

# L'enseignement technique et scientifique au service de l'énergie d'origine nucléaire

*De la coopération à l'excellence*

par Frances Mautner-Markhof

L'expérience montre que, pour pouvoir mener à bien un programme nucléo-énergétique, une des conditions *sine qua non* est d'avoir sous la main un nombre suffisant de spécialistes possédant la formation théorique et pratique requise. C'est pourquoi, avant de se lancer dans un tel programme, il faut faire un bilan complet des ressources existantes dans les entreprises industrielles et les établissements d'enseignement du pays intéressé. Le pays peut être alors amené à moderniser ses programmes d'enseignement technique et scientifique, voire à créer de toutes pièces de nouveaux établissements afin de former le personnel dont il a besoin pour assurer les tâches et les fonctions que suppose un programme d'équipement nucléaire.

Les systèmes d'éducation variant d'un pays à l'autre, il convient de faire preuve d'une certaine souplesse dans l'élaboration des programmes d'études. Des programmes de cours, tels que ceux qui sont proposés dans le *Guide de l'AIEA pour l'enseignement scientifique et technique des questions nucléo-énergétiques*, précisent le degré d'instruction et les connaissances qu'on attend des ingénieurs et scientifiques appelés à participer à un programme nucléo-énergétique, et ils pourraient servir de base à l'élaboration d'un programme d'enseignement bien conçu. Il n'en est pas moins difficile de préciser toutes les mesures et dispositions à prendre pour insérer l'enseignement des questions nucléaires dans un système d'éducation existant.

Les compétences requises des spécialistes ne sauraient en aucun cas être approximatives: *il ne peut y avoir aucun compromis en matière de sûreté ou de fiabilité du nucléaire*. C'est pourquoi, même s'il existe plusieurs manières d'atteindre le degré voulu de qualification du personnel (ainsi qu'il ressort de l'expérience de divers pays tant industriels qu'en développement), *il faut que tous les pays atteignent et maintiennent dans ce domaine un niveau de compétence comparable*.

Dans la mise au point d'un programme de formation technique et scientifique aux questions nucléo-énergétiques, il convient de ne pas perdre de vue les activités dont les pouvoirs publics ou les organismes du pays intéressé sont responsables en dernier ressort et qui, par là-même, sont considérées comme essentielles pour que le pays puisse participer pleinement à la réalisation de

son programme (*voir le tableau*). Ces activités devraient être assurées au premier chef par des ressortissants du pays intéressé, quelle que soient les dispositions contractuelles du projet nucléo-énergétique.

Tout pays qui se propose d'exécuter un programme nucléo-énergétique doit être en mesure d'assurer la majeure partie de l'enseignement de base et au moins une partie de la formation supérieure afin de produire le personnel qualifié qui sera appelé à assurer les activités indispensables du programme, y compris celles qui intéressent le transfert et l'adaptation des techniques qui permettront au pays d'y participer activement. Les établissements qui assurent l'enseignement et la formation nécessaires en la matière sont essentiellement les universités, les centres de formation nucléaire, les centres de recherche nucléaire et certains organismes de l'industrie et de l'Etat.

Il importe de souligner que les dépenses d'enseignement qu'entraîne la formation d'un personnel qualifié ne représentent qu'une très faible partie du coût de réalisation d'une centrale nucléaire. L'expérience montre également que les dépenses de formation sont faibles par rapport à celles que l'on encourt quand, faute de personnel pleinement qualifié, il faut arrêter l'exploitation d'une centrale, ne serait-ce que pour une courte période. Un bon système d'enseignement et de formation n'est pas seulement une condition nécessaire à la réalisation d'un programme nucléo-énergétique, c'est aussi un investissement sain pour l'avenir du programme et pour une exploitation optimum des centrales nucléaires. C'est pourquoi enseignement et formation doivent faire partie intégrante des plans nucléo-énergétiques à long terme de tout pays.

## Besoins particuliers des pays en développement

Dans de nombreux pays en développement, l'insuffisance de personnel qualifié est l'un des principaux obstacles au progrès technique en général et au développement de l'énergétique nucléaire en particulier.

Les difficultés que connaissent certains pays en développement et même industriels en matière d'enseignement et de formation dans ce secteur sont avant tout dues à ce que les universités, les établissements spécialisés ou les industries n'ont ni les effectifs ni les moyens nécessaires pour donner un enseignement de qualité dans toutes les disciplines requises. Dans les pays en développement, les écoles secondaires en particulier n'enseignent pas suffisamment à leurs élèves les disci-

Mme Mautner-Markhof, fonctionnaire de l'Agence, travaille dans la Division de l'énergie d'origine nucléaire, Section du génie des réacteurs.

## Enseignement et formation

### Eléments d'un programme d'énergétique nucléaire

Eléments	Participation nationale jugée essentielle*	Difficulté technique**	Effectifs nécessaires**	
1	Planification et coordination du programme	oui	3	1
2	Planification du réseau électrique	oui	2	1
3	Elaboration de la législation et de la structure administrative	oui	1-2	1
4	Accords et arrangements internationaux	oui	1-2	1
5	Participation nationale (planification et coordination)	oui	2	1
6	Formation des effectifs (planification et application)	oui	2-3	2-3
7	Etudes de faisabilité	oui	3	2
8	Evaluation des sites	oui	2-3	1-2
9	Préparation des cahiers des charges pour appel d'offres	oui	2-3	1-2
10	Etudes des soumissions	oui	3	2
11	Passation des marchés	oui	3	1
12	Direction du projet (compagnie d'électricité)	oui	3	1-2
13	Direction du projet (entrepreneur principal)	non	3	2
14	Conception de la centrale	non	3-4	2
15	Conception technique de base	non	3-4	3
16	Conception technique détaillée	non	2-3	4
17	Etablissement et examen des spécifications du matériel et de la centrale	non	3-4	2
18	Détermination de la politique d'assurance de la qualité	oui	2-3	1
19	Application des mesures de contrôle et d'assurance de la qualité	non	2-3	2
20	Achats	non	1-2	1-2
21	Compte rendu des analyses de sûreté	non	3	2
22	Planification des mesures d'urgence	oui	2	1
23	Information et relations publiques	oui	1-2	1
24	Garanties et protection physique	oui	1	2
25	Fabrication des équipements	non	1-4	1-4
26	Direction des travaux de construction	non	2-3	2
27	Préparation du site	oui	1	2-3
28	Construction des bâtiments et des structures	oui	2	4
29	Installation des équipements et systèmes de la centrale	oui	2-3	3
30	Essais des systèmes et composants de la centrale	non	2-3	2
31	Essais de criticité et de recette de la centrale	non	3-4	1-2
32	Exploitation et entretien de la centrale	oui	3-4	3
33	Radioprotection et surveillance de l'environnement	oui	1-2	1
34	Achat du combustible	oui	2	1
35	Prospection, extraction et concentration du minerai d'uranium	non	1-2	3-4
36	Conversion	non	1-2	1-2
37	Enrichissement	non	4	3
38	Fabrication du combustible	non	3	2
39	Gestion et entreposage du combustible dans la centrale	oui	2-3	1
40	Transport du combustible et entreposage, hors de la centrale, dans le pays	oui	1-2	1
41	Retraitement du combustible épuisé	non	4	3
42	Gestion des déchets	oui	2-3	2
43	Délivrance des autorisations et réglementation nucléaire	oui	3-4	2-3
44	Recherche-développement dans le domaine nucléo-énergétique	non	3-4	3

\* Les activités jugées essentielles varieront quelque peu selon les politiques et les possibilités de participation nationale et les arrangements contractuels relatifs au projet de centrale nucléaire.

\*\* Indice: 1 = faible; 2 = moyen; 3 = élevé; 4 = très élevé.

plines indispensables pour qu'ils puissent entreprendre, au niveau requis, des études universitaires techniques et scientifiques. Il faut, dès le départ, accorder l'attention et les moyens voulus pour 1) former des enseignants qualifiés et 2) assurer la coopération entre les universités et l'industrie afin que les étudiants puissent acquérir une expérience pratique et recevoir une formation en cours d'emploi, ce qui suppose la mise en place des services administratifs et autres que nécessite la gestion de grands projets, les universités n'ayant ni les moyens ni les effectifs voulus à cette fin.

Il a été très difficile de retenir dans leur pays d'origine des techniciens qualifiés pour exécuter le

programme nucléo-énergétique national, surtout quand ils avaient pu faire des études, recevoir une formation ou acquérir de l'expérience à l'étranger. Cette situation grave est due tant aux différences de conditions d'emploi qu'aux décalages entre les calendriers des programmes de formation et des programmes nucléaires, à telle enseigne que des spécialistes étaient prêts avant qu'on puisse les employer, ou inversement. C'est pourquoi une gestion rationnelle du personnel est indispensable si l'on veut recruter en temps utile le personnel voulu et donner à ce dernier une formation suffisante de façon qu'il ait les qualifications requises pour exercer des fonctions dans un programme nucléo-énergétique. D'une manière

générale, on a constaté qu'il fallait recruter et former davantage de personnes qu'il n'en faut pour pourvoir les postes vacants, ceci afin de tenir compte de la proportion d'échecs chez les étudiants et d'assurer les remplacements rendus nécessaires par les défections ou l'expatriation de personnel qualifié.

### **Formation et expérience pratiques**

On ne saurait trop insister sur l'absolue nécessité d'une *formation pratique* tout au long des études tant générales que nucléaires, et ce à tous les niveaux. C'est là un élément indispensable tant pour les élèves que pour les professeurs, surtout dans l'enseignement technique. La majeure partie de cet aspect pratique de l'enseignement doit pouvoir être assurée dans le pays même, le reste pouvant l'être à l'étranger dans des entreprises industrielles, des centres de recherche, des établissements d'enseignement supérieur et des organismes gouvernementaux au moyen d'arrangements bilatéraux.

L'enseignement technique et scientifique devrait donc donner aux élèves la possibilité d'exécuter des travaux d'application pratique dans l'industrie ou dans des centrales avant qu'ils ne soient diplômés d'une université ou d'un institut d'enseignement supérieur. Les pays en développement en particulier devraient s'efforcer d'accroître et de resserrer les liens entre les universités et les entreprises industrielles afin d'empêcher que l'enseignement technique ne perde contact avec les pratiques les plus récentes et les besoins du moment. Outre une expérience pratique des techniques, il faudra, pour assurer les diverses tâches d'un programme nucléo-électrique, de nombreuses personnes ayant une expérience pratique dans des domaines comme l'évaluation des techniques, l'économie et la planification de l'énergie, l'administration et les problèmes d'opinion publique.

### **Orientation de l'enseignement sur les questions nucléaires**

En matière d'enseignement, il faut avant tout des programmes portant spécialement sur les disciplines nucléaires, permettant d'accéder à un niveau universitaire équivalent à la licence, voire à la maîtrise ès sciences ou au diplôme d'ingénieur. Il faut prévoir des programmes universitaires au-delà du niveau de la maîtrise pour être certain d'avoir des ingénieurs et scientifiques de haut niveau (docteurs du 3<sup>ème</sup> cycle ou équivalent) ayant toute l'expérience nécessaire pour assurer notamment l'enseignement universitaire, les travaux de recherche-développement et certaines tâches réglementaires. La plupart des pays n'ont généralement pas de tels programmes de formation quand ils optent pour le nucléaire.

Les pays constatent généralement qu'il leur faut ajouter après l'université des programmes spécialisés pour compléter la formation des diplômés qui ont certes des qualifications scientifiques, mais étrangères au domaine nucléaire ou, dans certains cas, une expérience professionnelle autre que nucléaire, et qui sont appelés à travailler au titre du programme nucléo-énergétique. Ces cours de spécialisation n'entendent pas se substituer à l'enseignement indispensable à long terme au niveau universitaire et au-delà pour former les techniciens et les

scientifiques nécessaires. Néanmoins, en tant que moyen de relever les qualifications et de renouveler et actualiser les connaissances techniques et pratiques des questions nucléaires, ces cours de spécialisation jouent un rôle important dans le système national d'enseignement et de formation (*voir la figure*).

En général, on met en place un programme de spécialisation technique et scientifique au début de tout programme nucléo-énergétique afin de donner des bases théoriques et l'expérience pratique indispensables en génie nucléaire à des personnes de l'industrie ou des services gouvernementaux formées aux disciplines techniques classiques. A mesure que le programme se développe et que les besoins de personnel augmentent, l'enseignement des matières correspondantes s'insère progressivement dans le système d'enseignement existant. Cependant, même si cette formule devient le mode principal de formation en énergie nucléaire, il faudra encore des cours de spécialisation par exemple pour assurer les besoins d'éducation permanente afin de tenir les intéressés au courant de l'évolution de la situation (nouvelles techniques ou nouveaux règlements), de pousser l'enseignement dans certains domaines nucléaires spécialisés et d'assurer la formation de certaines catégories de personnel, telles que chefs d'équipe, radioprotectionnistes et autres spécialistes.

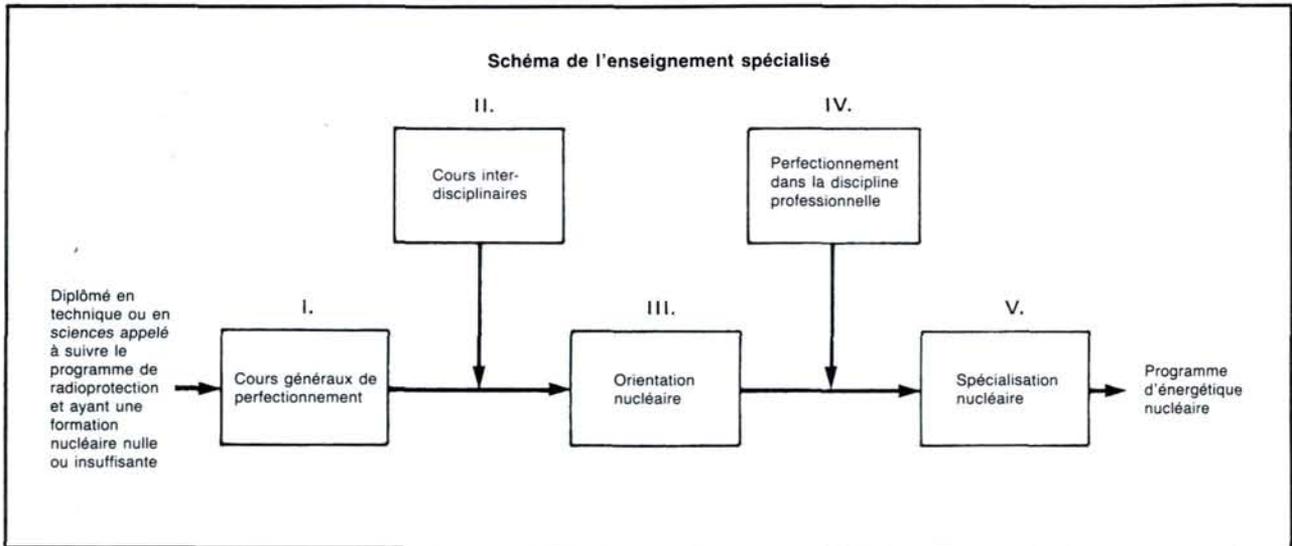
Les moyens d'enseignement et de formation, de même que les possibilités des entreprises, varient d'un pays à l'autre, tout comme la nature des programmes nucléo-énergétiques et de leurs objectifs (par exemple, l'importance de la participation nationale). C'est pourquoi il est difficile de recommander dans le détail les cours à prévoir pour les programmes de spécialisation nucléaire, encore que des modèles de programmes aient été proposés\*. Les cours devraient ainsi permettre d'acquérir l'ensemble des connaissances théoriques et pratiques qui constituent la base indispensable dans ce domaine.

Il convient de distinguer le programme en question d'un programme d'enseignement supérieur de type courant, vu qu'il est plus spécialement axé sur les exigences d'un programme nucléaire bien précis et qu'il comporte une étude beaucoup plus poussée que les programmes techniques scolaires traditionnels du pays. Il donne en outre un enseignement théorique et pratique dans des disciplines nucléaires spécialisées comme l'étude des effets des rayonnements et la technologie des réacteurs. Il est éminemment souhaitable d'amener quelques universités à y participer, ce qui les encouragera à renforcer leurs programmes, relever le niveau des diplômés qu'elles délivrent et à moderniser leurs installations afin de satisfaire, tant dans l'enseignement traditionnel que dans l'enseignement des sciences nucléaires, aux normes élevées qu'appellent le programme nucléo-énergétique et la politique de participation nationale correspondante.

Il importe tout spécialement de réserver ces programmes à des personnes qui seront appelées à donner des cours de spécialisation dans le pays. Il est en effet indispensable que cet enseignement soit assuré par des professeurs qualifiés et expérimentés, et il est

---

\* *Guidebook on engineering and science education for nuclear power*, AIEA, Vienne (1986), p. 17 à 40.



recommandé d'accorder une attention particulière à tous les aspects de l'enseignement et de la formation, y compris sur le plan de la pédagogie appliquée.

**Education permanente**

Pour que les cadres techniques puissent acquérir, conserver, développer et mettre à jour les connaissances théoriques et pratiques dont ils ont besoin pour mener à bien les tâches ou les fonctions que suppose un programme nucléo-énergétique, il est indispensable de disposer de moyens étendus et diversifiés pour assurer leur éducation permanente, surtout en ingénierie. A cette fin, il faudrait prévoir, pour les cadres et les enseignants en activité, des cours obligatoires de perfectionnement, institutionnalisés et faisant partie intégrante du programme national de formation et des cours dispensés dans les établissements d'enseignement. Pour ces cours, il faudrait mettre à profit toutes les possibilités de collaboration entre les universités, l'industrie, les services publics, les centres de formation et de recherche nucléaire et les autres établissements spécialisés. Les associations professionnelles pourraient également jouer un rôle utile et encourager l'enseignement de certaines disciplines. Les intéressés pourront également être appelés à suivre des cours à l'étranger, notamment dans certains domaines extrêmement complexes intéressant les derniers perfectionnements de la technique. Une coopération internationale sera également très utile pour assurer les échanges de personnel enseignant, la fourniture de matériel d'enseignement et, éventuellement, la création de centres régionaux d'éducation permanente.

Pour assurer un enseignement et une formation de la qualité voulue, il faudra fixer, maintenir et appliquer des critères pour permettre l'examen, l'évaluation et la reconnaissance, à l'étranger, des programmes universitaires conduisant à l'obtention de diplômes techniques et scientifiques plus spécialement axés sur les domaines nucléaires, de façon à établir et faire respecter des normes de qualification minimum. Il importe également d'obtenir l'homologation de certains stages de formation nucléaire ne donnant pas lieu à la délivrance de diplômes

et d'autres programmes de formation permanente suivis auprès d'universités ou d'autres établissements comme les compagnies d'électricité, les entreprises industrielles, les laboratoires nationaux et les centres de formation nucléaire.

**Rôle des pouvoirs publics**

Dans un programme nucléo-énergétique, il est certains domaines dont les organismes nationaux doivent assumer la pleine et entière responsabilité, les tâches correspondantes devant être exécutées essentiellement par des ressortissants du pays, indépendamment de toute disposition contractuelle. Il s'agit d'activités essentielles pour que le pays puisse participer pleinement au programme. Dans les pays qui ont décidé ou ont commencé de s'équiper en nucléaire, la planification, la coordination et la conduite du programme, ainsi que la participation nationale et l'ensemble de la formation du personnel, relèvent essentiellement du pays intéressé. Le gouvernement peut déléguer à certains organismes qui relèvent de son autorité le soin d'assurer nombre des tâches et fonctions nécessaires, mais c'est lui qui, en dernier ressort, doit définir les politiques et les stratégies et prendre les décisions définitives.

Les gouvernements, par l'intermédiaire des organismes compétents, concluent généralement des accords bilatéraux ou multilatéraux en matière de coopération, de fournitures et de formation nucléaires. Les accords bilatéraux couvrent les échanges scientifiques entre organismes bien définis, qui visent à développer les moyens existants, y compris les programmes de formation du personnel et les dispositions réglementaires. En général, c'est la commission ou l'organisme chargé de l'énergie nucléaire — dont la nature dépend de la pratique et du programme énergétiques du pays — qui a mis sur pied les services et les organismes de base chargés d'assurer la planification et la mise en œuvre des programmes nucléaires et de formation du personnel.

Au nombre des mesures que les gouvernements pourraient prendre pour renforcer leurs moyens

nationaux de formation technique et scientifique dans le domaine nucléo-énergétique, nous citerons:

- Fixer les normes de reconnaissance des programmes universitaires ou autres et des diplômes délivrés, ainsi que des niveaux satisfaisants de qualification ou d'homologation pour les ingénieurs et autres spécialistes;
- Relever, par un ensemble judicieux de normes, de mesures de soutien et d'encouragement, la qualité des cours, des chercheurs et des diplômés universitaires dans les disciplines techniques et scientifiques. On pourrait y parvenir grâce à un appui du gouvernement (et de l'industrie) assurant l'attribution des bourses, des subventions, des moyens de formation et des contrats de recherche nécessaires, et grâce à un système de financement judicieux permettant de relever le niveau des programmes et de moderniser les laboratoires, les services d'informatique et les centres de recherche. Il se peut qu'il faille accorder aux chercheurs et aux enseignants de meilleures conditions d'emploi (notamment sur le plan des salaires) pour empêcher qu'ils ne soient attirés par l'industrie;
- Renforcer, grâce à des examens judicieux, des normes de qualification plus poussées et de bonnes mesures d'encouragement, le nombre et la qualité des élèves qui veulent entreprendre ou poursuivre au niveau universitaire des études relevant des techniques et des sciences nucléaires;
- Renforcer le rôle de l'industrie et recourir davantage à ses services afin que les futurs spécialistes puissent se livrer aux travaux d'application pratique prévus dans leur programme de formation et acquérir l'expérience indispensable et, pour cela, prévoir notamment en faveur des entreprises une législation appropriée ainsi que des avantages financiers;
- Etudier les possibilités et l'intérêt de prévoir des modalités de coopération entre pays ou d'utiliser les réseaux de coopération technique existants.

### **Le système d'enseignement: établissements, personnel enseignant et ressources diverses**

L'AIEA offre à ses Etats Membres divers types d'assistance pour leur permettre de développer leurs moyens d'enseignement technique et scientifique en énergétique nucléaire. Ces types d'assistance couvrent notamment:

- La fourniture de renseignements concernant la mise en place ou l'adaptation de programmes d'enseignement des techniques et des sciences nucléo-énergétiques, que ce soit au niveau de l'enseignement technique ou au niveau universitaire (en s'inspirant des programmes recommandés dans le *Guide de l'AIEA pour l'enseignement scientifique et technique des questions nucléo-énergétiques*).
- L'aide d'experts pour la création ou la modernisation de laboratoires et d'autres établissements d'enseignement; professeurs qualifiés pour l'organisation et la conduite de cours techniques et scientifiques portant plus spécialement sur les questions nucléaires; missions d'experts pour déterminer les besoins de tel ou tel pays, et bourses de perfectionnement. Les bourses de l'Agence peuvent également servir à la formation de personnel enseignant.
- L'appréciation des possibilités et de l'intérêt d'une coopération technique entre pays, et plus particulièrement entre pays en développement, pour les Etats Membres et leurs établissements d'enseignement. Cette assistance suppose une coopération entre l'AIEA et l'Etat Membre intéressé pour évaluer et éventuellement développer le potentiel de certains établissements déjà spécialisés dans un domaine important du génie ou de la science nucléaire.
- La préparation et la conduite de cours de spécialisation (par exemple, cours de radioprotection) dans divers Etats Membres.

