

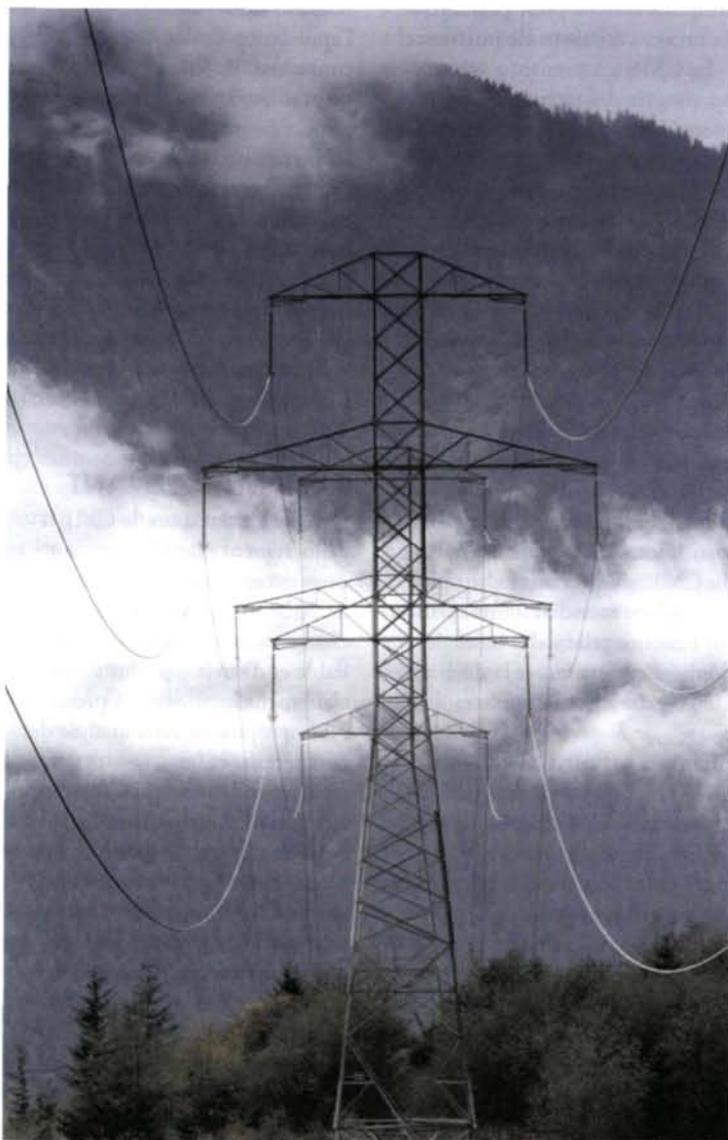
DÉVELOPPEMENT DES MOYENS D'ÉVALUATION COMPARATIVE DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE DÉVELOPPER L'INFRASTRUCTURE ÉNERGÉTIQUE

BRUCE HAMILTON, GUENTER CONZELMANN ET DUY THANH BUI

L'analyse des systèmes énergétiques nationaux atteint des degrés de complexité sans précédent. Outre l'incertitude liée à l'évolution de la demande d'énergie, des progrès technologiques et des coûts, les planificateurs et décideurs se heurtent à des questions telles que la protection de l'environnement, le développement durable, la déréglementation et la libéralisation des marchés. Dans le même temps, les crédits publics destinés aux projets d'investissement énergétique se réduisent progressivement.

L'AIEA propose à ses États Membres un programme complet d'assistance technique et de coopération couvrant diverses questions liées aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Dans le domaine de l'évaluation comparative de la situation énergétique, cette assistance a pour but de renforcer les moyens nationaux d'élaboration de modes viables d'offre et de consommation d'énergie. Elle revêt trois formes :

- diffusion de méthodes et d'outils sophistiqués de prise de décision adaptés aux besoins particuliers des pays en développement;
- offre d'une formation à l'application de modèles, à l'interprétation de résultats et à leur traduction en décisions ou en mesures;
- réalisation d'études nationales en coopération avec les États Membres demandeurs.



Credit: Russel Illsley / PhotoDisc

M. Hamilton et M. Bui sont employés à la Section de la planification et des études économiques de l'AIEA (Département de l'énergie nucléaire). M. Conzelmann dirige la Section des études nationales et internationales au Laboratoire national d'Argonne (États-Unis). Photo : L'AIEA aide de nombreux pays à planifier le développement de leurs systèmes de production d'électricité.

MÉTHODES ET OUTILS D'ANALYSE DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE

L'AIEA propose, depuis longtemps, des données, des informations et des outils d'analyse qui permettent de prendre en connaissance de cause des décisions quant à la meilleure façon de répondre aux besoins énergétiques d'un pays.

Planification fondée sur le moindre coût dans les années 70 et 80. Au début des années 70, l'AIEA a commencé à soutenir le développement et l'application d'outils d'analyse des systèmes électriques utilisés par les États Membres pour analyser le rôle potentiel de l'énergie nucléaire. Les projections de demande d'électricité étant un déterminant important du besoin d'énergie nucléaire, les premières activités ont notamment consisté à mettre au point le Modèle pour l'analyse de la demande d'énergie (MAED). Ce modèle est utilisé par les pays en développement pour établir des prévisions de demande d'électricité correspondant à leurs objectifs et à leurs moyens économiques et industriels.

L'AIEA a conçu le MAED en collaboration avec l'Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble (France) et avec l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués de Laxenburg (Autriche). Ce modèle offre un cadre de simulation souple permettant d'étudier l'influence des changements sociaux, économiques, technologiques et politiques sur l'évolution à long terme de la demande d'énergie. Un accent particulier est placé sur la prévision de la demande d'électricité, non seulement sur le plan des besoins annuels totaux, mais aussi sur celui de la répartition heure par heure de la demande d'énergie sur l'année. Ces résultats sont un élément essentiel de toute analyse de

développement des systèmes énergétiques.

Le Programme de planification automatique des systèmes de Vienne (Wien Automatic System Planning Package – WASP) sert à déterminer le développement à long terme économiquement optimal d'un système de production d'électricité. Le modèle WASP, conçu en 1972 pour l'AIEA par la Tennessee Valley Authority (TVA, États-Unis), est depuis cette date l'outil de l'Agence le plus populaire et le plus durablement utilisé de planification du secteur de l'électricité.

On notera que le WASP a été conçu à une époque où la plupart des pays considéraient l'électricité comme un bien stratégique. Ceux-ci avaient établi un service public verticalement intégré chargé de produire, de transmettre et de distribuer l'électricité. Avec ce type de structure du système électrique, on peut analyser l'exploitation et le développement du système de manière relativement simple et directe. On peut modéliser la répartition des unités sur la base du coût variable le plus faible, incorporer comme contraintes les exigences de fiabilité du système, planifier le développement en fonction de la valeur actualisée du coût le plus faible à l'échelle du système, et déterminer le rôle de l'énergie nucléaire et des autres modes de production en fonction du coût relatif de leur cycle de vie.

Analyse financière, évaluation des contraintes environnementales et analyse intégrée des systèmes énergétiques dans les années 90. La recherche d'investissements destinés aux moyens de production d'électricité sur des marchés de l'électricité et de la finance de plus en plus libéralisés peut ne pas avoir grand chose à voir avec les stratégies d'investissement de services publics dans des conditions de monopole. Pour aider à répondre aux besoins

changeants des planificateurs et des décideurs du secteur énergétique, l'AIEA a mis au point, en collaboration avec le Crédit Lyonnais (Paris, France) et avec la Commission pakistanaise de l'énergie atomique (PAEC, Islamabad, Pakistan), un programme d'analyse financière appelé FINPLAN.

FINPLAN sert à évaluer les conséquences financières d'un programme de développement énergétique fondé sur certains "ratios" que les institutions financières prennent en compte pour estimer la viabilité d'un projet ou programme d'investissement. En outre, FINPLAN sert à déterminer le prix de vente de l'électricité qui permettrait d'amortir les investissements. Les prévisions établies à l'aide de ce modèle tiennent compte de la sensibilité des prix aux taux de change, de la fluctuation de la demande, et des taux d'inflation prévisibles des monnaies tant nationales qu'étrangères. Le modèle intègre également des éléments de fiscalité simplifiés tels que le calcul des recettes prises en compte pour les déductions au titre des taux d'intérêt, les pertes déclarées passées, les amortissements possibles et les taux d'imposition proportionnels.

L'élaboration d'un ensemble d'outils informatiques d'analyse de la situation énergétique et environnementale a débuté en 1993 dans le cadre du Projet conjoint inter-agences de l'AIEA sur les bases de données et les méthodologies utilisées pour l'évaluation comparative des différentes sources d'énergie servant à la production d'électricité (DECADES). Ces outils comprennent des bases de données et des programmes d'analyse qui peuvent servir à évaluer les compromis possibles entre les aspects techniques, économiques et environnementaux de différentes techniques, chaînes et systèmes de production d'électricité.

ÉVALUATION COMPARATIVE: ANALYSE DES FUTURES OPTIONS ÉNERGÉTIQUES AU VIET NAM

Dans le cadre d'un projet de coopération technique de l'AIEA engagé en 1997, une équipe de travail nationale vietnamienne a utilisé divers outils informatiques pour analyser le développement énergétique du pays. Cette équipe a utilisé le Programme d'évaluation de l'énergie et de l'électricité (ENPEP) pour prévoir la demande d'énergie et d'électricité (à l'aide du Modèle pour l'analyse de la demande d'énergie (MAED); déterminer le développement à long terme optimal du système de production d'électricité (au moyen du Programme de planification automatique des systèmes de Vienne (WASP)); et estimer les contraintes environnementales liées à la production d'électricité (à l'aide d'un module ENPEP baptisé IMPACTS).

Le Viet Nam est en train de passer rapidement d'une économie agricole à une économie industrielle et a connu ces dernières années une croissance économique considérable qui devrait se poursuivre jusqu'en 2020. Du fait de l'urbanisation accélérée et de l'élévation du niveau de vie et des dépenses de consommation, la demande d'électricité devrait croître rapidement. Les spécialistes nationaux de l'électricité estiment que la charge de pointe annuelle du système interconnecté passera de 2,75 GWe en 1995 à 24,32 GWe en 2020. Le taux de croissance annuel moyen estimatif est de 9,1% avec des taux de croissance supérieurs au début (jusqu'à 11,5%) et inférieurs à la fin (6,7%) de la période étudiée. Cette évolution est essentiellement due à la croissance rapide de la demande d'électricité émanant de l'industrie, des services et des ménages urbains.

Les résultats de l'étude de développement du système de production montrent que dans le scénario de référence, l'hydroélectricité et le gaz naturel satisferont l'essentiel des besoins énergétiques du pays. Cependant, on prévoit que la part de l'hydroélectricité, du pétrole et du charbon chutera sensiblement pendant la période 1995-2020 au profit du gaz naturel et du nucléaire. L'hydroélectricité devrait passer d'environ 70% à environ 52% de la puissance installée totale. De leur côté, la part du pétrole devrait passer d'environ 9% à 2% tandis que celle du charbon devrait passer de 16% à 9%. En revanche, les centrales à cycles combinés fonctionnant au gaz naturel devraient voir leur part passer de 5% à 29%. Cette croissance importante s'appuiera sur les ressources en gaz naturel du pays, qui dispose de réserves avérées estimées à 6 000 milliards de pieds cubes et de réserves probables pouvant atteindre 10 000 milliards de pieds cubes. La première centrale nucléaire devrait commencer de fonctionner en 2017, atteignant une production totale d'environ 2500 MWe en 2020, niveau représentant 7,7% de la puissance installée totale de production d'électricité.

L'équipe nationale a également estimé les émissions futures de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité en exportant la configuration optimale de développement du système électrique du modèle WASP vers le module environnemental de l'ENPEP appelé IMPACTS. Ce module calcule les rejets de polluants dans l'atmosphère en fonction de la consommation de combustible projetée par le modèle WASP et de facteurs d'émission standard disponibles dans l'une de ses bases de données. Les résultats montrent une augmentation considérable des émissions de CO₂ liées à la production d'électricité.

Les émissions provenant des centrales alimentées au charbon augmentent jusqu'en 2007, aussi longtemps que la production de charbon augmente.

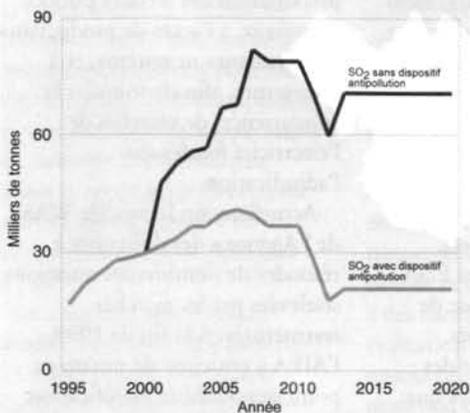
Cette tendance s'infléchit sensiblement pendant la seconde moitié de la période étudiée, les centrales au charbon existantes étant retirées et un nombre important de centrales hydroélectriques et de centrales à cycles combinés fonctionnant au gaz naturel entrant en service parallèlement au nucléaire (à partir de 2017). En 2020, le gaz naturel représentera, au Viet Nam, 61% des émissions de CO₂ provenant du secteur de l'électricité.

Il existe, en matière d'émissions projetées, une différence notable entre le sud et le nord du pays. Au Viet Nam, les centrales au charbon sont situées essentiellement dans le nord, où se trouvent la majorité des réserves de charbon du pays, ce qui explique la concentration des émissions de SO₂ dans la région septentrionale (83% en 2020). La mise hors service et le remplacement des centrales au charbon anciennes et inefficaces après 2007 expliquent la diminution importante des émissions de SO₂ dans le nord observée pendant la seconde moitié de la période de projection. Les réserves de pétrole et de gaz, en revanche, sont situées dans la partie méridionale (principalement en mer), alimentant la forte croissance de la production d'électricité à base de gaz. Cette situation explique pourquoi on prévoit que le sud produira, en 2020, environ 62% des émissions de CO₂ et 70% des émissions de NO_x.

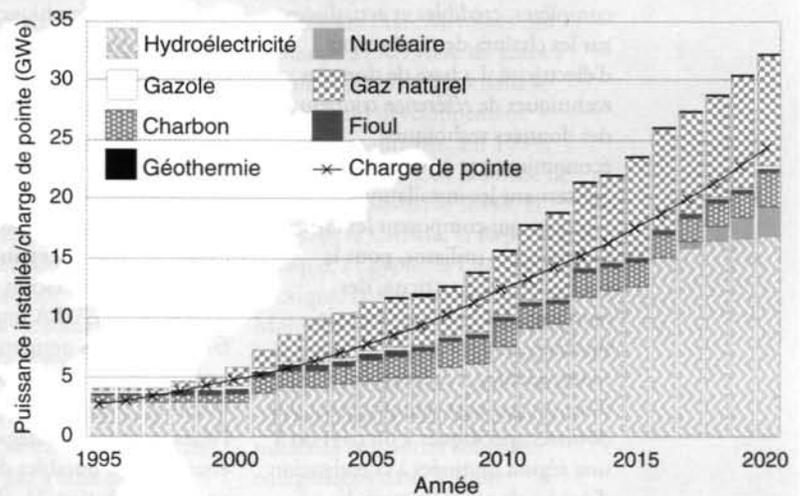
L'équipe nationale a également analysé les coûts qu'entraînerait le respect de la réglementation vietnamienne relative à la limitation des émissions de matières sous forme de particules et de dioxyde de soufre. Pour limiter les émissions de particules, l'équipe a envisagé d'utiliser des précipitateurs électrostatiques ayant un rendement de 97% dans les centrales existantes et de 99% dans les nouvelles centrales. Pour respecter les taux plafonds d'émission de SO₂ dans les nouvelles centrales à charbon, les experts nationaux ont envisagé de recourir à une désulfuration à sec des gaz de combustion ayant un rendement de 70% dans les nouvelles centrales à charbon brûlant de l'antracite locale à faible teneur en soufre (0,52%) et de 90% dans les nouvelles centrales à charbon brûlant du charbon bitumineux importé à moyenne teneur en soufre (1,62%). Le module IMPACTS a alors été utilisé pour estimer, à l'échelle du système, le coût du respect de la réglementation relative à la protection de l'air.

L'analyse a porté, en particulier, sur les coûts qu'entraînerait le respect de la limitation des émissions de SO₂ dans le nord du Viet Nam. Les résultats ont montré qu'à la fin de la période étudiée, les émissions seraient ramenées de 71 000 à 21 300 tonnes. Dans l'ensemble du pays, on éviterait, grâce aux technologies antipollution, le rejet de 858 000 tonnes de SO₂ pendant la période étudiée. Ces réductions représentent un coût total actualisé de 180,4 millions de dollars (à un taux d'actualisation de 10%), soit environ 210 dollars par tonne de SO₂ évitée. On estime à 282 millions de dollars le coût total actualisé du respect des normes environnementales pour les matières sous forme de particules et pour le SO₂.

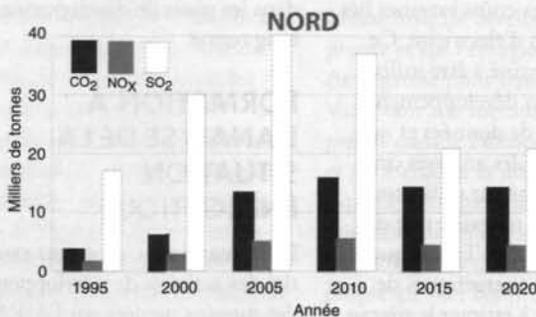
ÉMISSIONS AVEC ET SANS DISPOSITIFS ANTIPOLLUTION DANS LE NORD DU VIET NAM



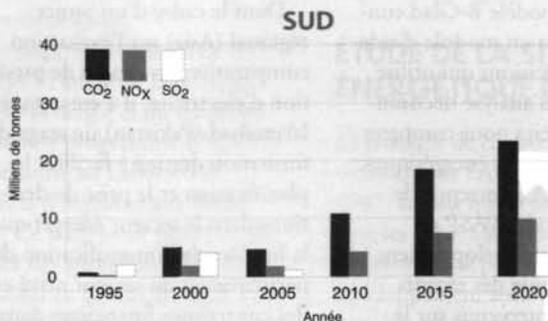
DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE VIETNAMIEN (SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE)



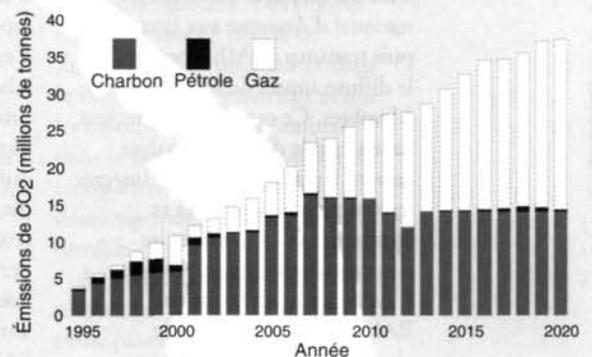
ÉMISSIONS RÉGIONALES (PROJECTION) LIÉES À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ AU VIET NAM



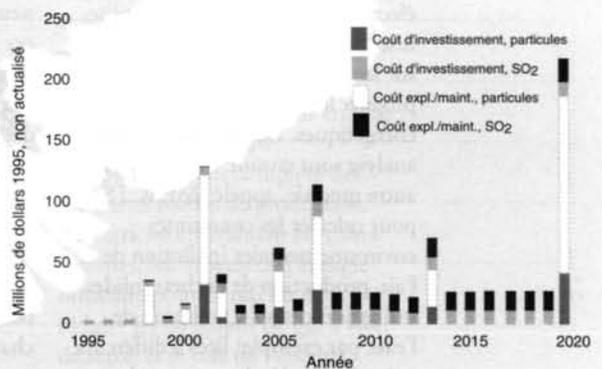
CO₂: fois 10⁶ tonnes
 NO_x: fois 10³ tonnes
 SO₂: fois 10³ tonnes



ÉMISSIONS (PROJECTION) DE CO₂ AU VIET NAM LIÉES À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ



COÛT (PROJECTION) DU RESPECT DES NORMES ENVIRONNEMENTALES AU VIET NAM (PARTICULES ET SO₂)



Deux types de bases de données techniques ont été mis au point pour fournir des informations complètes, crédibles et actualisées sur les chaînes de production d'électricité. La base de données techniques de référence contient des données techniques, économiques et environnementales concernant les installations typiques qui composent les chaînes énergétiques utilisant, pour la production d'électricité, des combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et des sources d'énergie renouvelables. Les bases de données par pays comprennent des données spécifiques à un pays ou à une région destinées à la réalisation d'études de cas au moyen du programme d'analyse DECADES.

Le Programme d'évaluation de l'énergie et de l'électricité (ENPEP) a été conçu par le Laboratoire national d'Argonne aux États-Unis, puis transmis à l'AIEA pour qu'elle le diffuse auprès de ses États Membres. Ce programme contient un ensemble d'outils d'analyse servant à planifier de façon intégrée les systèmes énergétiques et électriques et à quantifier les contraintes environnementales. L'un de ses modules, appelé BALANCE, sert à suivre le cheminement de l'énergie à travers l'ensemble du système énergétique, de l'extraction des ressources à leur conversion en passant par leur traitement, à répondre aux demandes d'énergie utile (chauffage, transports, appareils électriques, par exemple). Il utilise une méthode de simulation fondée sur les principes du marché pour projeter les futurs bilans énergétiques. Les résultats de cette analyse sont ensuite transmis à un autre module, appelé IMPACTS, pour calculer les contraintes environnementales (pollution de l'air, production de déchets solides, utilisation des sols, pollution de l'eau, par exemple) liées à différents scénarios de développement du secteur énergétique.

La version la plus récente de ce programme, utilisable sur ordinateur personnel, comporte une interface graphique largement améliorée permettant de visualiser et de modifier à l'écran un réseau énergétique représentatif. Elle permet également de mieux évaluer la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Répondre à des besoins évolutifs en 2000 et au-delà. L'évolution des besoins des États Membres de l'AIEA impose de faire des efforts permanents, notamment pour résoudre des questions importantes telles que l'élaboration de stratégies énergétiques durables dans le contexte d'Action 21, de la déréglementation des marchés et de la privatisation.

En 2000, l'Agence achèvera d'élaborer une méthode simplifiée (appelée B-Glad) d'estimation et d'évaluation des coûts externes liés à la production d'électricité. Ce programme destiné à être utilisé dans les pays en développement qui manquent de données et ne peuvent s'offrir des analyses coûteuses fonctionne sur ordinateur personnel et ne nécessite que des données minimales. Tandis que les autres modèles énergétiques de l'AIEA servent à estimer le niveau de contraintes environnementales liées à différentes solutions énergétiques, le modèle B-Glad sert à analyser la dispersion et le transport des polluants, à déterminer les effets sanitaires et environnementaux connexes et à évaluer ces effets. Le modèle B-Glad contient également un module d'aide à la prise de décisions qui utilise des méthodes d'analyse décisionnelle multicritères pour comparer différentes solutions énergétiques.

Enfin, l'AIEA a entrepris de revoir sa méthode WASP de planification du développement pour tenir compte des récents changements intervenus sur le marché de l'électricité. Parallèlement à la restructuration

des systèmes de production d'électricité dans le monde, on assiste, à divers degrés, à la privatisation des services publics nationaux, à l'accès de producteurs indépendants au système, et à l'ouverture, afin de stimuler la concurrence, de marchés de l'électricité fondés sur l'adjudication.

Actuellement, le modèle WASP de l'Agence a des difficultés à résoudre de nombreuses questions soulevées par les marchés restructurés. À la fin de 1999, l'AIEA a entrepris de mettre au point des outils de planification des systèmes électriques capables de mieux aider les pays à déterminer comment les centrales nucléaires existantes peuvent affronter la concurrence sur le nouveau marché de l'électricité et comment de nouvelles centrales nucléaires pourraient s'intégrer dans les plans de développement à long terme.

FORMATION À L'ANALYSE DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE

La formation est un aspect essentiel des activités de développement des moyens menées par l'AIEA. Depuis 1978, plus de 1000 experts originaires de 73 pays ont participé à des stages régionaux et interrégionaux de formation à la planification énergétique organisés par l'Agence. Trois stages de ce type ont été proposés en 1999.

Dans le cadre d'un projet régional (Asie) sur l'évaluation comparative des modes de production d'électricité, il a été organisé à Islamabad (Pakistan) un stage de formation destiné à faciliter la planification et la prise de décisions dans le secteur énergétique à la lumière de l'intensification de la participation du secteur privé et des contraintes financières dans le secteur de l'électricité. Cette formation a principalement porté sur

la façon dont les outils de planification des systèmes électriques de l'AIEA peuvent servir à analyser des technologies de différentes générations et des contrats de producteurs indépendants pour élaborer des plans de développement des systèmes électriques qui soient peu onéreux, financièrement viables et respectueux des limites fixées au niveau national en matière d'émission de polluants de l'air.

Un stage régional (Europe) intitulé "Évaluation comparative de l'énergie nucléaire et d'autres modes et stratégies de production d'électricité à l'appui d'un développement énergétique durable" a été organisé à Trieste (Italie). Cette formation a essentiellement consisté en la réalisation d'une étude comparative par chacune des équipes nationales participantes. Les principales composantes de l'étude étaient les suivantes : 1) élaboration d'une base de données de pays répertoriant les caractéristiques techniques, économiques et environnementales des installations énergétiques et des combustibles utilisés; 2) caractérisation de l'intégralité des chaînes de production d'électricité en termes de coûts connexes, d'émissions de polluants de l'air, de production de déchets solides et d'utilisation des sols; 3) élaboration de plans économiques de développement des systèmes électriques; et 4) évaluation des contraintes environnementales liées à d'autres stratégies de développement des systèmes électriques.

Un stage interrégional de formation à l'étude de la planification de l'énergie et du nucléaire utilisant le programme ENPEP a été organisé au Laboratoire national d'Argonne aux États-Unis. Ce stage avait pour but de former des spécialistes d'États Membres en développement aux méthodes de planification intégrée de l'énergie et de l'électricité et de quantification des contraintes

environnementales liées à différents scénarios de développement du secteur énergétique. Les principaux points abordés étaient notamment : aperçu des concepts et de la terminologie relatifs à la planification des systèmes énergétiques nationaux, caractérisation des chaînes énergétiques, rapports existant entre la planification énergétique, économique et environnementale, potentiel de réduction de la demande d'énergie grâce à des mesures de conservation, évaluation des besoins en ressources et de l'impact environnemental des systèmes énergétiques, méthodes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, réalisation d'études nationales à l'aide du programme ENPEP, et préparation et présentation d'un rapport d'étude.

Outre ces stages de formation, un séminaire national sur le Mécanisme de développement propre et sur l'énergie nucléaire a été organisé pour sensibiliser le Viet Nam aux mécanismes souples prévus dans le Protocole de Kyoto, et pour étudier la mesure dans laquelle l'énergie nucléaire pourrait convenir comme technologie de développement propre au Viet Nam. Dans le même but, il a été organisé en République tchèque un séminaire régional sur le mécanisme d'application conjointe du Protocole de Kyoto et, à Vienne, un séminaire d'information destiné aux missions résidentes auprès de l'AIEA.

ÉTUDE DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE DES PAYS

La stratégie de coopération technique de l'AIEA, établie en 1997, stipule que cette coopération avec les États Membres a pour but de favoriser de plus en plus un développement socio-économique tangible en contribuant directement, d'une manière efficace par rapport aux coûts, à la

réalisation des principales priorités de développement durable de chaque pays.

Plusieurs États Membres ont demandé à l'AIEA de les aider à renforcer leurs moyens dans le domaine du développement énergétique durable. En 1999, l'Agence a aidé, sous la forme de projets nationaux, le Brésil, la Bulgarie, la Croatie, la République tchèque, l'Égypte, la Lituanie, le Mexique, la République de Moldova, la Pologne, la Slovénie, le Soudan et le Viet Nam (*voir encadré et graphiques, pages 10 et 11*) à évaluer le rôle de l'énergie nucléaire et d'autres solutions énergétiques dans le futur développement de leur système de production d'électricité, compte dûment tenu des divers problèmes techniques, économiques et environnementaux. Des projets régionaux mis en œuvre en Europe, en Asie orientale et dans le Pacifique ont également évalué les besoins des États Membres dans le domaine de l'évaluation comparative aux fins du développement énergétique durable.

Au début des années 90, la plupart des projets consistaient principalement à déterminer le rôle de l'énergie nucléaire dans la stratégie économiquement optimale de développement du système électrique d'un pays. Plus récemment, des projets se sont mis à étudier des systèmes énergétiques fondés sur les principes du marché et à évaluer les contraintes environnementales. Les futurs projets mis en œuvre dans ce domaine devraient de plus en plus consister à dresser une comptabilité plus complète des différents modes de production d'électricité en évaluant les coûts externes, les mérites de l'énergie nucléaire pour ce qui est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et le rôle de l'énergie nucléaire dans les marchés de l'électricité privatisés. □