

# Energie d'origine nucléaire

## Comment va évoluer l'énergie nucléaire – Le défi des années 1980

par Sigvard Eklund\*

Pour traiter de l'évolution de l'énergie nucléaire et du défi des années 1980, je ferai appel aux données qu'on possède, et principalement à celles qui sont emmagasinées dans l'ordinateur de l'Agence internationale de l'énergie atomique, afin d'en tirer une prévision de ce qui se passera dans le domaine nucléaire au cours de la décennie qui vient de commencer. J'emploie le mot *défi* pour souligner l'importance de la contribution que l'énergie nucléaire peut apporter à la solution des problèmes d'énergie qui se posent au monde.

Les systèmes énergétiques existants sont doués d'une remarquable force d'inertie. Le fait que le nucléaire fournisse aujourd'hui 8% de la production mondiale d'électricité suffit à montrer qu'il a déjà fait ses preuves et pénétré dans des domaines jusqu'alors réservés aux sources d'énergie traditionnelles. Il signifie aussi que l'énergie nucléaire elle-même est déjà douée de pas mal d'inertie, et qu'elle est là pour longtemps, même si les décideurs ne s'empressent pas d'en promouvoir la croissance.

Bien que nous aimions à croire que l'avenir nous appartient et que nous pouvons en faire ce que nous voulons, il est bien évident que ce qui se passera au cours des quelques années, disons des cinq années qui viennent déjà été décidé par des gens qui étaient en place avant ce jour. C'est pourquoi l'on peut prévoir avec une assez grande certitude comment l'énergie nucléaire évoluera dans nos sociétés au cours des cinq années à venir, en supposant bien entendu que la paix sera maintenue et que les besoins d'énergie évolueront de la même façon que par le passé. Il est malheureusement beaucoup plus difficile de lire dans l'avenir au-delà des prochaines années.

### La conservation de l'énergie

Il est bien évident qu'il faut dans toute la mesure du possible éviter de gaspiller l'énergie, et les mesures de conservation prises à ce sujet dans plusieurs pays ont déjà donné des résultats remarquables. Je tiens à signaler plus spécialement les perspectives favorables qui s'ouvrent aux pompes de chaleur actionnées par du courant électrique provenant, par exemple, d'une centrale nucléaire. Elles paraissent devoir permettre de réaliser d'énormes économies d'énergie dans le domaine du chauffage individuel ou collectif. Les pompes de chaleur de 10 MW seront bientôt très répandues dans

\* M. Eklund est le Directeur général de l'AIEA. Le présent article est l'adaptation d'un discours qu'il a prononcé au début de cette année à la quatorzième conférence annuelle du Forum industriel atomique du Japon.

plusieurs pays industrialisés. Le nombre de ces appareils vendus en République fédérale d'Allemagne a passé de 36 000 en 1979 à quelque 100 000 en 1980. Dans mon pays, en Suède, les ventes doublent tous les ans depuis quelques années. Puisque l'homme est parvenu, grâce à son ingéniosité, à produire des quantités presque illimitées d'énergie à bon marché, il serait désolant qu'il ne mette pas ce progrès à profit pour améliorer ses conditions d'existence.

C'est pourquoi je ne suis pas d'accord avec les gens qui, en Suède, disent que bien qu'on dispose d'excédents d'électricité et que l'électricité soit très commode pour chauffer les appartements et les maisons, il ne faut pas l'employer à cet usage parce qu'elle exige de grandes centrales qui ne sont pas conformes à la philosophie écologiste. En d'autres termes, je pense qu'on reviendra à la raison lorsque les gens se rendront compte qu'il y a de l'énergie à consommer, et qu'ils comprendront et approuveront, démocratiquement, les moyens employés pour la produire.

### Situation actuelle et perspectives d'avenir des réacteurs de puissance

C'est la représentation graphique qui convient le mieux pour exposer la situation actuelle du nucléaire et son évolution la plus probable jusqu'en 1990.

La figure 1 montre le nombre et la puissance des réacteurs actuellement en service ou en construction et leur répartition géographique\*. Malgré la situation présente aux Etats-Unis, la puissance installée des centrales nucléaires en construction dans ce pays aura presque triplé d'ici à 1990. Il en va de même pour le Canada. Les seuls autres pays industrialisés où les taux de croissance sont importants sont la France, le Japon et l'URSS. Lors de la Conférence générale de l'AIEA tenue à Vienne l'an dernier, le ministre Nakagawa a déclaré que le Japon s'efforcerait d'installer 53 GW d'énergie d'origine nucléaire d'ici à 1990.

D'autre part, les pays en développement\*\* ont des projets limités et il n'est guère à prévoir que ceux qui

\* Le terme de pays de l'OCDE désigne les 24 pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques, dont le Japon. L'OCDE du Pacifique comprend l'Australie, le Japon et la Nouvelle-Zélande.

\*\* Il est assez difficile de définir exactement ce qu'est un pays en développement. Dans le cadre du présent article, ce terme s'applique seulement aux pays remplissant les conditions nécessaires pour recevoir une assistance technique des Nations Unies et qui n'appartiennent ni au groupe des pays de l'OCDE ni à celui des pays d'Europe à économie planifiée.

Tableau 1. Estimation de la puissance électrique totale et nucléaire par principaux groupes de pays (en GWe)

Groupes de pays	1980			1985			1990		
	Total	Nucléaire	%	Total (moyenne)	Nucléaire	%	Total (moyenne)	Nucléaire	%
OCDE Amérique du Nord	710	57	8	890	130	15	1065	150	14
OCDE Europe	440	45	10	580	105	18	735	150	20
OCDE Pacifique	180	15	8	255	25	10	340	50	15
Pays européens à économie planifiée	370	16	4	545	35	6	745	75	10
<b>Total des pays industrialisés</b>	<b>1700</b>	<b>133</b>	<b>8</b>	<b>2270</b>	<b>295</b>	<b>13</b>	<b>2885</b>	<b>425</b>	<b>15</b>
Asie	130	3	2	235	10	4	400	20	5
Amérique latine	100	0,3	0,3	130	3	2	180	10	6
Afrique et Moyen-Orient	65	—	—	80	2	3	120	3	3
<b>Total des pays en développement</b>	<b>295</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>445</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>700</b>	<b>33</b>	<b>5</b>
<b>Total mondial</b>	<b>1995</b>	<b>136</b>	<b>7</b>	<b>2715</b>	<b>310</b>	<b>11</b>	<b>3585</b>	<b>458</b>	<b>13</b>

adopteront l'énergie d'origine nucléaire au cours des années 1980 seront beaucoup plus nombreux que ceux qui ont déjà des centrales nucléaires en service ou en construction, à savoir huit. Quatre ou cinq autres pays, dont l'Egypte, envisagent actuellement le nucléaire, mais ils ne l'adopteront probablement pas tous.

Le premier tableau donne les estimations de la puissance électrique totale et nucléaire dans le monde ainsi

que sa répartition entre pays industrialisés et en développement et par groupes de pays. En 1980, la puissance nucléaire mondiale s'est élevée à 136 GWe, soit 7% du total de la puissance électrique installée qui est proche de 2000 GWe. Les pays industrialisés de l'OCDE et les pays européens à économie planifiée possèdent près de 98% de la puissance nucléaire mondiale, alors que les pays en développement n'en ont qu'environ

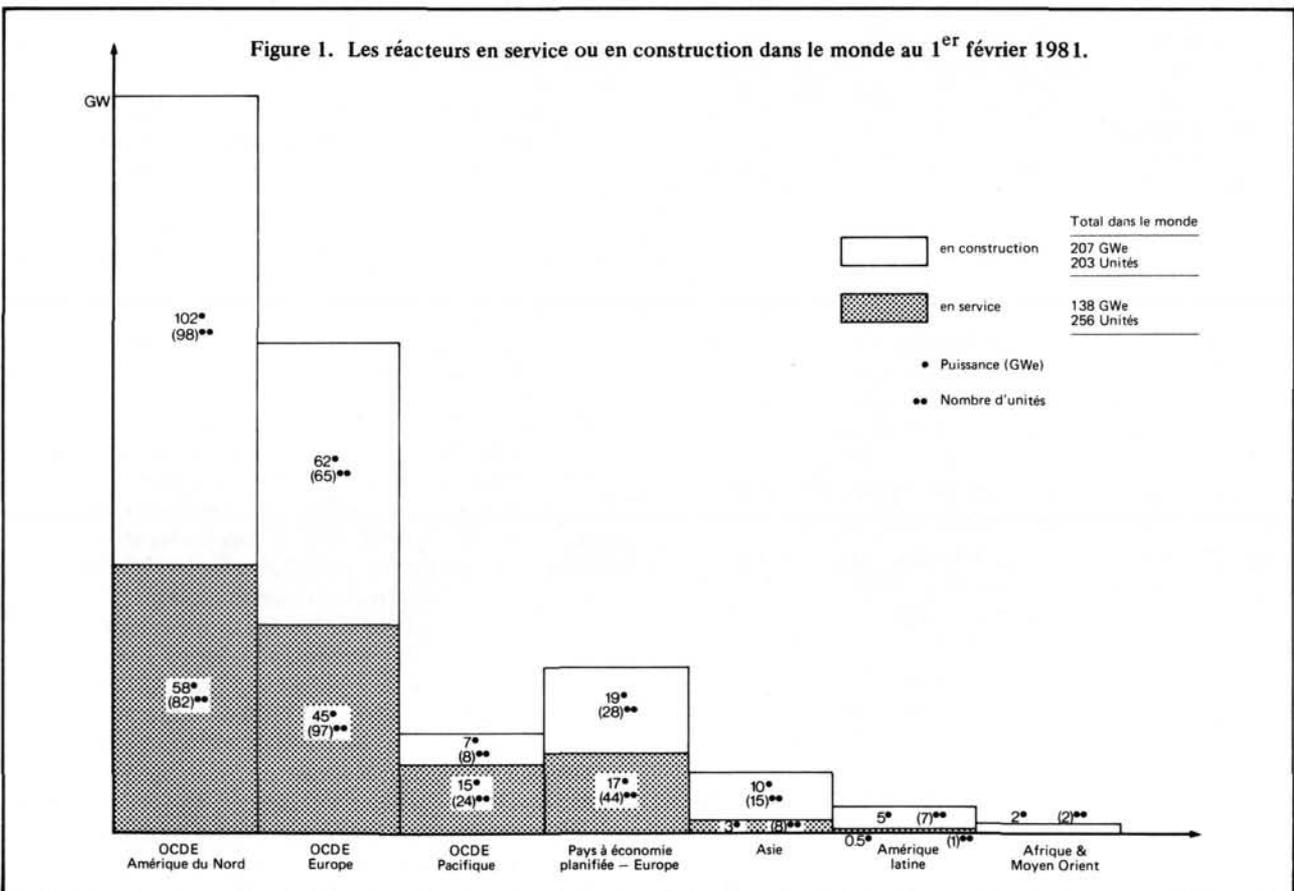


Tableau 2. Estimation de la production totale et nucléaire d'électricité par principaux groupes de pays (en TWh)

Groupes de pays	1980			1985			1990		
	Total	Nucléaire	%	Total (moyenne)	Nucléaire	%	Total (moyenne)	Nucléaire	%
OCDE Amérique du Nord	2 760	290	11	3 455	800	23	4 230	885	21
OCDE Europe	1 780	215	12	2 280	640	28	2 890	885	31
OCDE Pacifique	725	60	8	1 070	150	14	1 430	315	22
Pays européens à économie planifiée	1 780	80	5	2 620	225	9	3 575	450	13
<b>Total des pays industrialisés</b>	<b>7 045</b>	<b>645</b>	<b>9</b>	<b>9 425</b>	<b>1 815</b>	<b>19</b>	<b>12 125</b>	<b>2 535</b>	<b>21</b>
Asie	665	15	2	1 060	65	6	1 815	100	6
Amérique latine	375	2	0,5	485	15	3	695	50	7
Afrique et Moyen-Orient	225	—	—	320	10	3	480	15	3
<b>Total des pays en développement</b>	<b>1 295</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>1 865</b>	<b>90</b>	<b>5</b>	<b>2 990</b>	<b>165</b>	<b>6</b>
<b>Total mondial</b>	<b>8 340</b>	<b>662</b>	<b>8</b>	<b>11 290</b>	<b>1 905</b>	<b>17</b>	<b>15 115</b>	<b>2 700</b>	<b>18</b>

2%. En 1990, la puissance nucléaire installée atteindra environ 458 GWe, soit à peu près 13% du total de la puissance électrique mondiale.

Le tableau suivant donne les estimations de la production totale d'électricité et la part du nucléaire dans le monde et par principaux groupes de pays d'ici à 1990 (tableau 2). Le pourcentage de la quantité d'électricité produite par des centrales nucléaires est légèrement plus élevé que celui de la puissance nucléaire que donne le tableau 1 parce que les centrales nucléaires servent normalement à fournir la charge de base. Le tableau 2 montre une fois de plus que les pays de l'OCDE et les pays européens à économie planifiée continueront à fournir la plus grande part de la production par la voie nucléaire au cours des dix années à venir. Il montre aussi qu'à la fin de la présente décennie l'Amérique latine et l'Asie (Japon exclu) commenceront à produire pas mal d'électricité par la voie nucléaire.

La figure 2 montre la répartition par âge des réacteurs en service de plus de huit ans. Il y en a au total 97 dans ce cas, dont 32 ont de huit à dix ans. 159 des 256 réacteurs en service dans le monde ont moins de huit ans. Six réacteurs fonctionnent déjà depuis plus de 20 ans. L'expérience accumulée jusqu'à présent porte sur 2200 années de réacteurs et la technique de la production d'électricité par le nucléaire est parvenue à un état de maturité, de sûreté et de fiabilité.

Quelle a été la performance de ces réacteurs? La figure 3 récapitule les facteurs de charge et d'exploitation de 1975 à 1979. Le facteur de charge donne une mesure de la performance parce qu'il est le quotient de l'énergie effectivement produite par celle qui aurait été produite en fonctionnant au maximum de puissance pendant toute la période. Le facteur d'exploitation donne la mesure de la disponibilité, parce qu'il est le quotient du temps de fonctionnement par la durée totale de la période.

Il faut remarquer que les deux facteurs ont augmenté lentement de 1975 à 1979, date à laquelle ils ont l'un

et l'autre sensiblement diminué. Cette constatation reste à vérifier par l'analyse des données mais il semble que la diminution ait été due aux mesures de réglementation prises après l'accident de Three Mile Island. Comme les chiffres de 1978 et 1979 se rapportent respectivement à 156 et 176 réacteurs, l'importance de la diminution ne fait pas de doute. Rappelons dans ce contexte que d'après la dernière Conférence mondiale de l'énergie, le temps d'indisponibilité des centrales nucléaires a généralement été du même ordre que celui des centrales chauffées aux combustibles fossiles d'une importance comparable, à savoir de 30 à 35%.

Le tableau 3 montre que l'année 1980 n'a pas elle non plus été très brillante en ce qui concerne les nouvelles commandes. 19 réacteurs seulement, d'une puissance totale de 18 GWe, ont été commandés en France, en République fédérale d'Allemagne, au Japon, en République de Corée, en Roumanie et au Royaume-Uni. Mais aux Etats-Unis 12 commandes de réacteurs totalisant une puissance de 13 GWe ont été soit annulées soit différées. L'augmentation totale nette de puissance n'a donc été que de 5 GWe.

Si l'on compare la situation générale du nucléaire en 1980 avec celle de la période qui s'étend jusqu'à 1990, il peut sembler à première vue que nous ayons atteint le point le plus bas de la courbe. Mais les apparences sont trompeuses. La figure 4 montre l'accroissement annuel de puissance nucléaire prévu de 1981 à 1990 d'après les réacteurs en construction ou dont la construction a fait l'objet d'un engagement sans réserve. L'accroissement sera d'environ 43 GWe en 1981, de 30 à 35 GWe par an de 1982 à 1985, puis de l'ordre de 15 à 25 GWe par an après 1987. Mais le tableau s'assombrit lorsqu'on examine les dates de démarrage de ces constructions pendant la même période (fig. 5). En 1981, on ne commencera à construire qu'un peu plus de 10 GWe, et quelque 52 GWe en 1982. Les chiffres relatifs à la construction des centrales ayant déjà fait l'objet d'un engagement baissent brutalement après 1982:

Figure 2. Répartition par âge des réacteurs vieux de plus de huit ans.

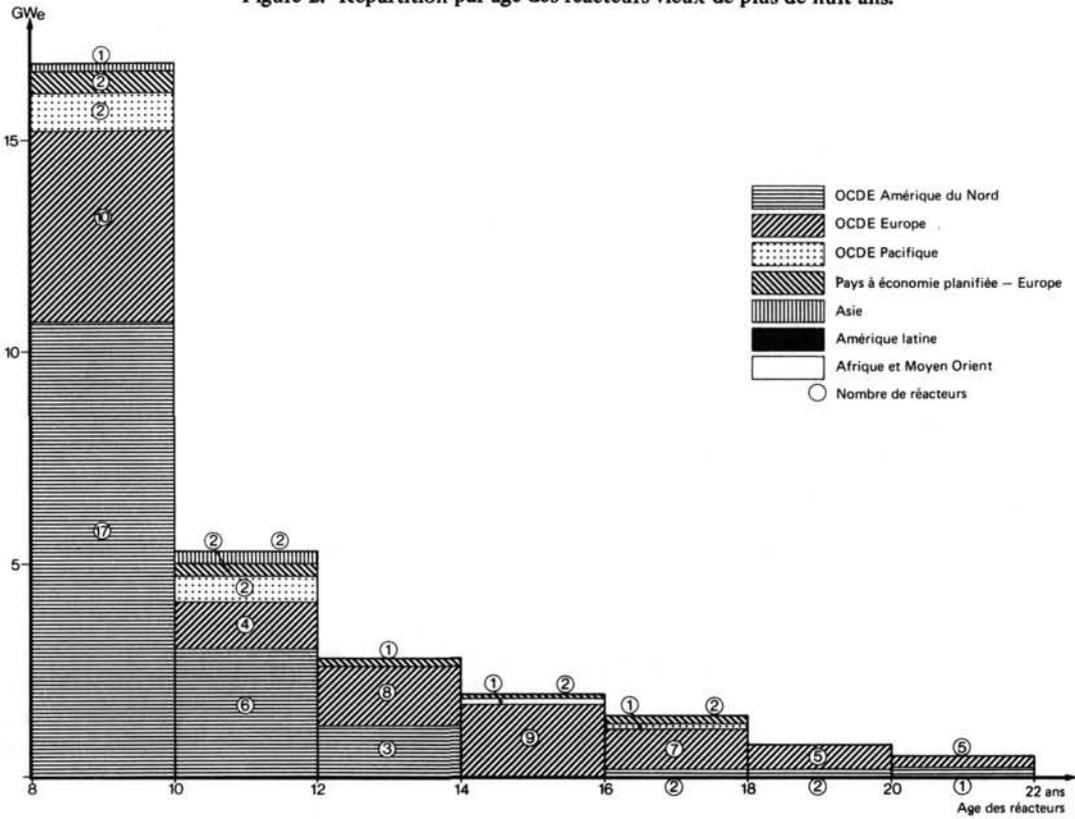


Figure 3. Facteurs moyens de charge et d'exploitation de 1975 à 1979

(Pour toutes les installations à l'exclusion des prototypes et de celles qui entreront en service pendant la seconde moitié de l'année).

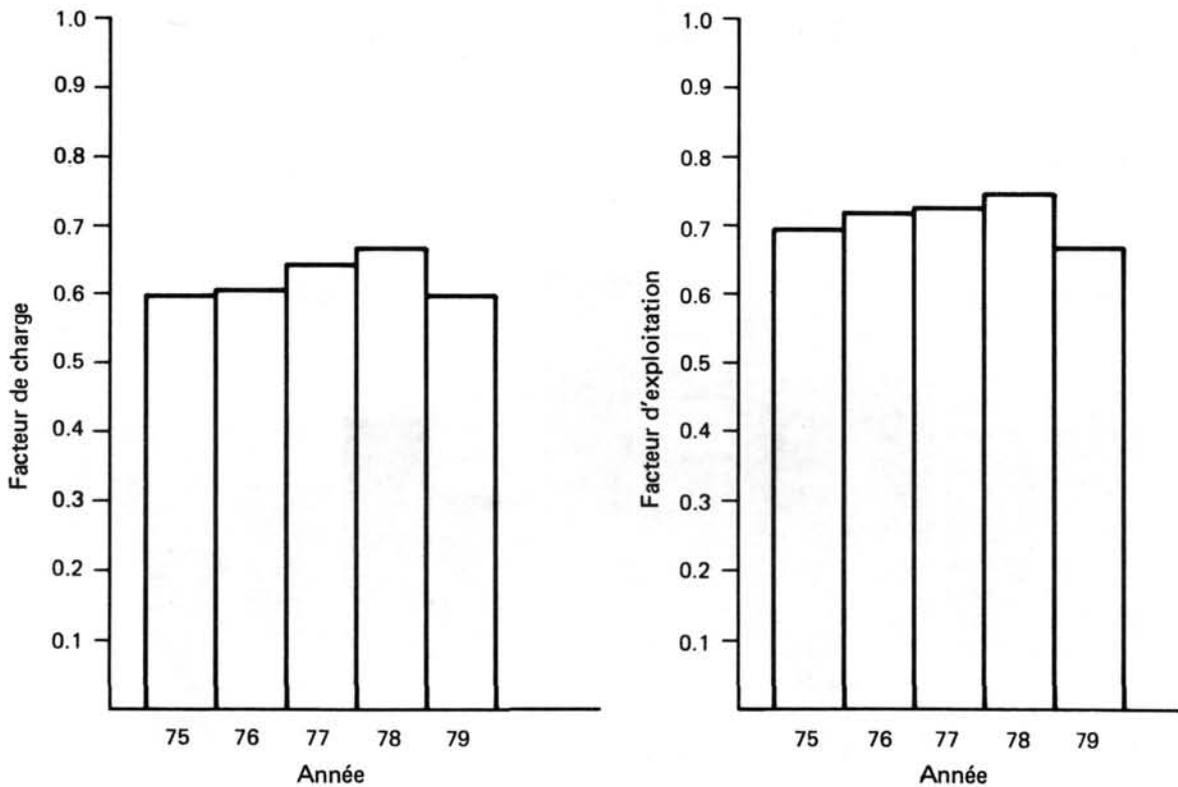


Tableau 3. Commandes et ajournements de centrales nucléaires en 1980

	Commandes et déclarations d'intention envoyées en 1980		Annulations et ajournements en 1980	
	Nombre de réacteurs	Puissance (en GWe)	Nombre de réacteurs	Puissance (en GWe)
OCDE Amérique du Nord	—	—	12	13
OCDE Europe	12	12	—	—
OCDE Pacifique	4	4	—	—
Pays européens à économie planifiée	1	0,6	—	—
Asie	2	2	—	—
Amérique latine	—	—	—	—
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>18,6</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

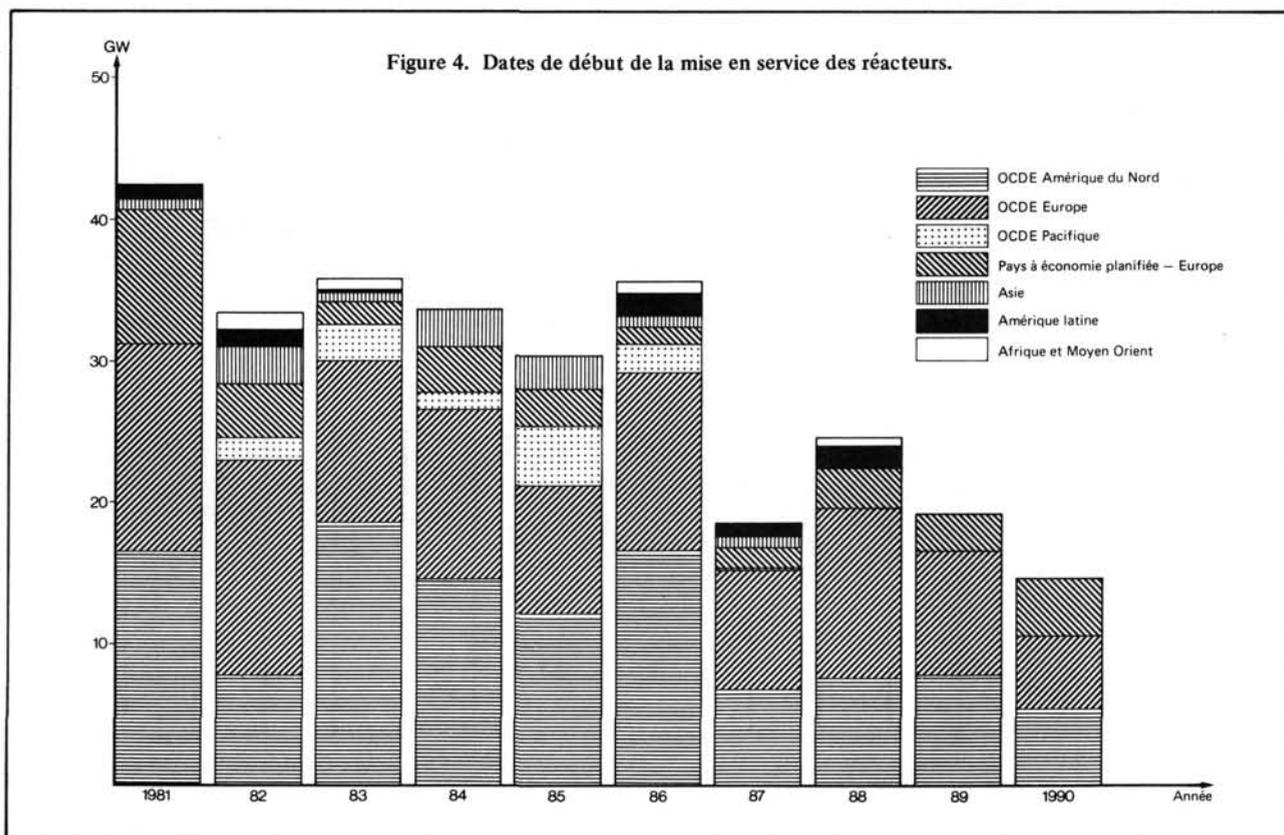
12 GWe environ en 1983 et 1984, et moins de 5 GWe pendant les années postérieures à 1985. (Ces chiffres ne comprennent toutefois pas les constructions des pays à économie planifiée).

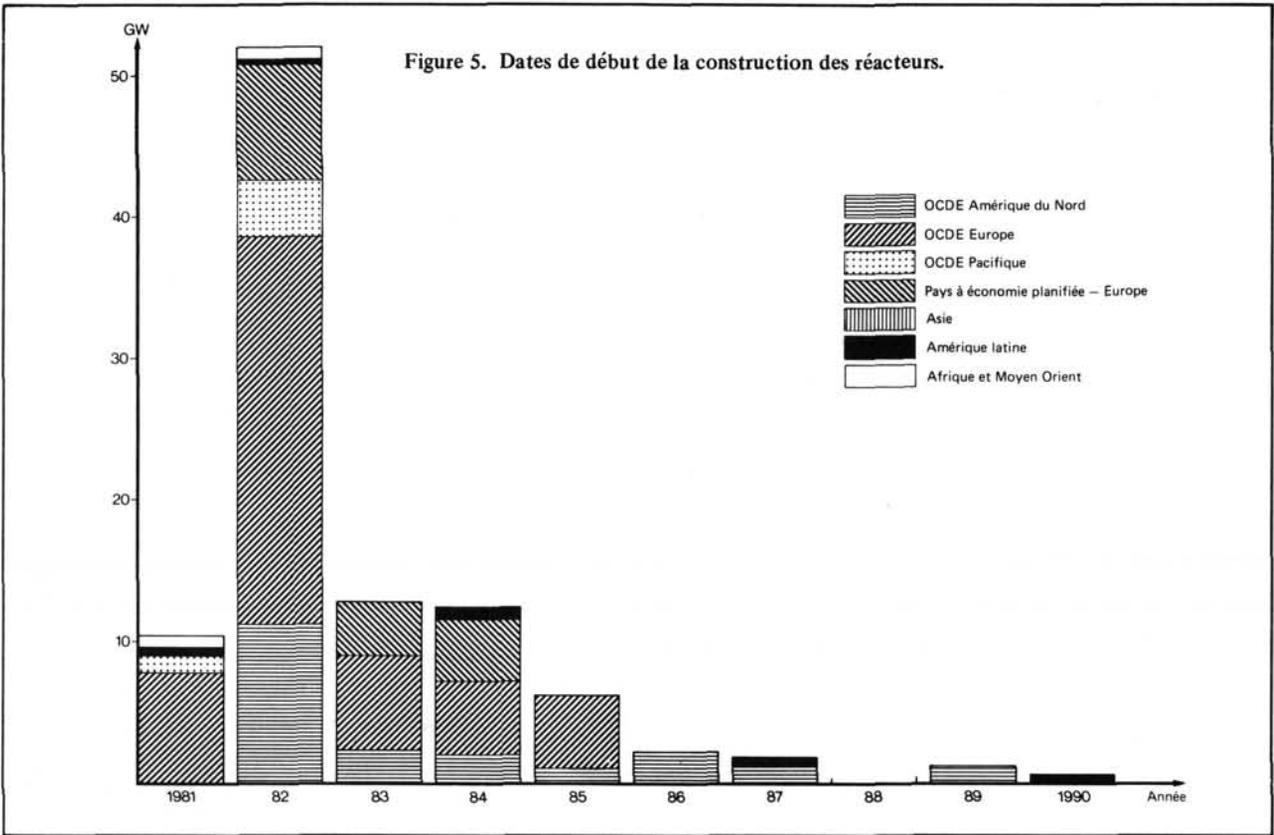
Les deux derniers chiffres illustrent la grande différence entre les délais qui séparent, selon les pays, la date de l'engagement de celle du démarrage de l'exploitation industrielle des centrales actuellement en construction. Les délais moyens sont: au Japon (8 centrales en construction): 61 mois; en France (29 centrales): 63 mois; en République fédérale d'Allemagne (10 centrales): 82 mois; aux Etats-Unis (85 centrales): 121 mois. Les différences sont peut-être entièrement dues à

la plus ou moins grande complexité des procédures réglementaires relatives aux permis de construire, aux licences d'exploitation, etc. Si de nouveaux engagements de construction ne sont pas pris maintenant, et si l'on tient compte des longs délais qu'on vient de mentionner, il faut s'attendre après 1990 à un ralentissement général des programmes nucléaires qui aura dans de nombreux pays de graves conséquences pour l'industrie nucléaire.

**Le défi du cycle du combustible**

Après avoir exposé l'évolution des réacteurs de puissance pendant les années 1980, il y a lieu d'aborder l'approvisionnement en combustible au cours de la



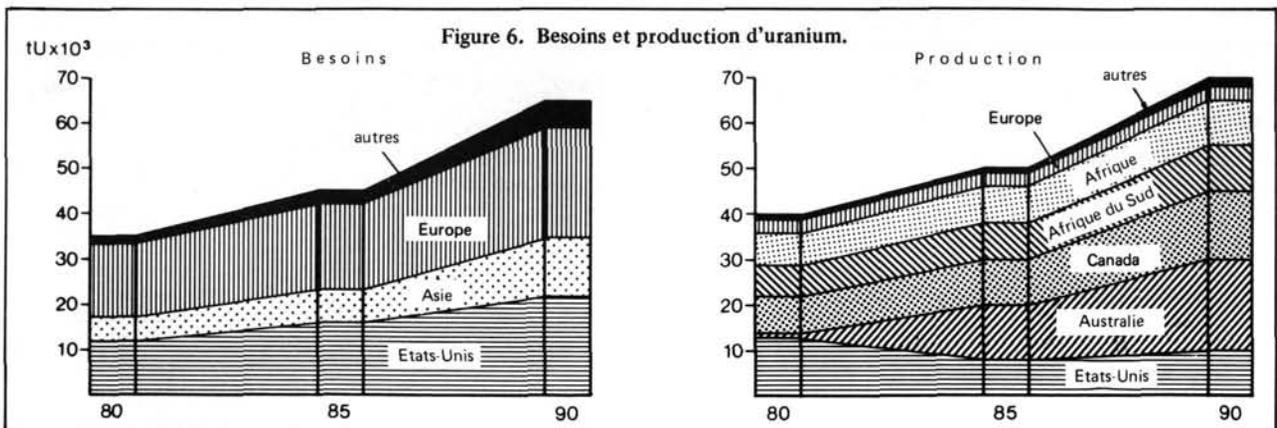


décennie ainsi que d'autres aspects du cycle du combustible, aux deux extrémités duquel se manifestent les défis.

En ce qui concerne l'uranium naturel, il s'agit de concilier la forte réduction de la demande provenant des réacteurs existants et projetés avec la capacité excédentaire actuelle, et probablement future, de la production minière d'uranium. Les prévisions actuelles de l'industrie en matière de production et de besoins que donne la figure 6 sont de ce fait fort pessimistes, et reflètent les incertitudes qui pèsent sur l'accroissement futur de la puissance nucléaire installée.

Après avoir atteint son point culminant en 1978, le marché de l'uranium a connu une baisse plus ou moins continue. En février 1981, le prix de l'uranium est descendu à 65 dollars des Etats-Unis par kg/U, ce qui,

en valeur réelle, représente moins de la moitié des 112 dollars de 1978. Comme tout le monde sait que les productions nouvelles et les stocks suffiront amplement à assurer les approvisionnements en uranium, il n'y a guère de chances que le marché se retourne. Cette tendance aura pour effet, entre autres, de bouleverser la répartition géographique de la production de l'uranium, ce que montre la figure 7. Au cours de la décennie, la production devrait augmenter considérablement en Australie et au Canada, où l'on ouvre de nouvelles mines importantes, cependant que la production des Etats-Unis et de l'Afrique restera stationnaire et verra son importance relative diminuer. Cela signifie aussi que les pays en développement auront peu de chance d'attirer des capitaux pour l'exploitation de nouvelles sources d'uranium, et qu'ils seront gravement atteints par la baisse des prix du métal.



## Energie d'origine nucléaire

**Tableau 4. Estimations de la capacité maximale de production d'uranium**

	1980		1985		1990	
	Nombre de pays	Capacité en ktU/an	Nombre de pays	Capacité en ktU/an	Nombre de pays	Capacité en ktU/an
OCDE Amérique du Nord	2	30	2	30	2	42
OCDE Europe	3	4	3	5	5	7
OCDE Pacifique	2	2	2	14	2	21
Afrique	4	14	5	18	6	23
Amérique latine	1	< 1	3	3	4	5
Asie	2	< 1	2	< 1	3	2
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>50</b>	<b>17</b>	<b>70</b>	<b>22</b>	<b>100</b>

**Tableau 5. Capacités des usines de séparation isotopique**

	1980			1985		
	Nombre de pays	Nombre d'usines	10 <sup>6</sup> UTS	Nombre de pays	Nombre d'usines	10 <sup>6</sup> UTS
OCDE Amérique du Nord	1	3	21 000	2	4-6	35 300-44 300
OCDE Europe	4	7	3 880	4	9	12 880
OCDE Pacifique	2	1	30	2	3-4	300
Pays européens à économie planifiée	1	1	7 100	1	1	7 100
Asie	—	—	—	—	—	—
Amérique latine	—	—	—	1	1	180
Afrique et Moyen-Orient	1	1	6	1	1	200-300
<b>Total mondial</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>32 016</b>	<b>11</b>	<b>19-22</b>	<b>55 960-65 060</b>

Besoins annuels pour produire 1 GWe dans un réacteur à eau légère:  $\sim 110 \times 10^6$  UTS.

**Tableau 6. Capacités des usines de fabrication de combustible (pour réacteurs à eau légère seulement)**

	1980			1985		
	Nombre de pays	Nombre d'usines	Tonnes d'U/an	Nombre de pays	Nombre d'usines	Tonnes d'U/an
OCDE Amérique du Nord	1	6	2 900	1	7	3 300-3 700
OCDE Europe	6	13	3 510	7	14	4 860
OCDE Pacifique	1	4	990	1	4	1 050
Pays européens à économie planifiée			Chiffres non communiqués			
Asie	1	1	21	1	1	21
Amérique latine	—	—	—	—	—	—
Afrique et Moyen-Orient	—	—	—	—	—	—
<b>Total mondial</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>7 421</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>9 231-9 631</b>

Quantité annuelle de combustible chargé dans un réacteur à eau légère pour 1 GWe:  $\sim 30$  tonnes.

Un point reste à signaler en ce qui concerne la sûreté des approvisionnements présents et futurs en uranium. Le tableau 4 donne des estimations de la production maximale techniquement possible à partir des ressources connues pour les années 1980, 1985 et 1990. Ces chiffres sont beaucoup plus élevés que ceux qui portent sur l'estimation des besoins et de la production, ce qui dénote que l'industrie dispose d'une réserve de capacité considérable. Mais tant que durera le marasme actuel du marché de l'uranium, on devra se demander avec inquiétude comment l'industrie de l'uranium pourra définir et créer de nouveaux centres de production pour les décennies qui suivront 1990.

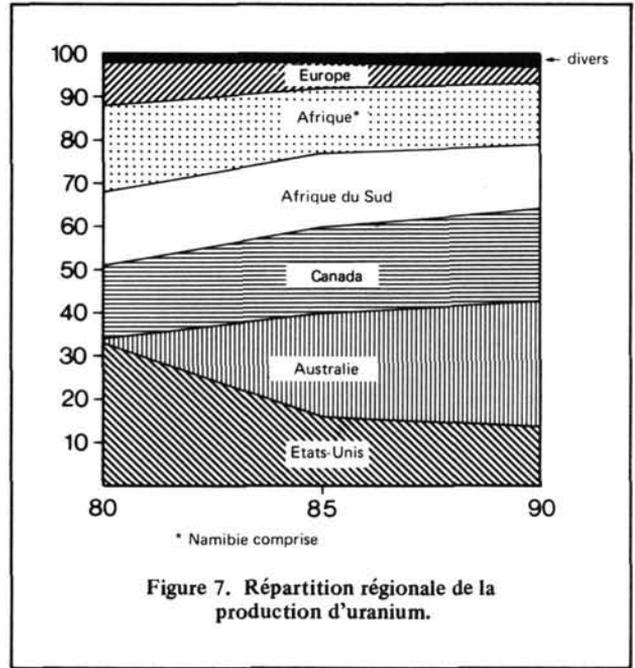
La plupart des réacteurs en service ou en projet dans notre décennie ont besoin d'uranium enrichi. Le tableau 5 donne les capacités des usines de séparation isotopique pour 1980 et 1985. Compte tenu du fait que la puissance nucléaire totale de 458 GWe prévue pour 1990 exigera quelque 50 000 tonnes de travail de séparation par an, ce qui sera réalisé dès 1985, on peut s'attendre pour bientôt à une surproduction si toutes les installations récemment décidées sont construites.

La capacité des usines de fabrication de combustible ne devrait pas poser de problèmes (tableau 6) car le chiffre d'environ 9500 tonnes d'uranium qu'elle atteindra en 1985 est conforme aux besoins correspondant à 310 GWe estimés pour la même année.

Les prévisions relatives à la capacité de stockage du combustible irradié indiquent qu'aucun grand problème n'est à prévoir à l'échelon mondial ou régional au cours des années 1980. Il faut toutefois souligner qu'une comparaison globale entre les tonnages de combustible irradié et les capacités de stockage ne reflète pas la situation réelle, car on ne peut pas répartir librement le combustible irradié entre les emplacements de stockage disponibles. C'est pourquoi certains pays et certains services publics manqueront d'installations de stockage et devront trouver d'autres solutions: expédition à d'autres bassins, stockage en fûts, empilage, etc.

Ce n'est toutefois qu'entre 1990 et 2000 que se poseront les gros problèmes de stockage. La figure 8 récapitule les chiffres fournis à l'Agence par l'Evaluation internationale du cycle du combustible et les études internationales sur la gestion du combustible irradié. Les chiffres de 1990 donnent à penser que le problème pourrait être résolu à l'échelon régional alors que ceux de 2000 indiquent qu'il faudra rechercher d'autres possibilités importantes. Faute de nouveaux réacteurs, la capacité de stockage à proximité des réacteurs n'augmente plus cependant que les quantités de combustible irradié continuent à augmenter. Ceci signifie que pour répondre aux nouveaux besoins, la gestion du combustible irradié devra avoir recours au stockage à distance du réacteur, au retraitement ou au stockage définitif du combustible irradié. Les études indiquent aussi que même si les installations de retraitement projetées sont achevées en temps utile, il restera quand même une quantité importante de combustible à stocker de façon provisoire ou définitive.

Comme le montre le tableau 7, la capacité disponible en 1980, soit 1150 tonnes d'uranium par an, ne représente que 20% de ce qu'il faudrait pour retraiter tout le combustible irradié; en 1985, la capacité théori-



quement disponible, à savoir 5075 tonnes d'uranium par an, suffirait à retraiter 50% environ du combustible irradié. Il est bien évident que certains pays devront prendre des décisions propres à assurer le retraitement à l'échelle industrielle. Ces dispositions sont indispensables pour que des engagements à long terme puissent être pris concernant des arrangements institutionnels internationaux et pour rétablir la confiance dans cette partie du cycle du combustible nucléaire, qui revêt une importance essentielle pour la mise en service de sur-générateurs rapides.

Disons enfin qu'au cours des années 1970, il est devenu évident que la gestion et l'élimination sans danger des déchets radioactifs présentent une importance capitale si l'on veut assurer le développement de l'énergie d'origine nucléaire et la faire accepter par l'opinion publique. Les spécialistes de la gestion des déchets nucléaires pensent généralement qu'un bon stockage souterrain de ces déchets peut assurer durablement leur isolation et partant la protection de l'homme et de l'environnement.

De nombreux pays ont entrepris de vastes recherches sur les sites géologiques propres à recevoir des dépôts de déchets radioactifs. Quelques-uns d'entre eux créent à cet effet des organismes spécialisés. De plus, on a réalisé de grands progrès dans les diverses techniques de conditionnement et d'emballage des déchets radioactifs de toute nature, opérations nécessaires préalablement au stockage provisoire et définitif.

On s'attend à ce que des pays plus nombreux encore réalisent au cours des dix années à venir des progrès importants dans la définition et la mise en oeuvre de systèmes de gestion des déchets correspondant à leurs programmes nucléaires. Il s'agira là de la gestion des déchets d'activité faible et moyenne, du stockage provisoire des déchets de haute activité, ainsi que du choix des sites et peut-être aussi dans certains pays de la

Tableau 7. Capacités des usines de retraitement (pour combustibles de réacteurs à eau légère seulement)

	1980			1985		
	Nombre de pays	Nombre d'usines	Tonnes d'U/an	Nombre de pays	Nombre d'usines	Tonnes d'U/an
OCDE Amérique du Nord	—	—	—	1	3	2 550
OCDE Europe	4	5	840	5	7	2 115
OCDE Pacifique	1	1	210	1	1	210
Pays européens à économie planifiée	Chiffres non communiqués					
Asie	1	1	100	1	2	200
Amérique latine	—	—	—	—	—	—
Afrique et Moyen-Orient	—	—	—	—	—	—
Total mondial	6	7	1 150	8	13	5 075

Quantité annuelle de combustible déchargé d'un réacteur à eau légère pour 1 GWe: ~ 30 tonnes.

construction de dépôts destinés aux déchets de haute activité et émetteurs alpha. Plusieurs pays évolués procéderont à la solidification des déchets de haute activité et à leur préparation aux fins de stockage provisoire et définitif à l'échelle industrielle.

L'entreposage et le stockage définitif des déchets radioactifs resteront, comme ils le sont aujourd'hui, du ressort des autorités nationales. Il faudra toutefois, s'agissant du stockage provisoire et définitif des déchets de haute activité, rechercher des solutions régionales, voire internationales, comportant l'accueil dans des dépôts nationaux de déchets en provenance de l'étranger. Ces dispositions avantageraient les pays qui ont de petits programmes nucléaires et n'ont pas l'intention de retraiter des combustibles épuisés. Il faudrait, pour pouvoir répondre aux besoins de tous les intéressés, soumettre la question à une instance internationale. Une

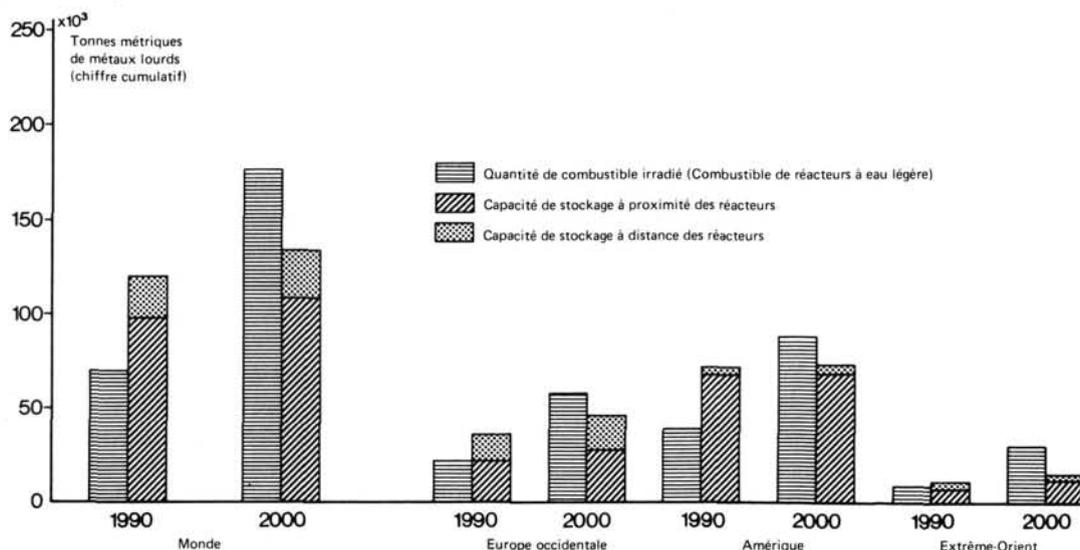
des conditions préalables à remplir serait un consensus au sujet des impératifs de sûreté élémentaires.

Le programme de gestion des déchets radioactifs de l'Agence contribuera, en coopération avec d'autres organismes internationaux, à la réalisation d'un consensus international sur l'élimination sans danger de ces déchets, le premier objectif étant d'appuyer les solutions nationales. Pour répondre à ces problèmes et à ces préoccupations, l'Agence projette de tenir en 1983 une Conférence internationale sur la gestion des déchets radioactifs où seront examinées les dispositions à prendre pour tous les types de déchets.

Les économies d'énergie

L'exposé des défis des années 1980 serait certes incomplet s'il passait sous silence les aspects économiques

Figure 8. Combustibles irradiés des réacteurs à eau légère et capacité de stockage jusqu'en l'an 2000.



de l'approvisionnement en énergie. L'augmentation spectaculaire des coûts de l'énergie qu'ont entraînée les hausses de prix du pétrole depuis 1973-1974 a fortement contribué à l'inflation mondiale et partant à la récession économique et au chômage. Tous les pays, qu'ils soient industrialisés ou en développement, sont dans la nécessité de trouver des sources sûres d'énergie à des prix raisonnables. Le nucléaire peut offrir une solution immédiate.

L'électricité produite par la voie nucléaire est déjà beaucoup moins chère que celle des centrales chauffées au mazout. La comparaison avec l'électricité produite par les centrales à charbon doit tenir compte d'une multiplicité de facteurs et ne fournit pas de réponse généralisable. Dans l'ensemble, elle est plutôt favorable au nucléaire.

Le facteur économique décisif en ce qui concerne les centrales chauffées au charbon est le prix de ce dernier. S'agissant de l'énergie produite par la voie nucléaire, les facteurs décisifs sont l'investissement nécessaire à la construction de la centrale et le rendement de cette dernière. Une des tâches qui s'imposent au nucléaire pendant les années 1980 sera d'obtenir une réduction des délais d'homologation et de construction, afin de comprimer le coût de l'investissement.

Les centrales nucléaires sont moins sensibles que les centrales thermiques aux variations du prix des combustibles. Si le prix de l'uranium double, le prix de revient du courant produit par voie nucléaire n'augmentera que de 10%. Si le prix des combustibles fossiles double, l'augmentation correspondante sera de 65%. Les pays fortement engagés dans le nucléaire subiront donc moins le contrecoup des hausses du prix des combustibles.

Mais si l'on veut que le nucléaire puisse tenir ses promesses économiques, il faudra engager une action concertée pour surmonter les résistances du public qui ont considérablement freiné sa croissance, et en raison desquelles on continue à avoir largement recours au pétrole et au charbon pour produire du courant électrique, alors que le nucléaire est plus économique. Les grandes centrales nucléaires peuvent produire du courant qui coûte de 25 à 50% de moins que celui des centrales à charbon. Avec l'argent ainsi économisé en 30 ans d'exploitation on aurait pu construire une ou deux nouvelles centrales nucléaires. L'économie est encore plus grande par rapport aux centrales chauffées au mazout.

#### Maturité technique et attitude en présence des accidents

Les années 1980 n'apporteront probablement aux types de réacteurs déjà éprouvés que des perfectionnements mineurs reposant sur l'expérience des trente années depuis lesquelles il y a des réacteurs en service qui ont accumulé, comme on l'a vu, 2200 ans d'expérience. Cette expérience s'accroîtra rapidement au cours des années 1980, à raison de 250 ans pendant chacune des premières années de la décennie, de 450 vers son milieu, et de 600 en 1990. Le total des années d'expérience s'élèvera alors à 6000.

Cette évolution devrait permettre aux constructeurs, aux propriétaires et aux autorités chargées de la régle-

mentation de coopérer pour intensifier la normalisation des types d'installations, ce qui non seulement aurait une incidence directe sur les coûts, mais encore réduirait le temps nécessaire à l'obtention des autorisations ainsi que les délais qui s'écoulent entre l'engagement et la mise en service à l'échelle industrielle, sans parler du perfectionnement apporté à la sécurité de la centrale.

Les nouveaux règlements augmentant la complexité des installations, il faut trouver un équilibre entre leurs effets et les faiblesses que risque d'entraîner cette complexité accrue. Il faut espérer qu'on pourra éviter les difficultés extrêmes que provoquent les remaniements en cours de construction et d'exploitation. Ce sont ces exigences des nouveaux règlements, et non les nouvelles commandes de réacteurs, qui font aujourd'hui travailler l'industrie nucléaire dans quelques grands pays.

Il y a inévitablement des défaillances dans un réacteur de puissance, comme dans toute autre installation technique complexe. Mais il faut aussi rappeler que jusqu'à présent il n'y a pas eu un seul accident mortel dû aux rayonnements dans une centrale nucléaire vouée à des fins pacifiques. Les nombreux obstacles introduits dans les installations pour empêcher le rejet dans la biosphère de quantités dangereuses de radioactivité ont jusqu'à présent rempli leur office.

A mesure que l'emploi de l'énergie nucléaire se développe, l'opinion publique et les organes d'information devraient de plus en plus admettre qu'elle constitue un élément naturel de notre environnement. Une fuite de vanne ou une panne de turbine survenant dans une centrale nucléaire ne devraient pas être des nouvelles plus sensationnelles que des incidents analogues dans une centrale classique. On joue sur les mots, de nos jours. On a parlé de "catastrophe" à propos de Three Mile Island. Si c'est là une catastrophe, on peut souhaiter que tous les accidents de l'avenir soient des "catastrophes" du même genre.

L'incident de Three Mile Island a vraiment été une catastrophe, mais au point de vue économique. Il faudra probablement qu'à l'avenir les compagnies d'électricité s'entendent pour supporter en commun les charges financières qu'un accident risque de leur imposer.

#### Petits réacteurs pour pays en développement

Dans quelle mesure les pays en développement feront-ils usage de l'énergie nucléaire pendant notre décennie? On prévoit une augmentation de 1100 pour cent, mais elle ne porterait que sur une demi-douzaine de pays. C'est que les promoteurs du nucléaire doivent tenir compte de la préférence accordée par les ingénieurs et les constructeurs aux installations d'une puissance de 1000 à 1300 MW, dimensions qui exigent la présence, dans le pays d'accueil, d'une infrastructure préalable. J'entends par là un réseau électrique d'une capacité suffisante ainsi que le personnel et les installations nécessaires pour assurer l'entretien courant et parer aux situations d'urgence.

D'après une formule empirique traditionnelle, aucun groupe d'un réseau électrique ne doit fournir plus de 10% de la puissance totale. Or pour réaliser des économies d'échelle, on a créé des centrales très grandes qui ne peuvent par conséquent figurer que dans des ensembles

d'une capacité totale d'au moins 5000 à 7000 MW, ce qui revient à dire qu'on ne peut introduire ces grands réacteurs que dans très peu de pays en développement. Nous avons appris récemment que quelques constructeurs ont mis à l'étude des réacteurs beaucoup plus petits dans lesquels la perte d'économie d'échelle est compensée par la simplification, tout en présentant la même sûreté que les installations plus grandes.

Il est toutefois certain qu'il faudra beaucoup de temps pour mettre au point ces petites installations, les commercialiser, et obtenir l'autorisation de les exploiter. En attendant je ne puis qu'espérer que l'adoption du nucléaire par les pays développés détendra le marché du pétrole brut et permettra aux pays en développement de donner à leurs réseaux électriques traditionnels l'extension et l'infrastructure évoluée propres à accueillir les réacteurs nucléaires.

### La sûreté nucléaire

L'évolution en matière de sûreté comporte trois aspects: la réglementation, la sûreté d'exploitation et les systèmes de sûreté.

Au cours des années 1980, il s'agira avant tout d'établir dans la réglementation relative aux principaux problèmes de sûreté un ordre de priorités qui permette de perturber le moins possible l'exploitation des réacteurs anciens et nouveaux. Il convient de rappeler l'importance qui s'attache à l'harmonisation internationale des normes nucléaires, notamment au niveau des critères et des approches fondamentaux, ainsi que la contribution apportée par le programme NUSS (Normes de sûreté nucléaire) de l'AIEA. Rappelons aussi le dispositif ternaire: conception et exploitation, choix du site et mesures d'urgence, sur lequel repose la sûreté du public.

La sûreté d'exploitation s'est améliorée grâce aux progrès sensibles réalisés dans deux domaines où les efforts devront néanmoins être poursuivis: l'évaluation de l'expérience d'exploitation et la prise en considération du facteur humain. Il est de plus en plus difficile de distinguer, dans le flot sans cesse croissant d'informations fournies par les sources nationales et internationales, les rares éléments importants. Après Three Mile Island, on a compris que l'élément humain est un facteur qui influence la sûreté et dont il faut tenir compte dans la conception, l'exploitation, l'entretien et la gestion des centrales. L'AIEA doit, en pleine coopération avec les Etats Membres et en tenant pleinement compte des

différences que présentent les situations selon les pays, s'efforcer d'établir des critères de compétence applicables au personnel d'exploitation et d'entretien. Il faut généraliser l'emploi de simulateurs pour l'analyse du comportement des systèmes.

On a beaucoup travaillé sur l'éventualité des accidents dus à une fusion du cœur. Ces travaux vont probablement présenter moins d'urgence du fait des modifications qui vont probablement intervenir en ce qui concerne le système d'évacuation de la chaleur, son alimentation en énergie et le refroidissement de secours.

La Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléoénergétique que l'Agence doit tenir en septembre 1982 pourra très utilement renseigner les Etats Membres et leurs compagnies d'électricité sur la vaste expérience accumulée jusqu'à ce jour au cours de quelque 2200 années d'exploitation des réacteurs.

### Le choix du futur

Il y a une minorité très limitée qui refuse l'énergie nucléaire mais possède une influence politique considérable. Elle peut devenir pro-nucléaire en présence d'une pénurie d'énergie due à un blocage du pétrole, ou si la charge financière due à l'énergie risque de compromettre gravement l'économie d'un pays, la vie sociale et le niveau d'existence de sa population. Ce sont des choses que personne ne souhaite voir arriver. Cette opposition peut aussi devenir encore plus anti-nucléaire s'il se produit des accidents dans des centrales nucléaires, qu'ils en atteignent ou non la partie nucléaire. Il faut donc tout faire pour que les media donnent des informations impartiales et pour qu'on ne compare pas injustement les défaillances des installations nucléaires à celles d'autres ensembles techniques tout aussi compliqués.

Rappelons aussi que les systèmes à réacteurs thermiques ne représentent qu'une contribution temporaire à l'approvisionnement du monde en énergie, pour une période comparable à celle du pétrole. A long terme, il faudra avoir recours aux systèmes à neutrons rapides, au surgénérateur, et là, le nucléaire pourra contribuer durablement à la solution des problèmes énergétiques du monde, en d'autres termes, comme le fait le charbon, mais en dégradant beaucoup moins l'environnement. Il est vrai que le nucléaire pose aussi d'autres problèmes. Les politiciens qui font des projets d'avenir ne tiennent malheureusement pas compte de la dynamique du progrès technique.