont pas d'accord entre eux, soit parce que le public n'a pas confiance dans leur jugement. Les voici: probabilité et conséquences d'un accident nucléaire grave; effets sur la santé de la pollution par les aérosols; impact sur le climat mondial des émissions croissantes de CO₂ dues aux combustibles fossiles; et gestion des déchets du cycle du combustible nucléaire. M. Wilson a souligné que des accidents graves peuvent survenir, et se sont produits, dans

les systèmes énergétiques et que le dossier de sûreté du nucléaire est néanmoins excellent. Les effets des combustibles fossiles sur la santé publique sont essentiellement ceux de la pollution atmosphérique due notamment aux particules fines et aux sulfates. D'après maintes études, il semblerait que les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère terrestre augmentent de deux à trois fois pendant le prochain siècle. Bien que les effets qui en résulteront soient encore très controversés, on estime généralement que nous sommes en train de modifier sérieusement un important paramètre climatique (CO₂) susceptible d'affecter toute la planète. Le nucléaire, dont les émissions de CO₂ sont négligeables, pourrait se substituer, tout au moins dans une large mesure, aux combustibles fossiles.

Quant aux déchets des systèmes énergétiques, M. Wilson rappelle que, selon nombre d'experts, le nucléaire est la seule option que la société puisse raisonnablement envisager à long terme. Le public ne perçoit pas la gravité du problème des déchets du charbon qui contiennent pourtant des matières radioactives de longue période comparables aux déchets nucléaires. De plus, les déchets de l'extraction et de la combustion du charbon sont de loin supérieurs, en volume ou en masse, à ceux du cycle du combustible nucléaire. Aux Etats-Unis, par exemple, on extrait chaque année environ 800 millions de tonnes de charbon qui émettent quelque 120 millions de tonnes de cendres et 20 millions de tonnes de composés soufrés, pour produire de l'électricité.

Séance 4: L'exécution des évaluations comparatives. A cette séance présidée par M. Zhou Dadi (Chine), des exposés ont été présentés par M. L. Bennett et coll. (AIEA); M. T. Lefèvre, Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP); M. M. Amann, Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIAAS); M. T. Herberg et M. U. Fritsche (Allemagne); M. R. Campo (Colombie); et M. C. Heaps et coll., Institut d'écologie de Stockholm, Centre de Boston (Etats-Unis);

- Les résultats d'une vingtaine de monographies d'évaluations comparatives patronnées par l'AIEA dans le cadre du projet DECADES ont été présentés. Ces études visaient à déterminer les stratégies de production d'électricité qui permettraient de répondre aux exigences de la protection de l'environnement et, en particulier, de réduire les émissions atmosphériques à des coûts acceptables. On peut conclure, dans l'ensemble, que les émissions et autres charges écologiques peuvent être réduites si l'on améliore la performance des installations actuelles aux différents échelons des chaînes énergétiques, y compris aux niveaux de la conversion et du transport des combustibles. La rénovation des centrales en service, notamment en les dotant de dispositifs antipollution, est une solution bien souvent rentable pour atténuer les effets sur l'environnement.

Améliorer la performance générale des systèmes énergétiques en encourageant la production mixte est une solution qui s'avère aussi très rentable dans de nombreux pays, surtout s'il existe déjà des réseaux de distribution de chaleur pour le chauffage urbain.

Le nucléaire est une option efficace pour réduire les émissions de SO₂, NO_x et CO₂. Certaines études montrent par exemple que les objectifs de réduction des émissions de CO₂ pourraient certes être atteints sans recours au nucléaire, mais les coûts seraient sensiblement plus élevés. D'une façon générale, on peut conclure que les possibilités de réduire ces émissions seraient très restreintes si l'on ne faisait pas appel au nucléaire.

● La CESAP est l'auteur de monographies sur la planification écologique de l'énergie faites dans le cadre du programme de coopération pour l'Asie en matière d'énergie et d'environnement. Selon M. Lefèvre, bien que le développement durable soit désormais largement accepté comme objectif fondamental pour la société, il est clair que la définition de politiques continues dans le secteur énergétique est une tâche complexe qui pose des problèmes ardues à de nombreux pays d'Asie. Les pays en développement de cette région s'efforcent d'accroître leur production ou leurs importations d'énergie pour répondre à la demande souhaitée. Comme ils se développent rapidement et doivent accroître à bref délai leur capacité de production énergétique, ils ont surtout pensé à réduire les investissements au minimum sans se soucier beaucoup des conséquences écologiques. Toutefois, ils perçoivent la pression croissante des bailleurs de fonds multilatéraux et des pays donateurs qui les encouragent à prendre davantage soin de l'environnement et du développement durable. De plus, à mesure qu'ils deviennent plus prospères, leur société est de moins en moins disposée à sacrifier la qualité de l'environnement, y compris la santé publique, en échange d'une énergie à bon marché. Il s'ensuit qu'ils cherchent à acquérir des données techniques et scientifiques, ainsi que des méthodologies et des moyens modernes d'analyse énergie-environnement pour pouvoir prendre des décisions pertinentes en ce qui concerne leur stratégie de développement énergétique.

● Dans le cadre d'un projet commun du PNUE et de l'Institut suédois d'écologie sur les cycles du combustible, le Sri Lanka et le Venezuela ont exploité le logiciel et la base de données du projet pour examiner une série d'options énergétiques sous l'angle du combustible et de la technologie. Les deux études de cas ont montré que l'analyse du cycle du combustible peut utilement servir à préciser les compromis à faire entre les conséquences écologiques locales et mondiales. Pour le Venezuela, par exemple, le gaz naturel comprimé serait préférable au gazole quant à la pollution atmosphérique locale due aux centrales, mais pourrait provoquer une augmentation de la charge mondiale de gaz à effet de serre.

Séance 5: L'exécution des évaluations comparatives: monographies nationales. Sous la présidence

de M. César Cordoba-Salazar (Colombie), des exposés ont été présentés par Mme S. Messner de l'IIAAS (Autriche); M. J. Geidl et M. S. Kanhouwa (Etats-Unis); M. M. Vielle (France); M. A. Das (Inde); M. A. Khan et coll. (Pakistan); M. A. Popescu et coll. (Roumanie); et M. T. Larsson et coll. (Suède).

● Des études faites en Suède ont comparé l'influence sur les émissions de CO₂ de trois politiques distinctes de taxation et de subvention de l'énergie. Les principales différences ont été relevées entre les systèmes de taxation introduits en 1990 et en 1994 et, dans une moindre mesure, entre les politiques de subvention du secteur de l'énergie. Les résultats ont montré que les modifications apportées en 1994 à la politique énergétique se traduiraient en 2005 par une réduction des émissions de CO₂ de 20 % par rapport à ce qu'elles seraient si la politique adoptée en 1990 était maintenue. En revanche, après 2005, c'est-à-dire dès le début de la réduction progressive du nucléaire et par la suite, les émissions de CO₂ augmenteraient en flèche, quelle que soit la politique suivie (1990 ou 1994).

● Une étude faite au Pakistan au titre du projet DECADES a examiné deux voies possibles de développement de la production d'électricité, l'une prévoyant une croissance raisonnable de la puissance installée nucléaire, et l'autre postulant un moratoire. Les deux cas ont été comparés quant aux émissions associées de polluants tels que SO₂, NO_x et CO₂, méthane et radio-isotopes, compte tenu de toute la chaîne énergétique de chaque option. L'étude a montré que l'expansion du nucléaire au Pakistan non seulement serait rentable, mais aussi contribuerait à réduire l'impact écologique de la production d'électricité.

● En Roumanie, l'analyse comparative a montré que le plan le moins onéreux d'expansion du réseau électrique serait celui qui utilise des centrales au gaz naturel à cycle combiné. L'expansion du nucléaire serait d'un coût total (jusqu'en 2015) d'environ 2,6 % supérieur à celui du plan minimal, mais elle permettrait de réduire les émissions de CO₂ et de NO_x de 70 % et 80 % respectivement, jusqu'à 2015, par rapport aux émissions du cas minimal.

● En Inde, l'étude a porté sur diverses possibilités de réduire les émissions de CO₂, notamment un développement accéléré de l'hydroélectrique, un recours accru aux énergies renouvelables et l'application plus générale des techniques d'épuration des fumées de charbon. Le secteur de l'électricité est le plus gros émetteur de CO₂ en Inde et l'on prévoit une augmentation de la demande entre 6 et 7 % par an. Si le charbon continue de dominer le secteur, les émissions de CO₂ tripleront d'ici à 2011/2012. L'étude a montré que la stratégie la moins onéreuse serait un équipement hydroélectrique accéléré, qui réduirait les émissions de CO₂ de 12 % en 2011/2012. Elle a également porté sur un «scénario de réduction» supposant une baisse de 25 % des émissions de CO₂ d'ici à 2011/2012.

Ce scénario implique à la fois l'équipement hydro-électrique accéléré et l'application des techniques d'épuration des fumées. Il en résulterait une augmentation des coûts de 7 % par rapport au scénario habituel.

- En France, l'étude a porté sur les conséquences économiques et écologiques de l'énergie nucléaire. Elle a montré que, si le pays n'avait pas développé son équipement nucléaire, l'électricité coûterait environ 15 % de plus qu'aujourd'hui et son prix serait très sensible aux fluctuations de prix du charbon importé. Par ailleurs, les émissions d'anhydrite sulfureuse seraient de 18 % supérieures à ce qu'elles sont actuellement et les autres rejets atmosphériques auraient augmenté davantage encore.

- Un projet de recherche de l'IIAAS étudie les options et stratégies à long terme du développement énergétique durable et évalue en particulier les possibilités de réduire la consommation d'énergie et les rejets de carbone dans le monde entier. Il a été l'occasion d'un inventaire des techniques de réduction des émissions de CO₂ et a facilité l'application des données à plusieurs études. La base de données renseigne sur plus de 1 400 technologies dont plus de 70 % concernent la production d'électricité et la production mixte.

Séance 6: L'évaluation comparative au service de la décision. A cette dernière séance technique, présidée par M. Nengah Sudja (Indonésie), des exposés ont été présentés par M. R. Dutkiewicz (Afrique du Sud); MM. D. Martinsen et A. Voss et coll. (Allemagne); et Mme B. Reuber (Canada). D'importantes questions ont été examinées.

- Au Canada, Ontario Hydro a intégré l'évaluation comparative à son processus décisionnel. Les coûts extérieurs (par exemple les coûts sociaux dus aux effets sanitaires, qui n'entrent pas toujours dans le prix de l'électricité) ont été calculés pour les centrales à combustibles fossiles et pour le cycle utile intégral des centrales nucléaires. D'après les résultats préliminaires, les coûts extérieurs pour les centrales à combustibles fossiles varient de 0,06 à 1,66 cent canadien par kWh, la moyenne s'établissant à 0,40. Pour les centrales nucléaires, les prévisions de ces coûts se situent entre 0,0015 et 0,12 cent par kWh.

- En Allemagne, une étude exhaustive analyse les orientations possibles du développement futur du réseau énergétique national afin de définir les stratégies qui permettraient de réduire les émissions de CO₂ de 30 % d'ici à 2005 et de 50 % d'ici à 2020. Le rôle éventuel du nucléaire comme facteur d'atténuation a été examiné dans quatre scénarios distincts postulant une réduction de CO₂ de 50 %, dont l'un avec augmentation de la puissance installée nucléaire. L'étude conclut qu'il est possible de réduire les émissions de CO₂ de 50 % d'ici à 2020, et cela grâce à des technologies dès à présent disponibles ou dont on sait qu'elles le seront au cours des 30 prochaines années. Cet objectif pourrait être atteint sans recourir à l'énergie nucléaire, mais le

coût serait considérable. Une expansion du nucléaire permettrait d'atteindre l'objectif à bien moindres frais.

Orientations futures

Le colloque a souligné toute l'importance des évaluations comparatives au service des décideurs du secteur de l'électricité et précisé les domaines où un resserrement de la coopération à l'échelle mondiale s'avère nécessaire pour enrichir le fond de documentation et améliorer les moyens et les méthodes analytiques utilisés pour les évaluations comparatives.

Dans le cadre de ses divers programmes et activités, l'AIEA continue d'étudier les domaines dans lesquels ses compétences et son aide seront le plus utiles aux dirigeants et aux décideurs nationaux pour évaluer globalement et objectivement leurs systèmes et stratégies énergétiques.