

## Le rôle de l'énergie nucléaire dans l'économie des pays en développement: comment l'Agence peut aider à l'évaluer

par L.L. Bennett, J.-P. Charpentier et J.A. Marques de Souza\*

Un des objectifs de l'AIEA consiste à aider ses Etats Membres en développement pour l'application pacifique de l'énergie nucléaire. A cette fin, l'Agence conduit un vaste programme relatif à la planification et à l'exécution des projets nucléaires qui comprend des évaluations économiques destinées à déterminer le rôle que peut jouer l'énergie nucléaire dans les plans énergétiques des pays en question. Ces évaluations comportent trois catégories d'activités interdépendantes et étroitement liées entre elles: la mise au point de méthodes expressément adaptées aux pays en développement; les cours sur les techniques de planification énergétique et nucléaire, qui portent entre autres sur l'emploi de méthodes élaborées par l'Agence; enfin l'exécution d'études de planification énergétique et nucléaire en coopération avec les Etats Membres demandeurs.

### Estimation des besoins futurs d'énergie électrique

Les besoins d'énergie nucléaire dépendent avant tout et doivent être estimés en fonction de la demande future de courant électrique. L'expérience a montré que souvent l'information fournie à ce sujet par les pays en développement n'était pas présentée de façon assez systématique pour assurer une cohérence interne avec leurs principaux objectifs et possibilités de développement économique et industriel. Aussi les prévisions de la demande d'électricité ont-elles souvent constitué le point faible des estimations du rôle du nucléaire dans l'approvisionnement en énergie d'un pays.

Afin d'améliorer les estimations de la demande future d'électricité, l'Agence a mis au point, avec la collaboration de l'IEJE (Institut économique et juridique de l'énergie) de Grenoble (France) et de l'IASA (Institut international d'analyse appliquée des systèmes) de Laxenburg (Autriche), un modèle informatique appelé

\* M. Bennett dirige la Section des études économiques de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'Agence; MM. Charpentier et Marques de Souza sont membres de la Section des études économiques.

MAED\* qui repose sur l'expérience acquise au moyen d'un modèle précédemment existant appelé MEDEE\*\*. Cette opération, commencée en 1980, s'est achevée en 1981. L'Agence emploie désormais le modèle MAED pour élaborer des projections cohérentes de la demande future d'énergie et d'électricité.

Le modèle MAED, qui est décrit dans la figure 1, offre un cadre de simulation souple permettant d'étudier l'influence des transformations sociales, économiques, technologiques et politiques sur l'évolution à long terme de la demande d'énergie. Ce modèle est un peu plus simple que MEDEE, ce qui en rend l'emploi plus facile avec une base de données limitée comme c'est généralement le cas pour les pays en développement.

Pour analyser la demande d'énergie d'un pays donné on divise son économie en grands secteurs (ménages, transports, industrie, services) et les besoins de chaque secteur en catégories d'énergie utile et finale (chauffage, cuisine, fours, transports interurbains, etc.).

Les besoins d'énergie utile et finale sont décrits au moyen de deux types de paramètres: le premier est lié aux considérations techniques (telles que le rendement des divers appareils) et l'autre au style de vie (kilométrage annuel d'une voiture, dimension du logement, etc.).

L'accent est plus spécialement mis sur la demande d'électricité exprimée non seulement en termes de besoins annuels totaux mais aussi de répartition heure par heure de la demande tout au long de l'année.

La méthode MAED comporte les opérations suivantes:

- Analyse méthodique du système social, économique et technologique afin de connaître les principaux facteurs qui déterminent l'évolution à long terme de la demande;
- Décomposition de la demande totale en multiples catégories d'utilisation finale. Le choix des catégories à envisager dépend des objectifs de l'analyste et des données disponibles;

\* Model for Analysis of Energy Demand.

\*\* Modèle d'évolution de la demande d'énergie.

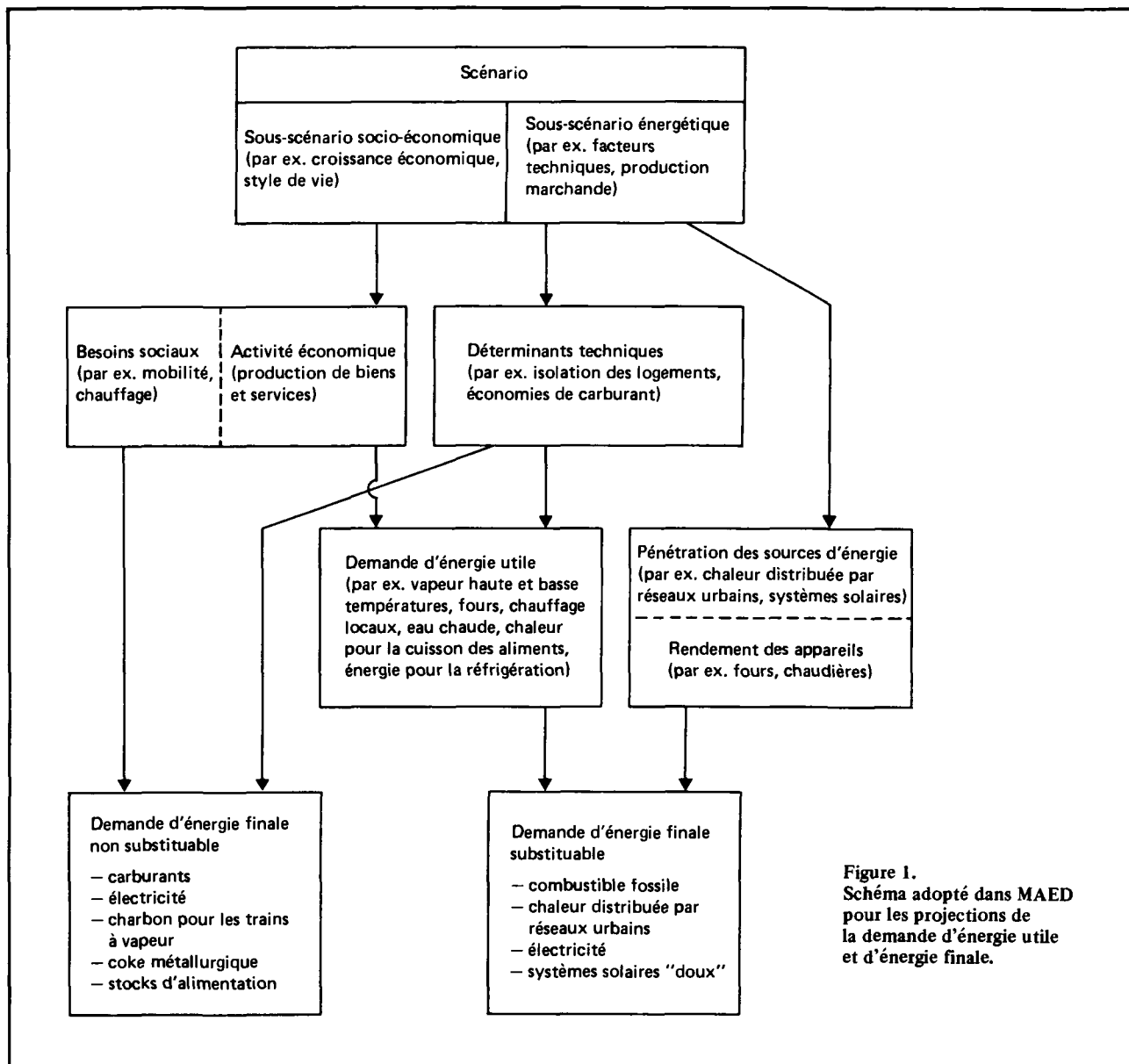


Figure 1. Schéma adopté dans MAED pour les projections de la demande d'énergie utile et d'énergie finale.

- Assemblage de tous les déterminants en une structure à plusieurs niveaux, depuis les «macro-» jusqu'aux «micro-déterminants», pour montrer comment les macro-déterminants affectent chaque catégorie d'utilisation finale;

- Construction d'un modèle de simulation obtenu par simplification de la structure et répartition des déterminants en déterminants exogènes et éléments de scénario. Les *déterminants exogènes* comprennent les facteurs dont l'évolution est difficile à modéliser (par exemple la croissance démographique et le nombre de personnes par ménage) mais dont on peut conjecturer l'évolution à long terme d'après des tendances antérieures ou d'autres données telles que les études démographiques. Les *éléments de scénario* sont les déterminants dont on ne peut pas extrapoler l'évolution à partir de tendances antérieures parce que la structure de la croissance de la demande d'énergie a pu changer. C'est le cas des facteurs politiques.

#### Analyse de l'économie de l'expansion des systèmes

Le modèle WASP\* est un système de programmes d'ordinateur faisant appel aux techniques de programmation dynamique pour l'optimisation économique des plans d'expansion des systèmes de production d'électricité (ESEP). C'est un modèle de l'offre, alors que MAED est un modèle de la demande. Le modèle WASP a été élaboré pour l'Agence par la Tennessee Valley Authority (TVA) des Etats-Unis et a été utilisé pour la première fois à l'occasion de l'«Etude de marché de l'énergie d'origine nucléaire pour les pays en développement» (1972-73). La TVA et le Laboratoire National d'Oak Ridge en ont donné en 1976 une nouvelle version (WASP-II) améliorée qui a été très largement utilisée par l'Agence et par les Etats Membres. Ensuite est apparue la version WASP-III, achevée en 1980 grâce à la collaboration entre l'AIEA et la

\* Wien (Vienne) Automatic System Planning.

Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine (CELA). Cette dernière version répondait aux besoins de la CELA qui voulait étudier l'interconnexion des réseaux électriques de six pays d'Amérique centrale possédant un important potentiel hydro-électrique. WASP-III est conforme aux recommandations faites en 1979 par un groupe consultatif de l'AIEA sur la planification de l'expansion des systèmes de production d'électricité.

Le modèle WASP est construit comme un système modulaire souple pouvant traiter les paramètres d'évaluation ci-après, qui sont tous liés entre eux: caractéristiques prévisionnelles de la charge (prévisions relatives à l'énergie électrique, développement du système de production d'électricité); coûts de l'exploitation des centrales et du combustible; dépenses d'investissement pour les centrales; paramètres techniques des centrales; critères de fiabilité de l'approvisionnement en courant; et pratiques de l'exploitation des systèmes de production.

Les prévisions relatives à l'énergie électrique s'obtiennent au moyen de MAED comme on l'a vu plus haut. MAED fournit à WASP non seulement la demande annuelle totale de courant électrique mais encore quelques détails essentiels sur la distribution estimée de cette demande dans le temps, c'est-à-dire une courbe «charge/durée», comme indiqué à la figure 2.

Le modèle WASP se compose de six programmes principaux. L'un d'eux peut servir à décrire les caractéristiques saisonnières des charges électriques pour chaque année étudiée. Un deuxième programme permet de décrire le système existant et toutes les centrales dont la mise en service et hors service a été prévue. Un troisième programme décrit les différentes centrales que l'on pourrait choisir pour une expansion du système existant (centrales «candidates»). Un quatrième programme permet de tracer d'autres configurations d'expansion possibles. Une configuration est un parc de centrales qui offre les capacités voulues pour les besoins du producteur ou de l'Etat Membre. Un cinquième programme indique si l'on a simulé l'exploitation du système pour une configuration donnée. Dans la négative, ce programme simule la configuration en question. On peut alors, au moyen d'un modèle de simulation probabiliste, calculer la quantité d'énergie que doit produire chaque centrale et les coûts d'exploitation correspondants. On obtient aussi une estimation de la fiabilité du système de production et le volume probable de la demande non satisfaite. On peut enfin choisir un sixième programme afin de calculer le plan d'expansion permettant, au moindre coût, d'ajouter de nouvelles tranches au système pendant la période considérée, en utilisant les fichiers engendrés par les autres modules ainsi que des données économiques et des critères de fiabilité. Ce programme d'optimisation dynamique doit fournir la valeur actualisée des coûts d'exploitation (combustible compris) plus les dépenses d'investissement, plus une pénalité pour l'énergie non fournie, moins un crédit correspondant à la valeur

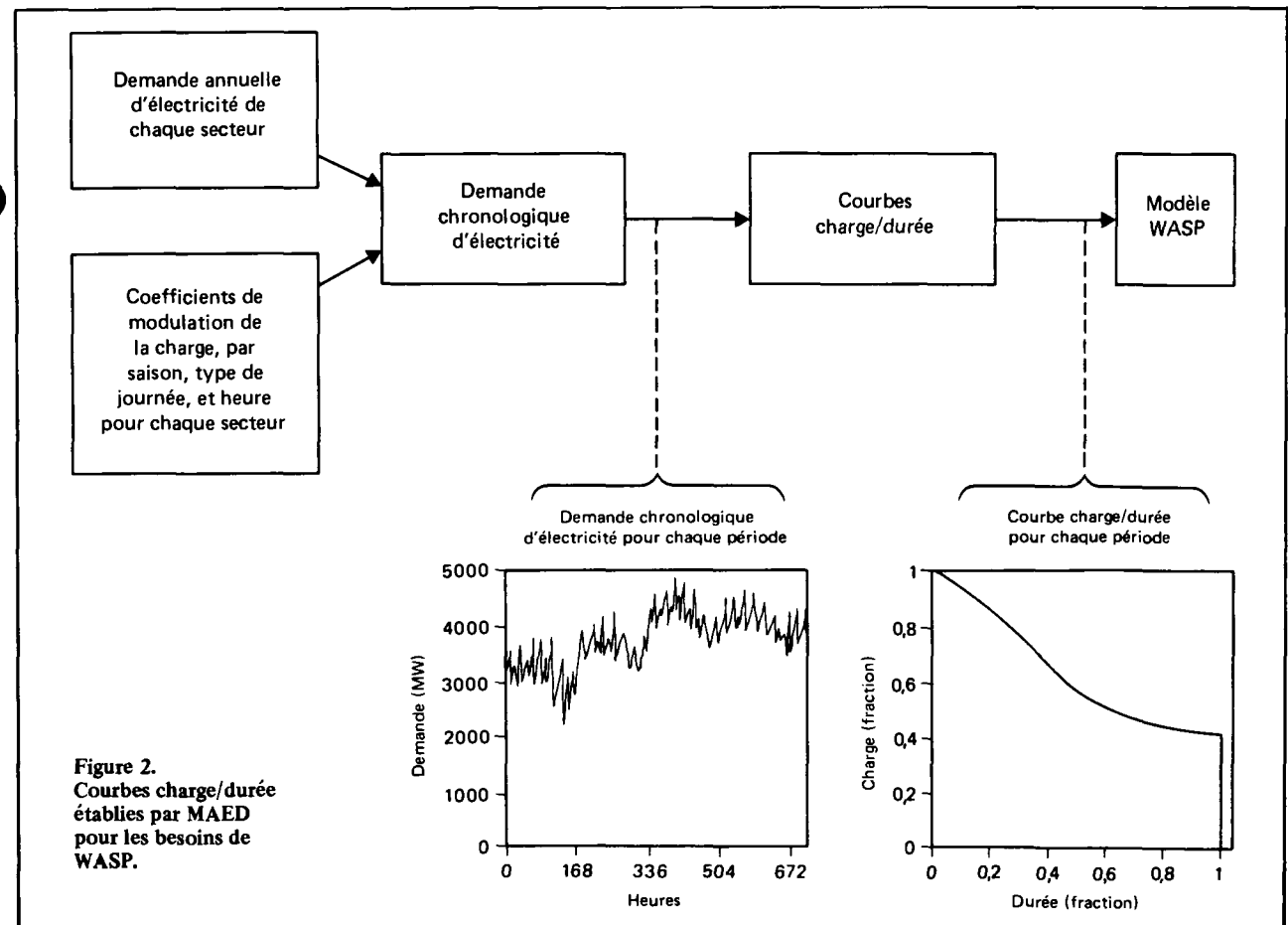


Figure 2. Courbes charge/durée établies par MAED pour les besoins de WASP.

économique de la durée de vie restante de la centrale à l'horizon du plan.

Vers le milieu de 1982, l'Agence avait transféré le programme WASP à 45 pays demandeurs et cinq organisations internationales s'intéressant à la planification de l'expansion des systèmes de production d'électricité. A l'heure qu'il est, les 45 pays en questions signalent avoir utilisé WASP dans quelque 60 études d'ESEP, et projettent encore une trentaine de ces études.

Afin de mettre les Etats Membres en mesure d'établir leurs propres projections et leurs plans d'approvisionnement, l'Agence offre à l'intention de spécialistes des Etats Membres en développement deux cours sur l'analyse de la demande d'énergie et la planification de l'expansion des systèmes de production.

### Formation à la planification énergétique

Le cours intitulé *Planification de l'énergie, notamment de l'énergie nucléaire, dans les pays en développement* a pour but principal de familiariser les spécialistes de l'énergie des pays en développement avec les notions élémentaires de la planification nationale de l'énergie en général. Ce cours met l'accent sur la compréhension du rôle approprié de l'énergie nucléaire. N'étant pas réservé aux pays qui se sont déjà engagés dans la voie du nucléaire, il est ouvert à tous les Etats Membres en développement de l'Agence, et à des participants s'intéressant aussi bien au non-nucléaire qu'au nucléaire. Il s'agit d'améliorer l'aptitude de chaque pays à faire un choix réfléchi et objectif entre les diverses options possibles.

Une idée assez répandue parmi les planificateurs eux-mêmes est que la planification énergétique est simplement une question d'analyse économique, avec le secours de modèles informatiques sophistiqués. Le cours en question est fait pour corriger cette vue simpliste et pour montrer qu'une bonne planification de l'énergie comporte une multiplicité d'aspects techniques et économiques. Il accorde une attention particulière au lien (trop souvent négligé) entre le choix de la source d'énergie primaire et les besoins d'énergie finale du consommateur.

Inauguré en 1978 par l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) à Saclay (France), cet enseignement a été donné trois fois en français (1978, 1979 et 1980) à Saclay, une fois en espagnol en 1981 à Madrid (Espagne), et une fois en anglais en 1982 à Djakarta (Indonésie). Les quatre premiers cours, intitulés *Rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre d'un plan énergétique national*, ont duré chacun sept semaines.

On est parti de ces cours pour rédiger un manuel d'institution qui a été distribué pour étude préalable aux participants du cours de 1982 dont la durée a pu de ce fait être ramenée à trois semaines.

La première semaine porte principalement sur l'analyse technique de diverses chaînes énergétiques (nucléaire, charbon, pétrole, gaz, hydro-électrique, solaire, etc.) et l'examen de toutes les étapes qui mènent de la production d'énergie primaire à l'utilisation de l'énergie finale. Les avantages et les inconvénients de

chacune des chaînes sont décrits de façon systématique pour faire bien saisir aux participants les aspects complémentaires des diverses sources d'énergie.

La deuxième semaine est consacrée à l'analyse économique et financière que doit comporter la planification de l'énergie. On présente aux participants des modèles énergétiques, mais en soulignant que ce ne sont que des instruments utiles qui ne sauraient remplacer une analyse exhaustive et un bon jugement de la part des planificateurs eux-mêmes.

Enfin la troisième semaine est consacrée à des études de cas, dont la moitié environ reposent sur les résultats d'études approfondies faites antérieurement dans divers pays. Les autres études de cas sont des problèmes hypothétiques qu'analysent des groupes de travail de cinq ou six stagiaires sous la direction d'un ou deux conférenciers. L'accent est mis sur les conditions préalables de l'emploi de l'énergie nucléaire dans un pays en développement, à savoir notamment: un cadre juridique national; une infrastructure solide en matière d'organisation des ressources humaines adéquates; des compétences techniques permettant la prise de décisions et le transfert de technologies; un niveau suffisant de développement industriel national; une étendue et une structure du système de transport de l'électricité permettant d'assurer la stabilité du réseau tant en exploitation normale que dans les conditions transitoires.

De 1978 à 1982 inclus, 136 ingénieurs et économistes confirmés venus de 49 pays ont reçu une formation à la planification énergétique. Cet enseignement a dû son grand succès en grande partie au fait que les Etats Membres ont toujours désigné des participants hautement qualifiés, mais aussi au soutien important accordé par les pays et les organisations qui l'ont patronné, à savoir l'Argentine, la France, la République fédérale d'Allemagne, l'Indonésie, l'Espagne, les Etats-Unis, la Division des ressources naturelles et de l'énergie des Nations Unies (DRNE), la Banque mondiale (BIRD), l'UNESCO et plus particulièrement l'Institut national des sciences et techniques nucléaires de Saclay (France).

### La formation à la planification de l'expansion des systèmes de production d'électricité

De 1975 à 1981, 139 ingénieurs confirmés et planificateurs de systèmes énergétiques venus de 43 pays et de trois organisations internationales ont été formés par l'AIEA à l'emploi des diverses versions de WASP. De 1975 à 1977, cet enseignement a été donné par l'Agence à son Siège de Vienne. De 1978 à 1981, l'AIEA a fait quatre fois un cours sur la *Planification de l'expansion des systèmes de production d'électricité* (ESEP) au Laboratoire National d'Argonne (ANL) des Etats-Unis, auquel ont participé quelque 90 ingénieurs et planificateurs de réseaux électriques venus de 34 pays. Le prochain cours est prévu pour la période du 18 avril au 17 juin 1983, à l'ANL; on s'y servira d'un nouveau *Manuel sur la planification de l'expansion des systèmes de production d'électricité*, actuellement en préparation.

Le cours ESEP a pour but de former des spécialistes à la planification de l'expansion d'un système de production de courant électrique; il souligne l'intérêt que présente l'emploi du modèle WASP. Les personnes qui ont suivi ce cours devraient pouvoir ensuite mener à bien des études pour déterminer les programmes d'expansion présentant un avantage économique optimal, et notamment la part économiquement optimale du nucléaire.

Au nombre des principaux sujets figurent: les caractéristiques techniques et économiques des centrales électriques; les principes de la planification de l'expansion de la production de courant; diverses questions relatives aux réseaux électriques; les caractéristiques du modèle WASP et ses programmes auxiliaires; l'évaluation et la présentation des données d'entrée pour WASP; l'analyse des solutions optimales; la rédaction d'un rapport d'étude.

Le cours est ouvert chaque année à 24 candidats de pays en développement de toutes les régions. Les candidatures doivent être présentées par équipes nationales de deux ou plusieurs personnes possédant une expérience de la planification des systèmes énergétiques. Grâce à cette disposition, chaque équipe peut réaliser une étude ESEP sur la base des données relative à son pays.

#### Réalisation d'études sur la planification de l'énergie et de l'électricité d'origine nucléaire

Une étude sur *la planification de l'énergie et de l'électricité d'origine nucléaire* (ENPP) n'est entreprise que sur la demande officielle d'un Etat Membre de l'AIEA; elle est exécutée conjointement par l'Agence et le pays intéressé. Elle a pour but d'aider l'Etat Membre à procéder à des analyses économiques détaillées et à des études de planification pour déterminer le besoin d'énergie d'origine nucléaire et le rôle qu'elle doit jouer dans le cadre de son plan énergétique national. Cette opération nécessite une évaluation d'ordre économique et une comparaison à cet égard avec les autres sources possibles d'énergie. Pendant ces études, on a recours aux méthodes d'analyse décrites plus haut (MAED et WASP) — améliorées ou modifiées selon les besoins — et on les communique aux pays intéressés après achèvement des études.

L'étude ENPP a donc deux objectifs spécifiques. L'un est de collaborer avec l'Etat Membre demandeur afin de quantifier les besoins futurs d'énergie d'une façon qui soit compatible tant avec les plans nationaux de développement économique qu'avec la part prévue de l'électricité dans l'ensemble des besoins énergétiques. L'étude peut alors exposer un plan d'extension du système de production d'électricité économiquement optimal, comprenant une évaluation des besoins et du rôle du nucléaire. Le deuxième objectif consiste à former en cours d'emploi une équipe locale d'ingénieurs et d'économistes. Le pays reçoit les deux modèles informatiques MAED et WASP, qui permettront à ses propres spécialistes d'effectuer par la suite de nouvelles études de planification énergétique.

Ces études étant exécutées en coopération étroite avec le pays demandeur, on constitue une équipe

commune de spécialistes de la planification énergétique. Chaque équipe comprend deux ou trois membres du personnel de l'AIEA connaissant bien toutes les questions ayant trait à la planification énergétique et aux différents modèles utilisables. Elle comprend aussi des spécialistes de l'Etat Membre, et notamment au moins cinq ou six ingénieurs et économistes connaissant bien la situation de l'électricité et de l'énergie dans le pays. (Il est recommandé que la plupart d'entre eux aient suivi les deux cours mentionnés plus haut). Il y a parmi les spécialistes du pays un coordinateur confirmé capable de participer utilement aux travaux et qui sera chargé d'établir des contacts avec les divers organismes de son pays pour obtenir les informations et les données nécessaires à l'étude.

Une étude ENPP nécessite environ deux années de travail en équipe. Bien que les membres de l'équipe commune n'aient pas à lui consacrer tout leur temps, on ne peut guère aller plus vite vu les délais nécessaires pour recueillir l'information et les données.

#### Les étapes d'une étude ENPP

Le contenu, la portée et le calendrier précis d'une étude ENPP varient selon les Etats Membres, mais son déroulement s'effectue selon un schéma bien déterminé.

Après réception de la demande de l'Etat Membre intéressé, l'Agence y envoie deux ou trois de ses spécialistes pour deux semaines environ afin de prendre des contacts, de se familiariser avec la situation énergétique et économique du pays, de procéder aux diverses mesures d'organisation (constitution de l'équipe locale, calendrier des travaux, etc.) et de recueillir un premier ensemble d'informations et de données.

Après cette première mission, l'Agence remet au pays intéressé un rapport général exposant le programme de travail en vue d'une étude ENPP éventuelle, la répartition des responsabilités, les besoins de personnel, de données, etc.

Après examen approfondi de ce rapport par l'Etat Membre et par l'Agence, on décide s'il y a lieu ou non de poursuivre l'étude. En cas de réponse affirmative des deux parties, l'équipe de l'Agence entreprend une première analyse de la demande future d'énergie d'après les données recueillies lors de la première mission. L'équipe nationale recueille un complément d'informations ainsi que les données manquantes et envoie le tout à l'Agence. Cette période d'essai et de recherche d'information élémentaire prend environ six mois.

Lorsque le travail est suffisamment avancé, l'équipe nationale vient à l'Agence pour une semaine environ afin de se familiariser avec les méthodes employées, de passer en revue et de commenter les premiers résultats de l'analyse de la demande et d'apporter les modifications nécessaires.

Vient ensuite une période d'environ trois mois de travail de part et d'autre pendant laquelle l'équipe de l'Agence perfectionne l'étude de la demande d'énergie et d'électricité et l'équipe nationale achève la collecte des données relatives à la demande et commence celle des données destinées à l'étude ESEP (WASP).

Après quoi une nouvelle réunion est généralement nécessaire pour faire l'analyse critique des résultats de l'étude de la demande et décider des principaux scénarios qui figureront dans le rapport final. Cette réunion doit se tenir au Siège de l'Agence pour continuer à familiariser l'équipe nationale avec les méthodes.

Ensuite, une nouvelle période de trois mois est nécessaire pour l'analyse approfondie des divers scénarios et le démarrage de l'étude ESEP (WASP). Pendant cette période, l'équipe nationale doit examiner les résultats préliminaires avec divers décideurs de son pays afin de recueillir leur réactions et de pouvoir réorienter l'étude en cas de besoin.

L'Agence apporte ces modifications éventuelles et présente un jeu de résultats préliminaires. A ce stade, il est bon que l'Agence envoie pendant une semaine environ dans le pays une mission composée de deux ou trois fonctionnaires pour mettre en place les modèles MAED et WASP sur les ordinateurs locaux, modifier en cas de besoin les résultats préliminaires et établir un projet de rapport final.

C'est alors que commence une période de six mois environ de travail intensif, surtout pour l'équipe nationale, pendant laquelle ses spécialistes doivent acquérir l'expérience de l'emploi des modèles et répéter ou modifier les analyses déjà faites par l'équipe de l'Agence, tant en ce qui concerne l'offre que la demande. Pendant la même période, les deux équipes commencent la préparation du rapport final.

Après cette période de six mois, l'équipe nationale doit venir à l'Agence pour mettre au point et adopter l'analyse définitive, discuter et exécuter, sous une forme ou sous une autre, une analyse de sensibilité, et examiner les différentes parties du rapport final rédigées séparément par les deux équipes.

Après cette réunion, les deux équipes travaillent ensemble pour établir un rapport final acceptable pour les deux parties. Ces travaux prennent environ quatre mois. Le contenu et le plan du rapport final sont arrêtés lors d'une dernière réunion tenue à Vienne ou dans l'Etat Membre.

L'impression du rapport prend deux ou trois mois. La présentation officielle du rapport final aux autorités du pays intéressé peut donc avoir lieu deux ans environ après la première mission de l'Agence.

### Nécessité d'une planification nationale à long terme

L'Agence a fait la preuve de son aptitude à aider les Etats Membres en développement pour ce qui concerne les aspects économiques de la planification de leur

futur système de production d'électricité. La planification énergétique est toutefois une entreprise de longue haleine qui nécessite des révisions, des additions et des améliorations continues.

Pour évaluer les avantages économiques que le nucléaire peut procurer à un pays en développement, il faut procéder à une analyse complète et approfondie des effets qu'un programme d'électricité d'origine nucléaire aura sur le développement économique général d'un pays.

Trois points importants sont à souligner:

- Le développement d'une production d'énergie nucléaire dans un pays donné ne peut pas être évalué isolément. Le nucléaire n'est qu'un moyen parmi beaucoup d'autres d'obtenir de l'énergie secondaire (par exemple de la chaleur et de l'électricité) et les plans de développement nucléaire doivent tenir compte de toutes les autres options en présence. La planification nucléo-énergétique suppose l'évaluation des divers types et formes de besoins d'énergie et doit s'inscrire dans le contexte général des plans de développement énergétique et économique du pays en cause.
- La planification de l'énergie, de l'électricité ou du nucléaire est un problème qui ne peut raisonnablement et rationnellement être étudié que par les spécialistes nationaux de l'énergie. L'Agence peut fournir des avis et certains conseils méthodologiques mais elle ne saurait se substituer aux experts gouvernementaux qui doivent assumer la responsabilité finale de la planification énergétique du pays. En cas de besoin, les cours de l'Agence peuvent aider à développer les compétences locales. L'Agence insiste sur le fait que l'étude commune ENPP doit être exécutée principalement par l'équipe nationale, avec l'assistance des spécialistes de l'Agence. L'équipe nationale ainsi entraînée est alors mieux à même de comprendre la situation de son propre pays et de donner la suite qui convient aux études entreprises avec la coopération de l'Agence.
- Enfin, il faut souligner que des études économiques telles que celles qui ont été exposées ici ne constituent qu'une première étape sur la longue route de la planification nucléaire. Elles doivent être suivies d'un grand nombre d'autres recherches et analyses qui indiqueront si l'option du nucléaire est viable, et quelles seraient les conséquences de ce choix pour le pays. Des problèmes complexes peuvent se poser: incidence sur la balance des paiements, contraintes financières, besoins de main d'œuvre, participation de l'industrie locale. Tous ces facteurs doivent eux aussi être pris en considération quand on évalue la possibilité d'utiliser l'énergie d'origine nucléaire.