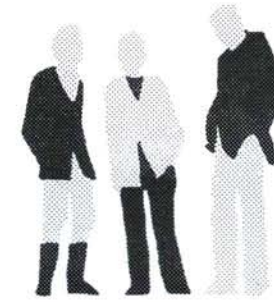
Stagiaires du cours interrégional de l'AIEA sur la radioprotection dans les mines et installations de traitement des minerais radioactifs, organisé à Poços de Caldas, au Brésil. (Photo: J. Ahmed, AIEA).

Les programmes d'équipement nucléaire de nombreux pays comportent des stages organisés par l'Etat ou par le secteur industriel. Les photos montrent un des moyens de formation utilisés aux Etats-Unis et un instructeur donnant un cours de spectrométrie gamma à deux étudiants philippins en Australie. (Photos: INPO, AAEC)

L'énergie, l'électricité et le nucléaire dans les pays en développement



Renforcement des capacités dans une conception globale

par K.F. Schenk, F. Calori, J. Marques de Souza et P.E. Molina

L'énergie, particulièrement l'énergie électrique, est l'un des facteurs essentiels de croissance économique et de progrès social dans les pays développés et les pays en développement. Dans la plupart des pays, le taux de croissance de la demande d'électricité est très supérieur à celui de la demande totale d'énergie utile. Il s'ensuit que l'on peut s'attendre qu'une proportion plus élevée d'énergie primaire servira dans l'avenir à la production d'électricité. Dans les pays en développement, le taux de croissance de l'électricité dépasse celui des pays industrialisés et est aussi plus élevé que celui qu'ont connu les pays industriels aux mêmes stades de développement.

Un groupe d'experts organisé par l'AIEA a étudié les moyens d'aider les pays en développement à promouvoir et à financer les programmes nucléo-énergétiques. Dans son rapport final, on peut lire que l'énergie nucléaire de la plus haute fiabilité pratique, et conforme aux normes de sûreté les plus élevées, et l'énergie tirée du charbon avec des normes appropriées de protection de l'environnement peuvent seules offrir des possibilités intéressantes de remplacement du pétrole dans la production des grandes quantités d'électricité qu'exige le développement socio-économique général des pays en développement*.

Au cours des années, l'AIEA s'est constitué un vaste ensemble de documentation, de moyens, de méthodologies et de compétences pour aider ses Etats Membres en développement à renforcer leurs capacités de planification de leur production énergétique et électrique classique et nucléaire. Grâce à l'expérience qu'elle a pu ainsi acquérir, l'AIEA possède les éléments nécessaires pour organiser un système intégré de projets d'assistance de plusieurs années, adaptés aux besoins de chaque pays en développement bénéficiaire*. Ce système intégré repose sur les principes ci-après:

- L'énergie nucléaire n'est envisagée que si le pays a atteint le stade où la production nucléo-énergétique est techniquement possible et s'insérerait dans une stratégie de l'offre à long terme d'énergie et d'électricité au moindre coût, compte tenu de toutes les autres solutions et de tous les facteurs économiques en jeu.
- Un programme nucléaire n'est mis en route que s'il y a de bonnes chances qu'il sera couronné de succès, c'est-à-dire qu'il pourra être réalisé dans les délais prévus et avec les moyens financiers disponibles.
- Un projet nucléo-énergétique n'est engagé finalement que s'il y a eu une planification détaillée et des mesures prises pour répondre à tous les besoins d'infrastructure d'appui, y compris l'assurance d'un financement.

L'AIEA offre un ensemble intégré de services d'assistance pour contribuer à rendre moins graves deux problèmes principaux des pays en développement qui ont un programme énergétique nucléaire en cours ou en projet, à savoir:

- des possibilités insuffisantes pour créer, maintenir et développer la capacité de planifier la demande et l'offre d'énergie nécessaire pour évaluer les options concernant l'approvisionnement en énergie de remplacement et en électricité, y compris l'évaluation et la planification des besoins et des mécanismes de financement;
- l'absence de l'infrastructure nécessaire. De nombreux pays en développement qui ont en cours ou envisagent un programme nucléaire ont besoin de conseils et d'une assistance qui soient objectifs pour installer les infrastructures nécessaires à la réalisation de leur programme et organiser des programmes satisfaisants de formation de personnel.

M. K.F. Schenk, M. F. Calori, M. J. Marques de Souza et M. P.E. Molina sont membres de la Division de l'énergie d'origine nucléaire.

* *Promotion et financement des programmes électronucléaires dans les pays en développement*, rapport d'un groupe d'experts principaux à l'AIEA. On peut se procurer le texte du rapport auprès de la Division des publications de l'AIEA. Voir aussi l'article du *Bulletin de l'AIEA*, «Les programmes nucléo-énergétiques des pays en développement: promotion et financement», par L.L. Bennett, vol. 29, n° 4, p. 37 à 41 (1988).

* La recommandation 1 du rapport du groupe d'experts dit que l'AIEA doit «offrir un ensemble intégré de services d'assistance, prévoyant, en tant qu'élément fondamental, une formation à l'utilisation des méthodologies de l'AIEA, pour l'étude des besoins en énergie et en électricité classique et nucléaire dans le cadre général du développement économique d'un pays, pour l'examen des options économiques optimales dans les choix énergétiques et pour l'évaluation des infrastructures locales qui s'imposent et des plans concernant leur développement. L'impact, sur l'environnement notamment, des choix énergétiques doit être compris dans l'analyse».

Approche intégrée

L'approche intégrée combine les diverses activités de l'AIEA dans l'analyse de la demande d'énergie et d'électricité et les études concernant la croissance de l'offre, qui apportent la justification économique d'un programme nucléaire, avec les activités portant sur l'infrastructure, en particulier sur le perfectionnement de la main-d'œuvre.

La formation à l'utilisation des méthodologies de l'AIEA est un élément fondamental de l'ensemble intégré de services d'assistance qui concerne l'étude des besoins d'énergie et d'électricité classique et nucléaire dans le cadre général du développement économique d'un pays, l'analyse des choix des options énergétiques économiquement les meilleurs, et enfin l'évaluation de l'infrastructure locale requise et du plan de développement avec priorité au perfectionnement de la main-d'œuvre.

Le programme de coopération technique est le vecteur principal de l'ensemble de l'assistance intégrée. Selon la situation propre au pays, le projet de planification peut prévoir soit tous les éléments de cet ensemble, ou certains seulement. Pour chaque pays demandeur, le champ d'un projet de coopération technique est déterminé par un avant-projet détaillé de planification qui comprend des missions d'exploration pour l'évaluation précise des besoins. Ces projets sont pour l'essentiel financés par des ressources du programme et/ou du PNUD.

Dans la gestion du système intégré d'assistance, tous les moyens disponibles sont largement utilisés. Ce sont l'échange d'informations et le transfert d'expérience, les réunions, les stages pratiques, le transfert de méthodes de planification, les cours de formation, la formation en cours d'emploi, les séminaires, les rapports techniques, les guides, notamment de sûreté nucléaire, les services d'experts, les bourses d'études, les missions consultatives et les visites scientifiques.

L'assistance ci-après est fournie:

• ***Assistance pour l'élaboration d'un plan de programme nucléo-énergétique.*** Dans cette phase, dans laquelle on peut voir une étude de préfaisabilité, les éléments saillants concernent les besoins globaux de la planification du service public ou du pays et, par conséquent, se fondent sur les stratégies nationales en matière d'énergie et sur le développement de l'économie et de l'industrie. Les activités de planification pendant cette phase sont surtout celles qui ont trait à la planification à moyen et à long terme. Elles comprennent celles qui se rattachent directement à l'introduction de l'énergie d'origine nucléaire. On les examinera successivement.

Les éléments nécessaires à une planification globale sont : les projections de la demande d'énergie et d'électricité, l'évaluation des ressources énergétiques, la planification de l'extension de la capacité d'un système de production d'énergie électrique, y compris l'étude des installations existantes ou projetées de production et de transport de l'énergie électrique, et les stratégies et politiques de développement national global.

L'assistance intégrée de l'AIEA dans le processus de planification globale est fournie surtout par le biais d'une étude portant sur la planification énergétique et nucléo-électrique. Elle aide le pays en développement à procéder à une analyse économique détaillée et à des études de planification pour déterminer si un programme nucléo-énergétique est un choix économique valable. Ce programme doit se fonder sur un plan énergétique national complet. Ce plan doit avoir des objectifs de développement économique à long terme et des options concernant l'offre et la demande d'énergie et d'électricité de l'économie. L'œuvre de planification économique doit être une des bases de la formulation de la politique, mais la planification ne doit pas être trop limitée et doit prendre en considération les risques pour l'environnement de différentes options de l'offre et aussi le coût total de la mise en place de nouvelles installations.

Les éléments particuliers associés à l'introduction de l'énergie d'origine nucléaire sont la législation, l'organisation à prévoir, l'implantation, l'étude du type de réacteur, les méthodes de passation des marchés et l'adhésion de la population.

Pour ce qui est de la législation, il faut déjà s'en préoccuper au cours de la phase de l'étude de préfaisabilité et étudier des mesures que le gouvernement doit prendre pour autoriser la construction de centrales et d'installations nucléaires. En outre, il y a lieu de prévoir l'élaboration des dispositions concernant l'organisme chargé de la réglementation et de l'octroi des autorisations en matière nucléaire et le groupe de planification de l'énergie nucléaire du service public. Dans ces domaines, le rôle de l'AIEA consiste surtout à orienter, au moyen de missions consultatives et de publications. Il faut aussi préparer le choix futur du site du réacteur. L'assistance de l'AIEA comprend des missions d'étude de la sûreté nucléaire des sites, des cours de formation à l'application des normes de sûreté nucléaire relatives au choix des sites, la formation en cours d'emploi, l'échange d'informations et, enfin, des publications. Le choix du type de réacteur est l'un des premiers problèmes qui se posent. Lors de l'étude de préfaisabilité, on examine la question de l'établissement des critères à retenir pour l'évaluation des ressources énergétiques et la prévision des coûts.

Au sujet de la négociation des marchés, l'AIEA aide le pays à trouver la formule qui donne la répartition la plus acceptable des risques et des coûts. La décision sur la méthode à utiliser pour la conclusion des marchés concernant la première centrale nucléaire peut être finalement prise après l'étude de faisabilité. Toutefois, il ne faut pas tarder à l'examiner étant donné qu'elle est étroitement liée à la participation nationale.

Au sujet de l'acceptation de l'énergie nucléaire par le public, l'assistance de l'AIEA est conçue sous forme de séminaires et de documentation. Les séminaires sont axés sur les questions fondamentales et les contraintes générales des programmes nucléo-énergétiques, et s'adressent aux dirigeants politiques et aux autres décideurs. La documentation apporte les réponses aux questions le plus fréquemment soulevées à propos de l'acceptation par la population.

• ***Planification de la mise en place de l'infrastructure et études de faisabilité.*** Une bonne infrastructure nationale est une nécessité absolue pour le succès d'un programme d'équipement nucléo-énergétique, ce qui suppose l'existence d'une main-d'œuvre qualifiée.

Les moyens principaux pour la réalisation des activités d'assistance en matière de planification du nucléaire (y compris le perfectionnement de l'infrastructure et de la main-d'œuvre) sont les suivants:

Cours de formation

- Cours interrégionaux, régionaux et nationaux sur la planification de l'extension des réseaux
- Cours interrégionaux sur la prévision de la demande d'électricité en vue de la planification de l'énergie d'origine nucléaire
- Cours régionaux de radioprotection et de sûreté nucléaire
- Cours interrégionaux sur l'introduction de l'énergétique nucléaire
- Cours sur le perfectionnement de la main-d'œuvre et l'évaluation de l'infrastructure industrielle

Méthodologie

Il existe un certain nombre de moyens et méthodes d'analyse:

- Planification automatique de l'extension d'un réseau (WASP)
- Modèle d'analyse de la demande d'énergie (MAED)
- Programme d'évaluation de l'énergie et de l'électricité (ENPEP)
- Modèle de planification financière (FINPLAN)
- Modèle de demande d'énergie et d'électricité pour les pays en développement (EDE)
- Modèle de l'offre et de la demande d'énergie et d'électricité (TUV)
- Modèle de simulation du système hydrothermique (VALORAGUA)

Guides

Des guides sur les sujets ci-après sont publiés dans la série des rapports techniques de l'AIEA:

- Introduction de l'énergétique nucléaire
- Planification de l'énergie classique et nucléaire dans les pays en développement
- Prévision de la demande d'énergie et d'électricité
- Planification de l'extension des réseaux
- Interaction des caractéristiques des réseaux avec la conception et la performance des centrales nucléaires
- Introduction des centrales nucléaires dans les réseaux de capacité limitée (problèmes et mesures correctives)
- Perfectionnement de la main-d'œuvre pour le secteur nucléo-énergétique
- Enseignement technique et scientifique dans le domaine de l'énergie d'origine nucléaire
- Recherche et développement à l'appui des programmes nucléo-énergétiques
- Apport de l'industrie
- Gestion d'un projet nucléo-électrique
- Evaluation économique des soumissions relatives aux centrales nucléaires
- Spécifications des appels d'offres relatifs aux centrales nucléaires
- Infrastructure industrielle nécessaire à un programme nucléo-énergétique

Autres publications

Il existe des études, analyses, manuels et autres publications de référence sur les sujets suivants:

- Dispositifs pour aider les pays en développement à promouvoir et à financer les programmes
- Expérience de l'utilisation du programme informatique WASP de l'Agence dans les Etats Membres d'Asie et de la région du Pacifique parties à l'Accord régional de coopération
- Modèle pour l'analyse de la demande d'énergie (MADE): Manuel pour l'utilisation de la version MADE-1
- Expérience de l'utilisation du programme WASP de l'Agence pour la planification du nucléaire dans les pays en développement
- Améliorations apportées à WASP-III
- Normes de sûreté nucléaire
- Assurance de la qualité des centrales nucléaires
- Contrôle des programmes d'assurance de la qualité
- Formation, qualifications et certification du personnel chargé de l'assurance de la qualité
- Coût et financement des programmes nucléaires dans les pays en développement
- Réacteurs de faible et moyenne puissance
- Analyses de l'offre et de la demande d'uranium à long terme
- Installations du cycle du combustible nucléaire

Missions

Les missions d'experts et de consultants traitent des questions suivantes:

- Cadres juridiques et législation
- Sûreté nucléaire
- Application des normes de sûreté nucléaire
- Organisation nécessaire
- Equipes consultatives pour la planification (NUPAT)*
- Aspects financiers (missions conjointes avec la Banque mondiale)
- Main-d'œuvre
- Création de centres de formation à la conduite des réacteurs
- Etudes de faisabilité
- Evaluation de l'infrastructure industrielle
- Assurance de la qualité
- Etudes industrielles
- Evaluation du financement d'une centrale nucléaire

Ateliers

Dans le cadre de l'accord régional de coopération AIEA/PNUD pour l'Asie et le Pacifique, il existe des ateliers d'utilisateurs des programmes et modèles suivants:

- WASP
- MADE
- WASP/VALORAGUA

Autres moyens

- Visites d'organismes réglementaires
- Missions dans les pays
- Formation en cours d'emploi
- Séminaires de décideurs sur l'énergie d'origine nucléaire
- Séminaires de décideurs sur les plans de financement
- Services d'experts
- Bourses de perfectionnement
- Etudes sur la demande d'énergie et d'électricité
- Etudes du marché du nucléaire
- Etudes WASP
- Système de documentation sur les réacteurs de puissance (PRIS)
- Système international de documentation nucléaire (INIS)
- Banque de données énergétiques et économiques (EEDB)

* Il s'agit d'une nouvelle activité pour 1989 visant à aider les pays en développement à procéder à une évaluation globale de leur capacité opérationnelle d'entreprendre un programme. Selon cette capacité, déterminée d'après la liste des conditions à remplir figurant au tableau I du rapport du groupe d'experts, il est décidé d'octroyer la totalité, ou certains éléments seulement, de l'assistance prévue.

L'AIEA aide à l'évaluation des infrastructures de base, c'est-à-dire la capacité de planification et de décision, les structures organisationnelles, l'importance et la structure du réseau électrique, la main-d'œuvre qualifiée, le soutien industriel et le financement. L'évaluation implique celle de la capacité d'absorber le transfert de technologie et de dresser des plans de développement, en se fondant autant que possible sur l'expérience qu'a le pays des techniques nucléaires et des réacteurs de recherche. Au sujet du perfectionnement de la main-d'œuvre, la totalité des activités de coopération technique est offerte: projets spéciaux par pays, grands projets du PNUD, cours de formation, missions et ateliers. De nombreux éléments de cet ensemble se chevauchent et sont coordonnés avec les activités de planification du programme nucléo-énergétique.

Le rôle de l'AIEA dans les études de faisabilité d'un projet (y compris sur le plan financier) se limite à donner des conseils sur l'organisation des études, à en déterminer la teneur et à examiner son déroulement et ses résultats. Quand c'est possible, l'AIEA coopère avec la Banque mondiale et l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

• ***Détermination d'une politique et d'une stratégie de participation nationale.*** La participation nationale fait partie intégrante du programme d'énergétique nucléaire. L'importance et le niveau de cette participation diffèrent selon les conditions propres à chaque pays et dépendent des politiques et des infrastructures nationales, de la capacité d'investissement, de l'adéquation des facteurs agissant sur le marché tels que le coût des produits nationaux, le financement, les normes de qualité, les compétences techniques, la sûreté nucléaire et la disponibilité des matières premières.

L'action de l'AIEA consiste surtout à aider à concevoir l'étude de la participation nationale. Elle comprend une étude industrielle pour déterminer celles des industries nationales dont la production peut, ou pourrait, satisfaire aux normes de qualité de la technologie nucléaire.

• ***Planification du financement des projets.*** Le financement des projets d'équipement nucléo-énergétique soulève des problèmes complexes que toutes les parties intéressées doivent parfaitement comprendre. L'AIEA favorise l'échange d'informations entre acquéreurs, vendeurs, organisations de financement et assureurs du crédit à l'exportation pour qu'il y ait une meilleure compréhension des besoins particuliers, des complexités et des possibilités de financement du nucléaire dans les pays en développement. Elle aide en outre, conjointement avec la Banque mondiale, à renforcer les moyens dont disposent le gouvernement local et le service public pour planifier le financement dans le secteur de l'électricité en vue d'augmenter les possibilités d'investissement dans le nucléaire.

Formation des opérateurs de la salle de commande des centrales nucléaires en vue de prévenir les accidents

Pour les accidents graves, l'entraînement se fait sur simulateur

par Luis Lederman

Apprentissage sur simulateur à la centrale nucléaire de Three Mile Island, en Pennsylvanie. (Photo: INPO)

Les simulateurs sont couramment utilisés pour former les opérateurs, tant dans l'industrie nucléaire que dans les autres industries de haute technologie. Au cours des dernières années, les résultats des analyses probabilistes de la sûreté et l'expérience d'exploitation des centrales nucléaires ont dégagé un certain nombre de scénarios qui appellent un perfectionnement du personnel d'exploitation.

Les séquences d'événements qui peuvent aboutir à un accident grave résultent généralement d'une combinaison d'erreurs humaines, de pannes diverses ayant une même origine, de défaillances fortuites de composants et de diverses formes d'interactions entre systèmes, et sont essentiellement étrangères à la «base de conception». De par leur nature même, ces incidents sont rares et la réponse de l'opérateur en leur présence est difficile à prévoir. Dans ces conditions, il y a intérêt à recourir aux simulateurs pour enseigner aux opérateurs la manière de prévenir ou de traiter la situation résultant d'un accident grave. De fait, plusieurs moyens d'y parvenir sont à l'étude.

Une réunion, récemment organisée à Vienne par l'AIEA, a passé en revue l'expérience acquise dans l'application des simulateurs à la formation en vue des situations d'urgence*.

Pour se prêter à une simulation, le scénario doit être conçu en fonction de l'usage que l'on veut en faire. Par exemple, pour définir l'état de fatigue ou de tension d'une équipe d'opérateurs, il faut raisonner à court terme. La formation des équipes d'intervention en cas d'accident et la vérification des procédures ou des stratégies sont des questions importantes qu'il faut également étudier de très près lorsqu'on veut simuler un accident.

Les limitations d'un simulateur total sont évidentes, en particulier lorsqu'il s'agit de scénarios de longue durée. Les conditions aux limites ont été traitées, jusqu'à maintenant, d'une manière restrictive. Comme condition initiale, on ne retient que l'exploitation à pleine puissance. Cette hypothèse exclut les situations impliquant une moindre disponibilité des systèmes importants pour la sûreté et un défaut d'attention de la part des opérateurs lorsqu'ils doivent s'acquitter de tâches complémentaires. Ces situations se produisent couramment lorsque les réacteurs sont à l'état sous-critique ou autrement exploités à faible puissance, et il convient d'en tenir compte. Par ailleurs, comme la précision d'une simulation sur ordinateur décroît en fonction de la dégradation du cœur, nombre de scénarios d'accidents sont interrompus au point où la progression de l'endommagement du cœur échappe à l'action des opérateurs.

Aux fins de la formation, le principe du scénario est de reproduire la situation telle qu'elle se présente dans la salle de commande. Ainsi, trois phases distinctes sont à retenir pour l'étude d'un scénario:

- Des perturbations de gravité croissante sont introduites progressivement pour motiver et intégrer l'opérateur dans le scénario;
- Des défaillances ou des perturbations supplémentaires sont introduites pour accroître le plus possible la tension de l'opérateur;
- Le scénario est prolongé pour permettre l'apparition de difficultés particulières qui peuvent se manifester à long terme; un complément d'information peut être donné aux membres des équipes d'appui technique pour leur permettre de participer et de prendre des décisions.

L'étude des fonctions que devrait avoir un simulateur total destiné à la formation des opérateurs en vue des accidents graves a révélé les insuffisances des dispositifs actuels, à savoir:

- Les modèles mathématiques existants (neutroniques, thermohydrauliques, de contrôle, et logiques) ne valent pas pour bon nombre de transitoires annonciateurs d'un accident grave;
- Les programmes de simulation en temps réel, dont beaucoup sont établis dans un langage machine spécifique par souci d'efficacité, sont, de ce fait, difficiles ou même impossibles à modifier.

Il faudrait donc établir de nouveaux modèles de simulation ou améliorer ceux qui existent, notamment en ce qui concerne les flux à deux phases, la réponse de l'enveloppe de confinement, le système de refroidissement d'urgence du cœur, la thermohydraulique et la neutronique du cœur, et le comportement du combustible. Pour ce qui est de la thermohydraulique du cœur, il faut distinguer deux périodes. La première, qui précède l'endommagement du cœur, peut être traitée d'une façon générale par les modèles de perte de fluide de refroidissement. Pour la seconde, la simulation est sensiblement plus difficile, surtout lorsque la température du cœur s'élève rapidement et que le scénario suppose la défaillance partielle ou totale du système de refroidissement d'urgence. Il faut aussi modéliser en détail les phénomènes qui, pendant un accident réel, génèrent des signaux contradictoires provenant de différentes zones du cœur.

Les résultats des analyses probabilistiques de la sûreté indiquent que les principales chaînes d'événements aboutissant à un endommagement du cœur sont souvent provoquées par des transitoires associés aux circuits secondaires de la centrale. Il faut donc établir un modèle tenant compte des composants à deux phases.

Pendant un accident grave, les paramètres du confinement — température, pression, humidité et radioactivité — sont affichés dans la salle de commande. L'opérateur doit donc être capable de les identifier et de prendre les mesures qui s'imposent. Quant aux modèles de confinement, ils doivent tenir compte de phénomènes tels que le passage de la vapeur ou de l'eau d'un compartiment à un autre, et de l'action des dispositifs de sûreté comme les systèmes d'aspersion et de décompression, afin de localiser l'hydrogène.

Etant donné la complexité des phénomènes physiques qui accompagnent un accident grave, les modèles mathématiques risquent souvent de représenter des conditions qui ne correspondent pas à la réalité. En pareil cas, les instructeurs doivent en être avisés, de préférence par l'intermédiaire du logiciel.

On s'accorde en général pour penser que la modélisation au-delà de la base de conception doit être abordée avec beaucoup de précautions lorsqu'il s'agit de simulateurs d'enseignement. Enfin, il faut éviter d'accorder une importance excessive à certains scénarios d'accidents, car on risque ainsi de prédisposer l'opérateur à un diagnostic particulier et aux mesures d'intervention qui en découlent.

* *Experience with simulator training for emergency conditions, AIEA-TECDOC-443, Vienne, 1987.*

M. Lederman est membre de la Division de la sûreté nucléaire.