

Situation et évolution de l'énergétique nucléaire dans le monde

La contribution du nucléaire à la production d'électricité augmente

par Leonard L. Bennett et Robert Skjoeldebrand

En 1985, la puissance installée nucléaire a augmenté de 14% dans le monde avec la mise en service de 32 nouvelles centrales d'une capacité totale de 30 gigawatts électriques (GWe). A la fin de la même année, on comptait 374 centrales nucléaires en exploitation dont la puissance totale atteignait presque 250 GWe. La quantité d'énergie produite s'élevait à quelque 1400 térawatt-heures, soit une augmentation de 19% par rapport à 1984, et représentait environ 15% de la production mondiale d'électricité pendant l'année*.

Que représente cette contribution? La production d'électricité d'origine nucléaire dans le monde, en 1985, était du même ordre que la production totale des 10 pays de la Communauté économique européenne pendant cette même année. On peut aussi voir la situation sous un autre angle: les 1400 térawatt-heures d'origine nucléaire produits en 1985 équivalent au total de la production mondiale de 1954, ce qui correspond à une consommation de 570 millions de tonnes de charbon. Pour ce qui est de l'Europe occidentale, les 551 térawatt-heures nucléaires produits en 1985 équivalent à toute la production de 1960.

La part du nucléaire

La proportion d'énergie électrique d'origine nucléaire varie selon les pays et aussi selon les régions d'un même pays, comme c'est le cas aux Etats-Unis. Ainsi qu'il apparaît sur la carte, la part du nucléaire dans la production totale d'électricité en 1985 a atteint 10% et plus dans 19 pays. Dans les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), un peu plus de 20% de la production totale d'électricité de 1985 provenait de centrales nucléaires.

Notons en passant que la part du nucléaire pour l'ensemble du Canada était de 12,7% en 1985, mais de 42% dans la province d'Ontario. De même, tandis que 15,5% de la production totale d'électricité des Etats-Unis

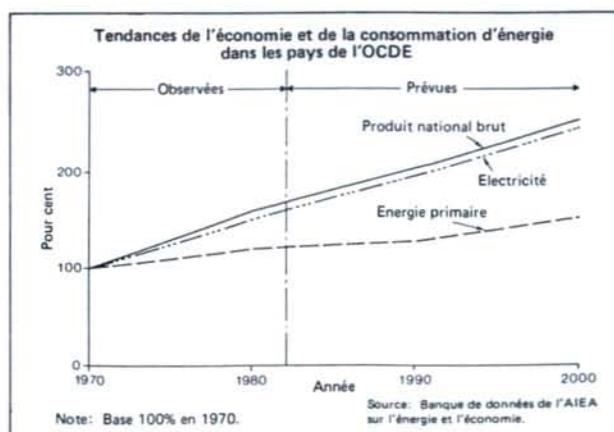
était d'origine nucléaire, la proportion dépassait 50% dans six des Etats de l'Union (voir la carte et le tableau page 44).

La montée rapide de la contribution de l'énergie nucléaire est le résultat des commandes passées dans les années 70, dont l'effet se fera encore sentir pendant quelques années. Si cette augmentation persiste, la puissance installée nucléaire mondiale se situera vraisemblablement aux alentours de 370 GWe en 1990, soit 20% de la production totale, à moins que des projets ne soient annulés ou retardés.

Les plans et les objectifs nationaux seront certainement revus et discutés à la suite de l'accident de Tchernobyl. En dépit de cet accident, la demande d'énergie et les facteurs économiques demeurent et devraient favoriser l'expansion de l'énergie d'origine nucléaire pendant les années 90 et au-delà de l'an 2000. Voyons maintenant quel sont ces facteurs et ces tendances.

L'offre d'énergie

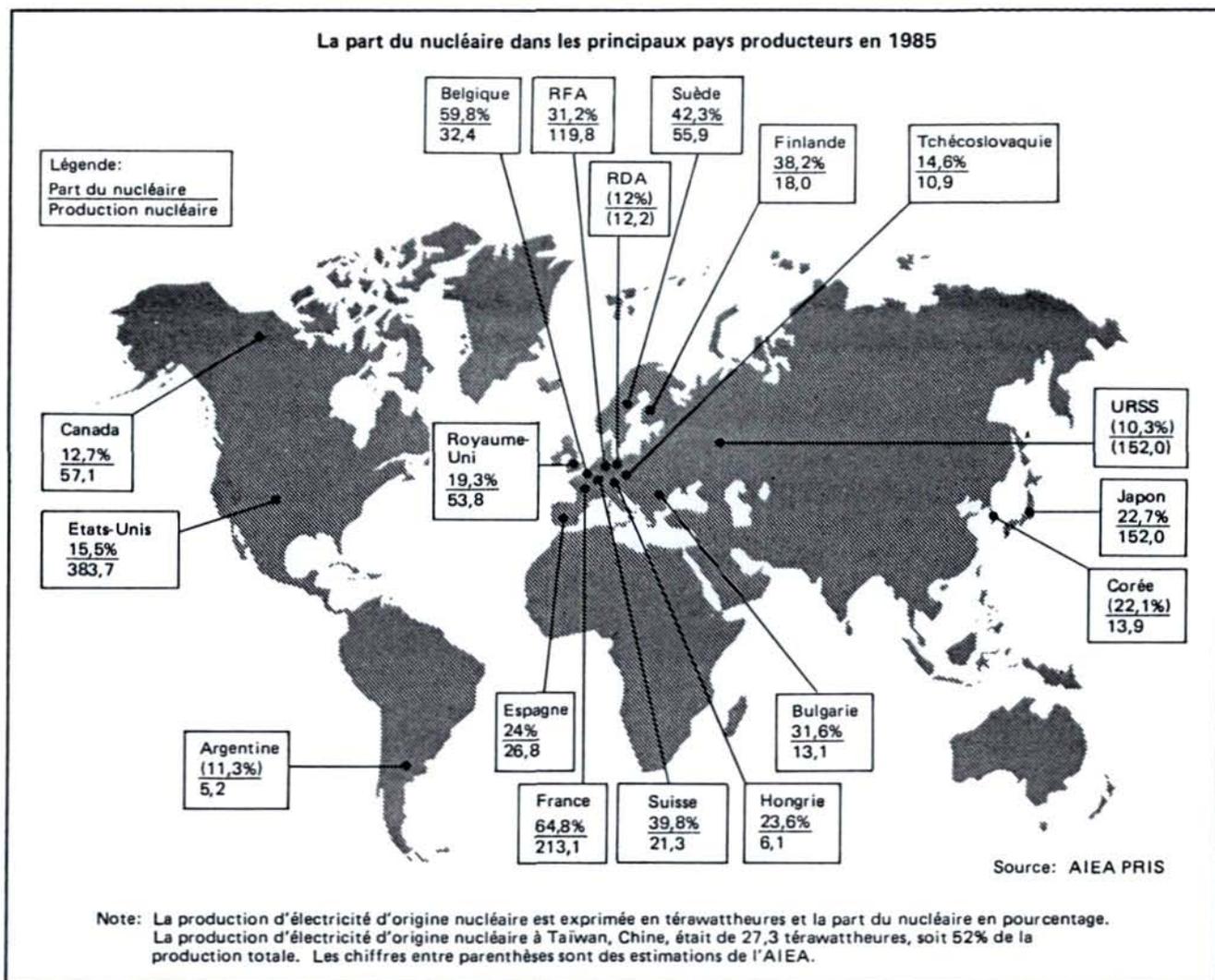
Dans les pays industrialisés à économie de marché, on constate une dissociation significative de la consommation d'énergie primaire et du produit national brut (PNB). On remarque par ailleurs que l'électricité acquiert un rôle important dans la conservation de l'énergie du fait



M. Bennett est chef de la Section des études économiques et M. Skjoeldebrand chef de la Section du génie des réacteurs, à la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'Agence.

* Un gigawatt vaut 10^9 watts et un térawatt 10^{12} watts.

La part du nucléaire dans les principaux pays producteurs en 1985



de son meilleur rendement à l'utilisation, ce qui se traduit dans la pratique par un rapport étroit entre la demande d'électricité et le PNB. Dans les pays membres de l'OCDE, ce dernier a augmenté de 27% entre 1974 et 1984. Cette augmentation était accompagnée d'un léger fléchissement de la consommation d'énergie primaire mais d'un accroissement de 30% de la consommation d'électricité. En d'autres termes, l'économie d'énergie primaire s'est faite par un glissement, chez l'utilisateur, du pétrole vers l'énergie électrique et l'on pense que cette tendance se maintiendra jusque dans les années 90.

Pour certains pays en particulier, les résultats sont encore plus frappants. En 1974, la France, par exemple, devait importer 84% de l'énergie dont elle avait besoin. En 1985, elle n'en importait plus que 64%, l'électricité représentait alors 38% de l'offre d'énergie primaire et la part du nucléaire approchait 65%. La France, on le sait, accorde une grande importance à l'énergie d'origine nucléaire et peut, grâce à elle, maintenir un prix du kilowatt-heure parmi les plus bas d'Europe et stimuler ainsi le développement, sans parler de la réduction des importations d'énergie (voir l'article sur ce sujet dans le présent *Bulletin*).

Puissance disponible et réserves

On parle souvent des grandes réserves de capacité qui existeraient actuellement dans les pays de l'OCDE. Dans une étude publiée en 1985, l'Agence internationale de l'énergie (AIE), à Paris, signale que ces réserves pourraient rapidement disparaître dans maints pays de l'OCDE au cours des années 90 et que la puissance installée deviendrait insuffisante avant même le milieu de la décennie. En effet, maintes centrales de la réserve actuelle fonctionnent au mazout et nombre d'entre elles ont vieilli et sont dépassées. On peut donc s'attendre que quelques-uns de ces pays, au moins, auront besoin d'accroître leur capacité nucléo-énergétique au cours de la dernière décennie du siècle.

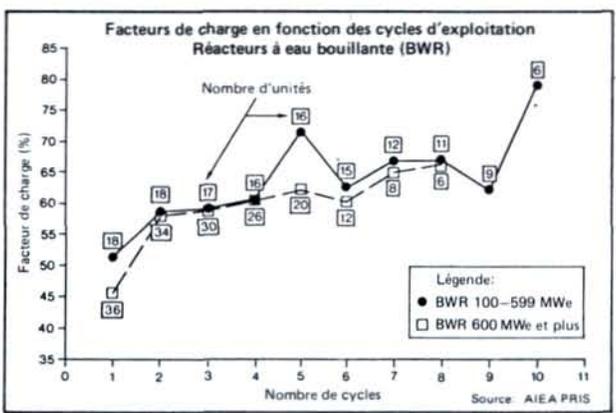
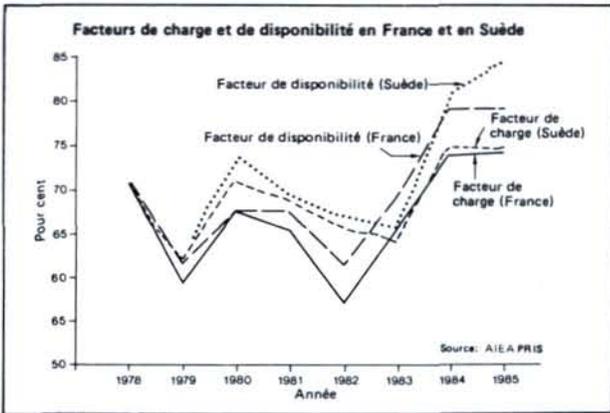
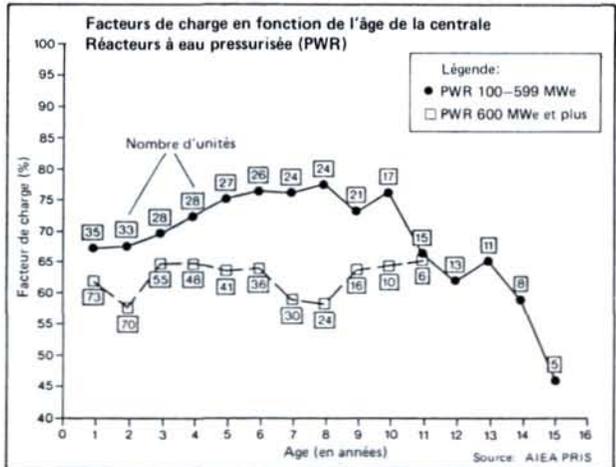
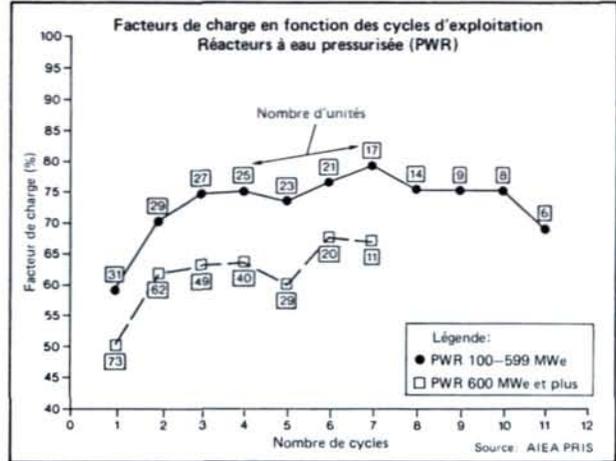
Dans les pays membres du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM), en Europe de l'Est, l'énergie nucléaire assure actuellement environ 10% de la production électrique et les plans d'équipement nucléo-énergétique prennent de l'ampleur. C'est ainsi que lors du dernier congrès du parti communiste d'URSS, l'annonce a été faite d'un programme prévoyant que, d'ici à 1990, environ 40 000 MWe seront ajoutés au parc nucléaire, actuellement de 28 000 MWe.

Performance et âge des centrales

Dans son rapport de 1985 sur la situation et les tendances de l'énergie nucléaire, l'AIEA a montré que la présentation classique du facteur de charge en fonction de l'âge de la centrale induit en erreur. En particulier, l'indication des âges en années ne révèle pas l'effet de maturation associé à l'amélioration de la performance consécutive à une période initiale de «déparasitage» qui caractérise généralement les débuts de l'exploitation d'une installation complexe, comme le montrent les chiffres.

L'exploitant se fie plutôt au cycle d'exploitation de la centrale, défini comme la période entre le démarrage après un arrêt prévu pour rechargement et entretien et l'arrêt prévu suivant. Si l'on compte l'âge en cycles de fonctionnement et non plus en années, l'effet de maturation apparaît clairement, comme on peut le voir sur les figures. Cela est dû au fait que le cycle court de 12 mois est progressivement remplacé par un cycle plus long.

En rapport avec le débat actuel sur la détermination de la durée utile des centrales et de sa prolongation, la partie inféchiée de la courbe (pour les réacteurs à eau pressurisée de faible puissance à partir de dix ans ou du dixième cycle) est un sujet de préoccupation. On étudie actuellement les raisons de ce fléchissement pour déterminer s'il est significatif du point de vue technique, en particulier du fait qu'il ne se manifeste pas dans le cas des réacteurs à eau bouillante. Par la même occasion, on remplacera logiquement le facteur de charge par la disponibilité pour évaluer la performance.



Après l'accident de la centrale de Tchernobyl, il est certain que l'industrie nucléaire de tous les pays recherchera les moyens de mieux garantir la sûreté et la fiabilité des installations. On notera que les autorités soviétiques ont cependant déclaré que l'accident n'aurait pas d'effet sur les plans de développement nucléo-énergétique de l'URSS. Dans le même esprit, les sept chefs d'Etat ou de gouvernement qui se sont réunis en mai 1986 à Tokyo ont exprimé leur conviction que, convenablement gérée, l'énergie nucléaire, déjà largement utilisée, continuera de

se développer*. Environ 15% de l'électricité actuellement consommée dans le monde est d'origine nucléaire et tant les autorités soviétiques que celles des autres pays qui font le monde estiment que l'atome restera une importante source d'énergie.

* Les pays représentés étaient le Canada, les Etats-Unis, la France, l'Italie, le Japon, la République fédérale d'Allemagne et le Royaume-Uni.

Informations spéciales

Facteurs de disponibilité par pays (pourcentage)

| | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Argentine | 51,9 | 96,9 | 85,3 | 74,1 | 90,2 | 59,8 | 80,3 | 98,7 | 93,2 |
| Belgique | 77,6 | 81,9 | 74,2 | 81,5 | 83,9 | 82,0 | 77,7 | 86,8 | 87,4 |
| Bulgarie | 76,6 | 78,4 | 80,2 | 79,6 | 82,0 | 87,2 | 89,7 | 88,1 | 89,8 |
| Canada | 87,3 | 79,5 | 81,2 | 83,7 | 90,2 | 86,9 | 86,3 | 76,5 | 70,4 |
| Tchécoslovaquie | | | | 73,9 | 65,9 | 77,8 | 82,0 | 83,9 | 72,2 |
| Finlande | | 79,0 | 81,8 | 60,3 | 81,3 | 83,5 | 86,9 | 90,3 | 90,1 |
| France | 73,4 | 70,2 | 64,5 | 66,4 | 65,0 | 62,2 | 70,3 | 80,1 | 77,9 |
| Allemagne, Rép. féd. d' | 65,0 | 59,4 | 57,1 | 61,0 | 67,9 | 69,4 | 71,7 | 81,0 | 85,4 |
| Japon | 38,1 | 51,7 | 48,6 | 61,4 | 60,5 | 68,3 | 70,1 | 71,1 | 72,5 |
| Suède | 58,7 | 70,6 | 62,2 | 73,3 | 72,3 | 67,3 | 72,4 | 81,1 | 84,7 |
| Suisse | 86,6 | 89,3 | 87,7 | 80,0 | 84,6 | 84,4 | 87,1 | 89,4 | 84,2 |

Source: AIEA PRIS.

Facteurs de disponibilité par exploitants (pourcentage)

| | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BG et E (Etats-Unis) | 69 | 69,9 | 68,1 | 76,3 | 79,9 | 71,8 | 80,9 | 79,8 | 69,0 |
| BKW (Suisse) | 86,7 | 88,0 | 88,3 | 88,5 | 89,5 | 93,3 | 89,8 | 88,3 | 88,2 |
| EBES (Belgique) | 78,2 | 79,2 | 81,4 | 81,9 | 83,6 | 83,3 | 78,2 | 84,1 | 92,8 |
| INTERCOM (Belgique) | 77,1 | 83,8 | 67,7 | 80,8 | 84,2 | 80,9 | 76,7 | 85,1 | 82,3 |
| NOK (Suisse) | 86,6 | 90,0 | 87,4 | 84,7 | 87,1 | 86,3 | 87,3 | 88,8 | 85,8 |
| NSP (Etats-Unis) | 81,8 | 85,4 | 85,3 | 74,2 | 75,6 | 76,2 | 87,8 | 62,2 | 85,9 |
| OH (Canada) | 87,3 | 79,5 | 81,2 | 83,9 | 90,2 | 86,9 | 86,3 | 74,9 | 68,4 |
| OKG (Suède) | 66,8 | 77,7 | 73,5 | 82,7 | 76,0 | 81,3 | 84,5 | 87,4 | 80,3 |
| SYDKRAFT (Suède) | 54,2 | 77,6 | 61,9 | 76,1 | 82,3 | 89,4 | 81,8 | 81,7 | 95,7 |

BG et E = Baltimore Gas and Electric

BKW = Bernische Kraftwerke AG

EBES = Sociétés réunies d'énergie du bassin de l'Escaut S.A.

INTERCOM = Société intercommunale belge de gaz et d'électricité

NOK = Nordostschweizerische Kraftwerke AG

NSP = Northern States Power

OH = Ontario Hydro

OKG = Oskarshamnsværkets Kraftgrupp AB

SYDKRAFT = Sydsvenska Kraftaktiebolaget

Le nucléaire dans les pays en développement

Dans ces pays, l'énergie nucléaire s'est installée plus lentement qu'on ne l'avait pensé. Dans l'ensemble du monde en développement, on ne compte que 21 centrales nucléaires en exploitation et 18 en construction, et la moitié environ de ces installations se répartissent entre deux pays, à savoir l'Inde et la République de Corée. L'électrification y est très peu avancée, mais on doit s'attendre à un accroissement rapide de la puissance installée. La production d'électricité présente une importance particulière dans ces pays, car la consommation d'énergie électrique y augmente plus vite non seulement que celle de l'énergie primaire, mais aussi que celle de l'énergie électrique dans les pays industrialisés. Il faut néanmoins reconnaître qu'il y a de grandes différences entre ces pays. Dix pays en développement comptent actuellement pour 63% de la production électrique totale de l'ensemble des régions en développement et ce n'est pas par hasard que 8 d'entre eux exécutent des programmes d'équipement nucléo-énergétique.

Délais de construction des réacteurs

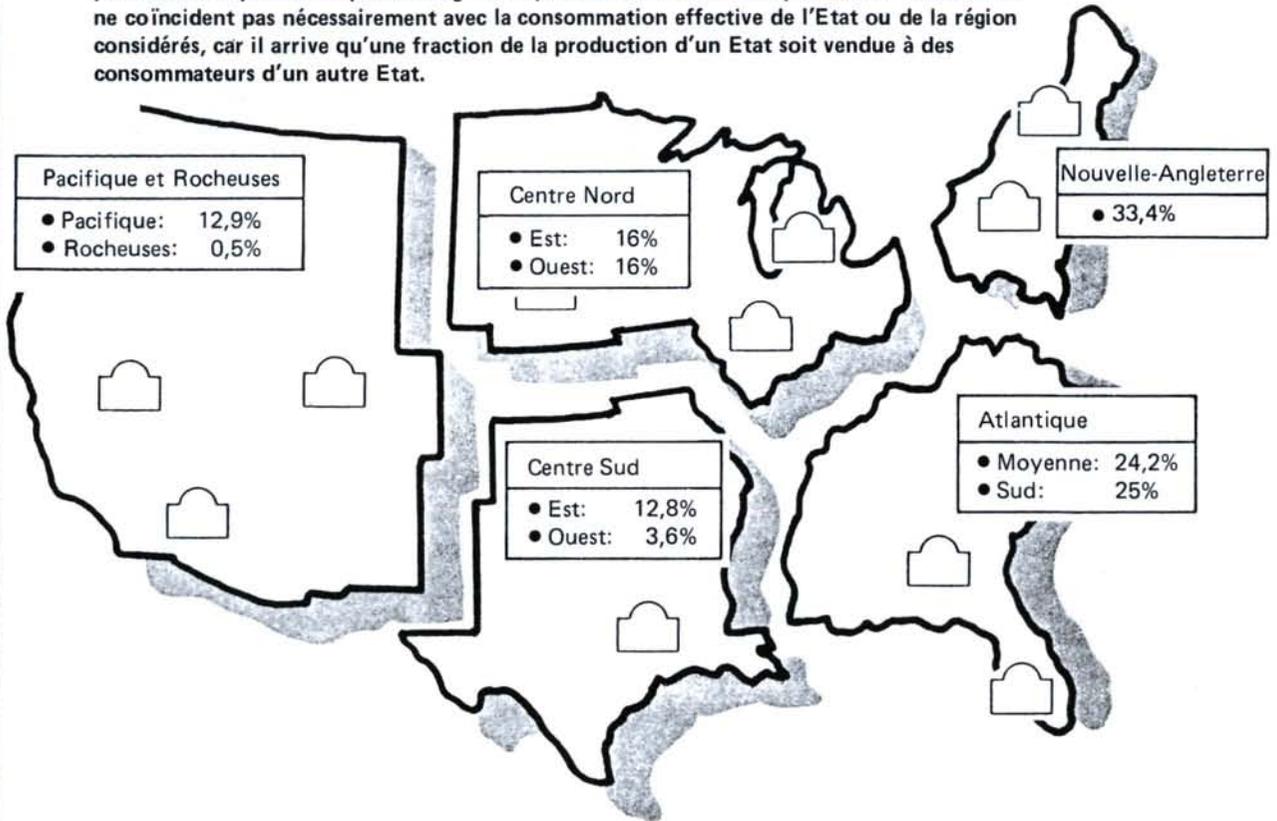
Le fichier de situation des centrales du système de documentation de l'AIEA sur les réacteurs de puissance renseigne sur les délais de construction des centrales nucléaires définis comme la période entre la première coulée de béton et le raccordement au réseau. Ainsi que l'indique le tableau à la page 45, les temps moyens de construction et leurs tendances au cours des dix dernières années varient considérablement d'un pays à l'autre.

Il convient d'observer, néanmoins, que certains projets ont été réalisés en très peu de temps. Entre 1980 et 1985, pas moins de 64 centrales ont été construites en moins de 7 ans.

Les délais extrêmement courts obtenus tant au Japon qu'en Suède s'expliquent par une judicieuse conduite des travaux et par le recours aux techniques nouvelles de construction tels le préassemblage en atelier sur le site et l'emploi de grues de très grande puissance, ceci au Japon en particulier. Certaines de ces techniques nouvelles peuvent aussi améliorer l'assurance de la qualité à moindres frais.

Production nucléo-énergétique aux Etats-Unis en 1985

Aux Etats-Unis, 31 Etats possèdent des centrales nucléaires. Le tableau indique les quantités d'électricité produites par des centrales nucléaires en 1985 et la carte donne une idée de la répartition régionale de cette production exprimée en pourcentage de la production totale correspondante. Ces chiffres ne coïncident pas nécessairement avec la consommation effective de l'Etat ou de la région considérés, car il arrive qu'une fraction de la production d'un Etat soit vendue à des consommateurs d'un autre Etat.



Part du nucléaire dans la production électrique des Etats de l'Union

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------------------|-------|----------------|-------|-------------|-------|
| Vermont: | 71,7% | Maryland: | 30,7% | Alabama: | 19,7% | Missouri: | 14,0% |
| Caroline du Sud: | 59,4% | Arkansas: | 27,8% | Pennsylvanie: | 19,4% | Géorgie: | 12,5% |
| Maine: | 58,6% | Wisconsin: | 26,7% | Michigan: | 18,1% | Washington: | 8,6% |
| Virginie: | 53,0% | Nebraska: | 25,9% | Massachusetts: | 16,9% | Iowa: | 8,2% |
| New Jersey: | 51,7% | Caroline du Nord: | 25,9% | Californie: | 15,4% | Louisiane: | 5,5% |
| Connecticut: | 50,4% | Floride: | 24,3% | Tennessee: | 14,5% | Arizona: | 2,4% |
| Illinois: | 37,7% | Mississippi: | 22,6% | Orégon: | 14,3% | Ohio: | 1,8% |
| Minnesota: | 37,4% | New-York: | 21,6% | Kansas: | 14,0% | | |

Source: INFO Data, AIF, avril 1986

Performance des centrales nucléaires

Au cours des dernières années, la disponibilité des centrales a évolué dans l'ensemble selon les tendances décrites dans le rapport de l'AIEA de 1985 sur la situation et les tendances de l'énergie d'origine nucléaire, confirmant par là même les conditions générales considérées dans ce rapport comme nécessaires à une bonne performance, à savoir:

- Degré de normalisation au niveau de la conception et de la construction de la centrale
- Choix des normes d'assurance de la qualité utilisées
- Teneur de la réglementation
- Compétence de l'organisme exploitant.

Les taux moyens de disponibilité et leurs tendances pendant la période 1977-85 sont indiqués sur les tableaux (page 43) pour les pays et les organismes exploitants auxquels correspond une performance soit constamment bonne, soit en amélioration constante. Essentiellement, les données semblent confirmer que la qualité de la performance se maintient, de même que les améliorations qui lui ont été éventuellement apportées.

Le déclin apparent de la performance au Canada est dû en partie à une certaine indisponibilité, d'une valeur moyenne de 4,2% en 1985, provoquée par des événements extérieurs — en l'occurrence des grèves et des ouragans. Une autre circonstance a beaucoup influé sur la disponibilité: le remplacement de la tuyauterie des réacteurs

Pickering 1 et 2 qui a exigé l'arrêt de ces deux unités pendant toute l'année.

Quelques résultats remarquables méritent d'être mentionnés:

- En Belgique, une disponibilité moyenne de 87,4% a été atteinte dans sept centrales industrielles, dont deux sont entrées en service en septembre 1985.
- En Finlande, une disponibilité élevée de 90% a été maintenue. Les arrêts prévus ont été en moyenne de 22 jours par réacteur en 1985.
- En France, la moyenne nationale, élevée, s'est maintenue à 78%. Les centrales de la gamme des 900 MWe se sont particulièrement bien comportées en 1985, avec une disponibilité de 81%.
- En République fédérale d'Allemagne, la disponibilité moyenne en 1985 a atteint 85,4%. Ce résultat a pu être obtenu essentiellement grâce à une réduction de 3,5% des arrêts prévus et de 1,5% des arrêts non prévus.
- Au Japon, la disponibilité s'est beaucoup améliorée, atteignant 72,5% en dépit des exigences des inspections réglementaires annuelles qui causent une indisponibilité prévue de 26 à 27%. L'indisponibilité non prévue est en moyenne de 1,5%. A noter que certains exploitants japonais envisagent d'essayer de ramener à quelque 65 jours les arrêts annuels qui sont actuellement de 90 à 100 jours.
- En Suède, la disponibilité a continué d'augmenter pour atteindre 84,7%.
- En Corée, le réacteur KN-2 s'est surpassé en fonctionnant 214 jours de suite à pleine puissance en 1985.



Travailleurs sur une ligne à haute tension. (Photo: EPRI)

Délais de construction des réacteurs

Année de raccordement au réseau

| | Avant 1980 | | De 1980 à 1985 | | Après 1985 | |
|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | Nombre d'unités | Délai moyen en mois | Nombre d'unités | Délai moyen en mois | Nombre d'unités | Délai moyen en mois |
| Belgique | 3 | 58 | 4 | 86 | | |
| Canada | 8 | 72 | 7 | 98 | 7 | 87 |
| Tchécoslovaquie | 1 | 56 | 4 | 87 | 11 | 99 |
| Finlande | 2 | 62 | 2 | 76 | | |
| France | 11 | 63 | 31 | 66 | 19 | 79 |
| Allemagne, Rép. féd. d' | 10 | 63 | 6 | 97 | 6 | 81 |
| Japon | 21 | 52 | 11 | 52 | 14 | 69 |
| Corée, Rép. de | 1 | 81 | 3 | 73 | 5 | 76 |
| Espagne | 3 | 50 | 5 | 113 | 2 | 101 |
| Suède | 6 | 56 | 6 | 81 | | |
| Suisse | 4 | 51 | 1 | 124 | | |
| Etats-Unis | 63 | 68 | 27 | 127 | 26 | 151 |
| URSS | 14 | 69 | 19 | 96 | 31 | 81 |

Note: On a tenu compte uniquement des réacteurs de série d'une puissance égale ou supérieure à 100 mégawatts électriques. Les réacteurs en projet ou en construction sont également inclus, mais les réacteurs mis hors service ne le sont pas. Pour 55 unités, les délais de construction ou la date de raccordement au réseau n'ont pas été communiqués à l'AIEA.

Source: AIEA PRIS.