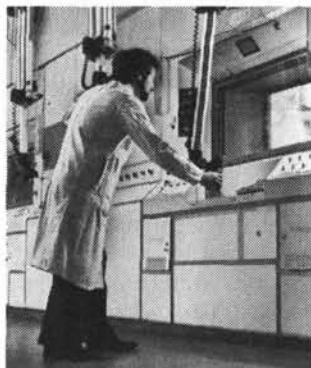


Emplois nouveaux créés par les programmes nucléo-énergétiques futurs

par S.B. Hammond, J.A. Lane, A. Rogov et R. Skjoeldebrand*



Le manque d'ingénieurs et de techniciens familiarisés avec les techniques nucléo-énergétiques risque de freiner les réalisations dans ce domaine si les mesures ne sont pas prises pour former du personnel technique compétent. Le présent article expose les perspectives de croissance de l'énergie nucléaire d'ici à l'an 2000. On a estimé quels seraient jusqu'en 1990 les besoins en personnel technique nécessaire pour assurer cette croissance et on a comparé les chiffres obtenus au nombre, également estimé, des ingénieurs diplômés. Enfin, des critères ont été fixés pour déterminer les zones géographiques où la réalisation de programmes nucléo-énergétiques risque de peser sur l'offre de personnel technique.

PREVISIONS CONCERNANT L'ESSOR NUCLEO-ENERGETIQUE

Au début de 1973, un rapport établi conjointement par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire et par l'AIEA donnait des prévisions sur les programmes nucléo-énergétiques des pays de l'OCDE jusqu'en 1990¹. Les chiffres qu'il contient ont été extrapolés jusqu'en l'an 2000 d'après les taux de croissance considérés par l'USAEC² comme les plus vraisemblables (voir tableau 1).

L'AIEA a donné en 1973, pour son étude de marché de l'énergie d'origine nucléaire dans les pays en voie de développement³, des prévisions sur l'essor nucléo-énergétique dans 14 pays en voie de développement situés dans différentes parties du monde (Argentine, Bangladesh, Chili, Corée, Egypte, Grèce, Jamaïque, Mexique, Pakistan, Philippines, Singapour, Thaïlande, Turquie et Yougoslavie). A partir des résultats de l'étude de marché et selon la même méthode, on a établi une première évaluation du marché potentiel des centrales nucléaires dans tous les pays en voie de développement. Les résultats obtenus ont permis, au début de 1973, d'évaluer la puissance nucléaire installée des régions du monde extérieures à la zone OCDE (voir tableau 1).

* Le présent article est tiré d'un exposé présenté par les auteurs à la Conférence nucléaire européenne qui s'est tenue à Paris au mois d'avril.

¹ Rapport établi conjointement par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire et l'Agence internationale de l'énergie atomique, "L'uranium, ressources, production et demande", août 1973.

² USAEC, Nuclear Power 1973-2000, WASH-1139, 1972.

³ Agence internationale de l'énergie atomique, Etude de marché de l'énergie d'origine nucléaire dans les pays en voie de développement: rapport général, STI/PUB/357, août 1973.

Le réacteur Dragon de l'OCDE, situé à l'AEE de Winfrith (Angleterre), a été conçu pour pouvoir fonctionner à des fins commerciales. C'est un exemple parmi beaucoup d'autres des domaines d'activités qui exigeront dans quelques années du personnel qualifié. Photo: UKAEA

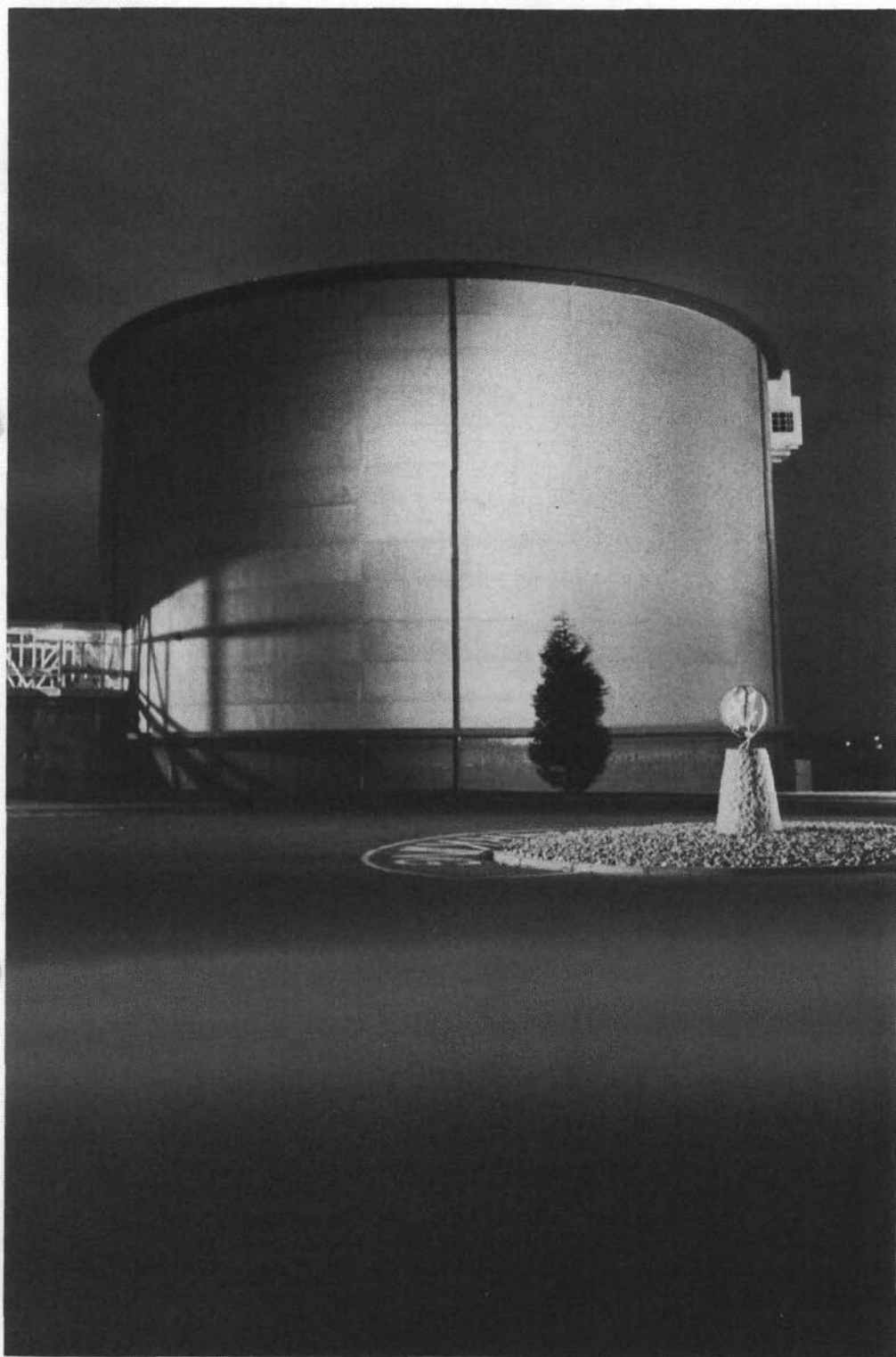


Tableau 1: Prévisions établies au début de 1973 de la puissance nucléaire installée par région (GWe, à la fin de chaque année)

REGION	1975	1980	1990	2000
OCDE Europe	26,5	81,3	373	1000
OCDE Amérique du Nord	56,7	138,5	539	1300
OCDE Pacifique	8,6	33,0	106	250
Amérique latine	0,3	3,4	49	140
Asie et Extrême-Orient	1,7	5,9	56	150
Afrique et Moyen-Orient	—	1,2	21	45
Pays à économie planifiée	9,5	38,4	246	670
Total mondial ^{a)}	104	302	1390	3580

a) Excluding China

Tableau 2: Récapitulation des besoins en personnel du génie nucléaire pour les programmes nucléo-énergétiques

REGION	1975	1980	1985	1990
OCDE Europe	16 300	30 000	49 000	71 000
OCDE Amérique du Nord	23 000	41 000	62 000	88 000
OCDE Pacifique	6 300	8 800	12 900	18 100
Pays à économie planifiée	11 100	22 000	40 000	57 000
Asie et Extrême-Orient minimum dans le pays	900	2 000	3 800	5 800
pouvant provenir de l'étranger	1 680	3 600	5 500	7 000
Amérique latine minimum dans le pays	580	1 580	3 200	5 300
pouvant provenir de l'étranger	1 440	3 200	5 100	6 400
Afrique et Proche-Orient minimum dans le pays	360	1 100	2 400	3 800
pouvant provenir de l'étranger	860	2 300	4 500	5 300

A la suite de la forte hausse des prix mondiaux du pétrole survenue à la fin de 1973 et au début de 1974, de nombreux pays qui produisaient leur électricité à partir du pétrole ont renforcé leurs programmes nucléo-énergétiques. Les prévisions les plus récentes sont fondées sur l'hypothèse selon laquelle la croissance de la demande totale d'électricité ne diminuerait pas sensiblement par suite de l'élévation des prix du pétrole. De même, on a admis que des éléments négatifs tels que le recours croissant aux matières premières énergétiques locales, le souci de préserver l'environnement, le manque d'investissements et, dans de nombreux pays, l'opposition du public à la prolifération rapide de centrales nucléaires, ne modifieraient pas la part nucléo-énergétique dans la capacité de production supplémentaire. Tout en reconnaissant que ces facteurs peuvent ne pas freiner le développement de l'énergie nucléaire, il a été décidé, aux fins du présent article, d'adopter les prévisions prudentes faites au début de 1973 et indiquées au tableau 1 plutôt que les prévisions plus récentes de demande accélérée.

SITUATION PREVISIONNELLE DE L'EMPOI, MODELE ET RESULTATS

L'estimation des besoins futurs de personnel correspondant aux programmes nucléo-énergétiques prévus imposait l'emploi d'un modèle simplifié du cycle du combustible. On a donc choisi un modèle comportant des usines de conversion de "gâteau jaune" ou de nitrate d'uranium en UF_6 , des usines d'enrichissement, des usines de transformation de UF_6 en UO_2 et de fabrication de combustible, des centrales nucléaires, des usines de retraitement et de production de combustible recyclé à oxyde mixte. On a admis que les réacteurs à eau légère domineraient jusqu'en 1990, mais on a étudié des cas où il existe une proportion importante de réacteurs à eau lourde. L'extraction de l'uranium n'a pas été prise en considération car les estimations s'y rapportant devraient être calculées en fonction de l'emplacement des réserves futures et non en fonction des implantations de cycles du combustible qui pourraient apparaître nécessaires dans d'autres pays; les faits semblent cependant indiquer que les besoins de personnel supplémentaire seront seulement marginaux bien qu'ils puissent être importants en certains points. Les besoins en personnel pour les programmes de recherches et de réalisations devront être estimés séparément.

La demande de personnel a été calculée pour des installations-types inspirées des usines actuelles. En ce qui concerne les usines du cycle du combustible, on a admis qu'il en serait construit une chaque fois que la demande justifierait l'implantation d'une usine de type industriel de taille minimale. On a aussi considéré que la réalisation d'un projet et la mise en service exigeraient pendant un délai de démarrage raisonnable le même personnel qualifié que le fonctionnement normal. Dans le cas des centrales nucléaires, qui correspond aux plus fortes demandes de personnel, il a fallu procéder à des estimations plus détaillées parce qu'elles nécessitent un personnel qualifié nombreux aux stades préliminaires et qu'il faut compter dix ans entre le lancement du projet et son fonctionnement industriel (deux ans pour la préparation, le choix du site et les premiers plans, deux pour la soumission des offres, la rédaction et l'examen du rapport de sécurité et six pour la construction). On a réparti le temps de réalisation en deux périodes, quatre ans pour la préparation et six ans pour la construction, et on a calculé dans chaque cas le nombre moyen de personnes employées⁴ d'une part par l'acquéreur, d'autre part par le fournisseur. Cette formule permet, dans les régions où il n'existe pas de fournisseur de centrales nucléaires, d'établir des estimations distinctes pour les besoins en personnel local et en personnel étranger.

A l'aide de ces modèles, on peut évaluer approximativement la demande de personnel spécialisé correspondant aux programmes nucléo-énergétiques qui sont prévus jusqu'en

⁴ R.W. Deutsch, J. W. Whitney: Nuclear News, juin 1974, p. 71, et WASH-1130 (révisé).

1990. Le **tableau 2** récapitule une partie des résultats relative au personnel d'ingénierie. Ces estimations se heurtent toutefois à diverses difficultés fondamentales. La première est que les systèmes d'enseignements varient selon les pays et que les tâches ne sont pas partout confiées de la même façon à un ingénieur ou à un technicien. Deuxièmement, certaines usines considérées dans ce modèle, par exemple les usines de retraitement de 1500 t par an ou les usines de fabrication de combustible recyclé de 25 t de Pu par an n'existent pas encore.

Tableau 3: Répartition approximative du personnel d'ingénierie par profession dans quatre grandes branches de l'industrie nucléaire aux Etats-Unis, 1972 (pourcentage)

BRANCHE	Profession					
	Ingénieur nucléaire	Ingénieur chimiste	Ingénieur mécanicien	Ingénieur électricien	Ingénieur de travaux publics	Autres ^{a)}
Secteur nucléo-électrique	9	3	29	38	16	5
Construction des systèmes nucléaires de production de vapeur	17	13	41	15	5	9
Génie et construction	21	8	23	5	22	21
Traitement du combustible, AEC, et fabrication des petits composants de réacteurs	16	20	34	20	7	3

a) Comprend les ingénieurs s'occupant du contrôle de la qualité et des autorisations de construction des réacteurs et les spécialistes de l'environnement.

Tableau 4: Pourcentage de tous les ingénieurs diplômés au cours des cinq dernières années qui travailleront dans l'industrie nucléaire

REGION	1975	1980	1985	1990
OCDE Europe	4,3%	6,1%	8,4%	10,4%
OCDE Amérique du Nord	6,0%	8,8%	11,4%	14,1%
OCDE Pacifique	1,4%	1,4%	1,6%	1,9%
Pays à économie planifiée	0,6%	0,8%	1,2%	1,4%
Asie et Extrême-Orient (personnel local)	0,5%	0,8%	1,1%	1,4%
Amérique latine (personnel local)	0,5%	1,0%	1,6%	2,1%
Afrique et Proche-Orient (personnel local)	0,4%	0,9%	1,5%	2,0%

On a donc dû, pour ces usines, évaluer les besoins de personnel d'après ceux de l'industrie chimique. Troisième difficulté, si l'on est actuellement fondé à dire quelle est la taille minimum d'une usine rentable, il est impossible de calculer la taille des centrales qui fonctionneront à la fin des années quatre-vingt. Enfin, on devrait pouvoir faire de grandes économies de personnel en intégrant la planification et la gestion de plusieurs usines, surtout si la structure industrielle du pays le permet. Ces économies ne peuvent pas être estimées pour des régions entières mais on a essayé de les évaluer pour des pays précis et on a trouvé qu'on pouvait réduire d'une quantité pouvant atteindre 25% le nombre d'ingénieurs prévus.

RESSOURCES EN INGENIEURS

L'UNESCO⁵ et un certain nombre d'autres organismes établissent chaque année des statistiques au sujet du nombre d'ingénieurs et de techniciens qui sont formés chaque année dans les différents Etats Membres. Pour diverses raisons, les chiffres obtenus ne concordent pas toujours, surtout dans le cas des techniciens. Ceci est en partie dû à la très grande diversité des programmes d'étude et des établissements d'enseignement technique et à la définition de technicien qui varie avec les différents pays. Si les techniciens se placent entre les ouvriers et les ingénieurs, les limites ne sont pas toujours claires et varient selon les pays ou même selon les secteurs de l'industrie. Les ingénieurs sont assez faciles à reconnaître car ils sont diplômés d'universités, de grandes écoles techniques ou d'établissements équivalents. Les chiffres relatifs à cette catégorie semblent plus homogènes et plus sûrs que ceux qui se rapportent aux techniciens et ce sont les seuls qui ont été retenus dans le présent article.

Le modèle utilisé pour évaluer les ressources futures en ingénieurs nouvellement diplômés dont pourrait disposer l'industrie nucléaire dans les différentes parties du monde repose sur les hypothèses suivantes:

- 1) L'industrie nucléaire emploiera des ingénieurs de toutes les spécialisations.
- 2) Une extrapolation linéaire des données relatives aux ingénieurs diplômés entre 1960 et 1970 peut servir à évaluer le nombre des ingénieurs qui termineront leurs études en 1975, 1980, 1985 et 1990.

L'histoire a montré que lorsque une technique nouvelle importante est au point et, que ses applications deviennent classiques et courantes, les ingénieurs de nombreuses autres disciplines participent à l'essor de cette nouvelle industrie. Au bout d'un certain temps, des études peuvent être organisées exprès pour former des ingénieurs spécialisés dans cette nouvelle branche, mais à l'origine, aucune formation spéciale n'est offerte. L'industrie nucléaire semble devoir, au moins en partie, suivre cette évolution. Actuellement, un petit nombre seulement des ingénieurs qui travailleront dans l'industrie nucléaire suivent des cours spécialement conçus à cet effet mais la plupart ont suivi des cours classiques d'électricité, de mécanique, de chimie ou de génie civil. Le **tableau 3** montre, par exemple, quelle est la formation des ingénieurs qui travaillaient dans l'industrie nucléaire aux Etats-Unis en 1972. En outre, l'industrie nucléaire pose, en raison de sa complexité, de nombreux problèmes techniques précis qui sont mieux résolus par des ingénieurs formés aux autres disciplines classiques. Pour ces raisons, les estimations relatives aux ressources futures en personnel technique sont en fait des estimations de ressources en ingénieurs récemment diplômés de toutes les disciplines.

⁵ Annuaire statistique, Paris, 1972 et années précédentes.

On peut comparer les prévisions du nombre des ingénieurs diplômés chaque année avec celles qui concernent la demande annuelle de l'industrie nucléaire en expansion. Ces prévisions ont été établies dans le cas de régions et de pays caractéristiques. Le **tableau 4** indique les pourcentages d'ingénieurs diplômés dont l'industrie nucléaire aura probablement besoin en 1975, 1980, 1985 et 1990. Pour les pays de l'OCDE situés en Europe et en Amérique du Nord, l'augmentation annuelle moyenne du nombre des ingénieurs nouvellement diplômés est calculée en extrapolant les augmentations moyennes annuelles enregistrées entre 1960 et 1970, mais ce taux de croissance risque de ne pas se maintenir. Pour les autres régions du monde, on a admis pour le modèle que le nombre de nouveaux ingénieurs croîtrait de 10% par an. Il a, entre 1960 et 1970, augmenté en fait beaucoup plus rapidement mais cette tendance va probablement s'atténuer dans des nombreux pays.

On peut essayer de déterminer les régions et les pays où l'industrie nucléaire risque d'avoir des difficultés pour recruter du personnel technique en déterminant un seuil à partir duquel cette situation risque de se produire. Par exemple, il est probable que si l'industrie nucléaire absorbe 5% de tous les nouveaux ingénieurs, elle ne nuira pas trop aux industries concurrentes du moins dans la plus grande partie des pays. En revanche, si elle en absorbe plus de 10%, la plupart des pays risqueront de souffrir de manque de personnel qualifié. A ce sujet, le **tableau 4** indique de façon intéressante comment on pourrait manquer d'ingénieurs en Amérique du Nord en 1985 et en Europe en 1980. D'après les critères indiqués ci-dessus, les autres parties du monde ne devraient pas avoir de difficultés de recrutement. Pour ce qui est des techniciens, les prévisions sont à peu près les mêmes que pour les ingénieurs.

Il est évident que les pays qui envisagent de construire des centrales nucléaires ont tous besoin d'universités, de grandes écoles et d'instituts pour former leurs ingénieurs, leurs chercheurs et leurs techniciens. En outre, il leur faut des moyens propres à assurer la formation intensive de personnel dans les domaines spécialisés de la technique nucléaire. Bien qu'une partie de cet enseignement spécialisé soit dispensé dans les grandes écoles et les universités, il faudra que les compagnes d'électricité, les commissions de l'énergie atomique et les autres secteurs de l'industrie nucléaire créent et entretiennent des centres de formation continue. L'industrie devra organiser une formation en cours d'emploi dans tous ses secteurs d'activité pour s'assurer les ingénieurs et les techniciens spécialisés dont elle aura besoin. La plupart des ingénieurs auront probablement été formés aux disciplines fondamentales et ne recevront leur formation spécialisée et n'acquerront leur expérience que dans l'industrie nucléaire.

CONCLUSIONS

Il est probable que l'Amérique du Nord et l'Europe occidentale connaîtront un recrutement difficile car il faut de très nombreux ingénieurs pour construire, faire fonctionner et entretenir les nombreuses usines qui participent à l'industrie nucléaire. Le **tableau 4** montre que, lorsqu'une centrale est construite dans un pays en voie de développement, c'est le pays industrialisé ou fournisseur qui a besoin de plus grand nombre d'ingénieurs et non le pays en voie de développement et cette situation tendra à aggraver les difficultés des pays industrialisés. Les recherches et les réalisations emploieront comparativement peu d'ingénieurs par rapport à la construction, à l'exploitation et à l'entretien et ceci déplace l'accent mis actuellement dans les écoles d'ingénieurs sur les recherches et réalisations.