

JOURNAL OFFICIEL

DES

COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

28 AVRIL 1966

ÉDITION DE LANGUE FRANÇAISE

9^e ANNÉE N° 77

SOMMAIRE

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

INFORMATIONS

LA COMMISSION

66/11/Euratom:

Premier programme indicatif pour la Communauté européenne de l'énergie atomique

1. But et portée du rapport

- 1.1. But général 1145/66
- 1.2. Domaine d'application 1146/66
- 1.3. Portée chronologique 1146/66
- 1.4. Documentation 1147/66

2. Critères pour l'établissement d'un programme

- 2.1. Conformité avec les objectifs de la politique énergétique 1147/66
 - 2.1.1. L'approvisionnement à bon marché 1148/66
 - 2.1.2. La sécurité de l'approvisionnement 1148/66
 - 2.1.3. L'utilisation rationnelle des réserves 1149/66
 - 2.1.4. Autres objectifs énergétiques 1149/66
- 2.2. Le développement des industries productrices de matériaux et d'équipements nucléaires 1149/66

3. Objectifs du programme

- 3.1. Puissance et production électriques nucléaires 1150/66
- 3.2. Justification de ces objectifs 1152/66
 - 3.2.1. Raisons de politique énergétique 1152/66
 - 3.2.2. Estimation au minimum des objectifs retenus 1153/66

(Suite au verso)

SOMMAIRE (Suite)

4. Choix d'un modèle d'évolution des techniques nucléaires	
4.1. Influence de l'évolution antérieure et de la situation actuelle	1153/66
4.2. Analyse des diverses évolutions possibles	1154/66
4.2.1. Modèle I: Réacteurs éprouvés	1155/66
4.2.2. Modèle II: Réacteurs éprouvés — convertisseurs avancés	1155/66
4.2.3. Modèle III: Réacteurs éprouvés — surgénérateurs rapides	1156/66
4.2.4. Modèle IV: Réacteurs éprouvés — convertisseurs avancés — surgénérateurs rapides	1156/66
4.3. Choix et justification	1157/66
4.3.1. Conformité avec le développement actuel	1158/66
4.3.2. Avantages économiques	1158/66
4.3.3. Avantages dans le domaine de l'approvisionnement	1160/66
5. Orientation à long terme	
5.1. Investissements	1161/66
5.2. Facteurs d'incertitude et variantes possibles	1162/66
6. Programme indicatif	
6.1. Centrales nucléaires	1163/66
6.1.1. Réacteurs éprouvés: Gaz-graphite et eau légère	1163/66
6.1.2. Convertisseurs avancés	1163/66
6.1.3. Surgénérateurs rapides	1163/66
6.2. Industries connexes	1164/66
6.2.1. Extraction d'uranium	1164/66
6.2.2. Uranium enrichi	1164/66
6.2.3. Fabrication des éléments de combustible	1164/66
6.2.4. Retraitement des combustibles irradiés	1165/66
6.2.5. Fabrication d'eau lourde	1165/66
6.3. Tableau synthétique	1165/66
7. Perspectives pour la décennie ultérieure (1980—1989)	
7.1. Centrales nucléaires	1167/66
7.2. Industries connexes	1167/66
8. Conclusions	1168/66
Annexe: Tableaux I et II	1169/66
Tableaux III et IV	1170/66
Tableaux V et VI	1171/66
Tableaux VII et VIII	1172/66

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

INFORMATIONS

LA COMMISSION

Premier programme indicatif pour la Communauté européenne de l'énergie atomique

(66/11/Euratom)

vu l'article 40 du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique,

vu l'avis du Comité économique et social adopté au cours de sa 52^e session tenue à Bruxelles les 23 et 24 février 1966⁽¹⁾,

la Commission de la Communauté européenne de l'énergie atomique publie le programme indicatif suivant:

1. BUT ET PORTÉE DU RAPPORT

1.1. But général

Selon l'article 40 du traité, la Commission d'Euratom est tenue de publier périodiquement des programmes, de caractère indicatif, qui ont notamment pour but de définir des objectifs de production d'énergie nucléaire et de déterminer les investissements de toute nature qu'implique leur réalisation. Ils visent à stimuler l'initiative des personnes et entreprises exerçant une activité dans le domaine nucléaire ou s'y intéressant ainsi qu'à faciliter un développement coordonné des investissements dans ce secteur.

Le présent document contient un premier programme indicatif au sens de l'article 40. Maintenant que l'énergie nucléaire entre dans sa phase industrielle, il devient en effet possible non seulement de

⁽¹⁾ JO n° 47 du 18. 3. 1966.

prévoir l'évolution d'ensemble de cette forme d'énergie, mais aussi de tenter d'évaluer les perspectives des divers types de réacteurs et d'indiquer les investissements nécessaires dans les différents secteurs d'activité nucléaire pour atteindre certains objectifs déterminés.

D'autre part, ce programme indicatif et, en particulier, ses objectifs de production d'énergie nucléaire contribuent à la définition d'une politique commune de l'énergie dont est chargé le groupe interexécutif «Énergie», aux travaux duquel participent la Haute Autorité de la C.E.C.A., la Commission de la C.E.E. et celle d'Euratom.

1.2. Domaine d'application

Les phénomènes nucléaires ont de multiples possibilités d'application. Indépendamment des nombreuses utilisations des radio-isotopes en médecine ainsi que dans l'agriculture et dans l'industrie, il est dès à présent certain que l'énergie de fission nucléaire sera utilisée pour la production de chaleur à usage direct, pour le dessalement des eaux marines ou saumâtres ainsi que pour la propulsion des navires. A court et à moyen terme cependant, c'est la production d'électricité dans de grandes centrales qui présente les perspectives les plus favorables. Comme c'est le seul domaine où il soit actuellement possible de faire des prévisions relativement fondées, le présent rapport se limite à la production d'électricité.

Cependant, les investissements nécessaires à la production d'électricité ne se limitent pas aux centrales; ils doivent aussi s'effectuer dans divers autres secteurs industriels, notamment l'extraction et le traitement des minerais, la séparation isotopique, la fabrication des éléments de combustible et le retraitement des combustibles irradiés. Le programme indicatif devra donc considérer les principales industries nécessaires à la construction et au fonctionnement des centrales électriques dont il prévoit l'installation.

1.3. Portée chronologique

Ce premier programme indicatif porte essentiellement sur la décennie 1970-1979.

Cette période ne débute pas en 1965 parce que les mises en service au cours des années 1965 à 1969 sont dès à présent connues et ne peuvent plus être influencées. Ces années seront, par contre, riches en décisions à prendre pour des réalisations à intervenir dans la période du programme. Celui-ci se placera néanmoins dans l'optique des «réalisations» plutôt que dans celle des «décisions», lesquelles précèdent normalement d'environ cinq ans les premières.

Mais comme le programme indicatif vise à orienter les investissements, on ne peut négliger entièrement l'optique «décisions» et l'on s'efforcera d'indiquer, chaque fois qu'il est possible, les échéances à respecter, même si elles se placent avant la période considérée. C'est également pour cette raison que l'on examinera attentivement les réalisations à intervenir dans la décennie qui suit 1980: les décisions en ce qui la concerne devront en effet être prises pendant la période du programme indicatif proprement dit.

On sera donc conduit, pour élaborer ce programme, à considérer l'avenir plus lointain. Des décisions prises aujourd'hui peuvent en effet influencer l'évolution de l'énergie nucléaire à long terme. Comme la mise au point d'un type particulier de réacteur exige un délai de l'ordre de la vingtaine d'années, il est indispensable, pour assurer l'avènement des convertisseurs avancés et des surgénérateurs rapides qui prévaudront après 1980, d'entreprendre dès à présent un programme intensif de recherche, de développement et de mise au point industrielle, qui doit notamment comprendre la construction de prototypes.

Pour cette raison et aussi pour situer le programme à moyen terme dans le cadre général du développement futur, il est nécessaire d'indiquer les objectifs de production d'énergie nucléaire ainsi que les grandes lignes du programme d'investissement qu'ils impliquent, pour l'ensemble de la période qui s'étend entre le moment présent et la fin du siècle.

Ce terme a été choisi parce qu'il répond aux critères suivants:

- les projets d'installations nucléaires actuellement envisagés seront à ce moment à la fin de leur utilisation technique et économique;
- selon toute vraisemblance, les réacteurs surgénérateurs auront alors atteint leur pleine maturité industrielle et le recours à cette technique sera en pleine expansion;
- aucune nouvelle technique, encore plus avancée que les surgénérateurs, n'aura sans doute atteint un stade de développement industriel tel que la rentabilité des installations nucléaires mises en service dans les quinze prochaines années risque d'en être compromise.

Il n'est guère nécessaire d'insister sur les incertitudes qui entachent inmanquablement des prévisions à aussi long terme, si soigneusement et prudemment établies qu'elles puissent être. Elles affectent, cependant, surtout les orientations à très long terme, tandis que, par contre, les perspectives de production d'énergie nucléaire et les investissements correspondants présentent, pour la période la plus proche, un degré satisfaisant de probabilité. Ceci justifie donc la distinction qui sera faite, un peu arbitrairement il est vrai en ce qui concerne l'année-repère, entre les périodes antérieure et postérieure à 1980. Seuls les objectifs et les orientations envisagés pour la première constitueront le programme indicatif proprement dit, dont on peut raisonnablement admettre qu'il ne devra pas subir des bouleversements profonds.

Les objectifs de production d'énergie nucléaire et les investissements qu'ils impliquent pourront d'ailleurs être revus et modifiés lorsque la nécessité s'en fera sentir et de toute manière, la Commission se propose de procéder dans l'avenir à des révisions au moins quinquennales.

1.4. Documentation

Les principales études et les principaux documents pris en considération lors de l'élaboration du présent programme indicatif font l'objet d'un rapport publié séparément sous le titre «Situation et perspectives de l'énergie nucléaire dans la Communauté européenne».

2. CRITÈRES POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UN PROGRAMME

2.1. Conformité avec les objectifs de la politique énergétique

Le protocole d'accord relatif aux problèmes énergétiques, conclu entre les gouvernements des États membres et adopté par le Conseil de ministres de la Communauté européenne du charbon et de l'acier le 21 avril 1964, énonce les objectifs suivants:

- un approvisionnement à bon marché,
- la sécurité de l'approvisionnement,
- la progressivité des substitutions,
- la stabilité de l'approvisionnement tant en ce qui concerne son coût que les quantités disponibles,
- le libre choix du consommateur,
- une concurrence équitable sur le marché commun entre les différentes sources d'énergie,
- la politique économique générale.

On examinera ci-dessous plus en détail ces divers objectifs et notamment les deux premiers. On présentera en outre quelques considérations sur une motivation plus particulière du développement nucléaire, à savoir l'expansion des activités industrielles qui s'y rattachent.

2.1.1. *L'approvisionnement à bon marché*

La politique énergétique dans son ensemble, et la politique nucléaire en particulier, doivent avoir pour objectif primordial un approvisionnement aussi bon marché que possible.

La consommation d'électricité continuera à augmenter très fortement dans l'avenir. L'intervention de l'énergie nucléaire pour la couverture d'une partie croissante de cette demande sera dictée par son coût qui, d'abord égal à celui de l'électricité produite dans les centrales thermiques classiques, descendra progressivement jusqu'à des niveaux de plus en plus favorables. Quant au choix entre les diverses techniques nucléaires possibles, l'application du critère d'approvisionnement à bon marché conduira à donner la préférence à la combinaison de types de réacteur qui exige les dépenses les moins élevées pour assurer la production nécessaire. On choisira donc le programme de construction et d'exploitation qui représente le montant actualisé le plus faible pour l'ensemble des dépenses d'investissement, de combustible, d'exploitation et d'entretien des installations.

La solution du problème suppose que l'on ait une idée assez nette des principaux éléments qui interviennent dans la formation des coûts, à savoir :

- le coût de premier établissement des types de centrales en compétition, le niveau des frais fixes incorporés dans le prix de revient de l'électricité (intérêt, amortissement sur la durée de vie probable et impôts) ainsi que la durée d'utilisation annuelle ;
- le coût du combustible, tant pour les centrales nucléaires que pour les centrales thermiques classiques. Toute prévision en la matière dépend, dans une large mesure, de la politique énergétique future et celle-ci doit donc être prise en compte pour déterminer les objectifs de production nucléaire.

2.1.2. *La sécurité de l'approvisionnement*

La sécurité de l'approvisionnement constitue le second objectif essentiel de la politique énergétique. C'est une notion complexe, qui donne souvent lieu à interprétations divergentes.

Quoi qu'il en soit, il est admis que l'on renforce la sécurité de l'approvisionnement :

- en recourant, autant que possible, à des énergies produites dans la Communauté ;
- en différenciant les importations tant en nature que du point de vue géographique ;
- en constituant des réserves pour surmonter les difficultés passagères d'approvisionnement.

En raison du déficit énergétique croissant dont souffre la Communauté (en 1965, environ 47 % des besoins d'énergie primaire auront été couverts par des importations en provenance des pays tiers), l'énergie nucléaire contribuera à la sécurité de l'approvisionnement en limitant les besoins de combustibles importés. D'autre part, même si l'on fait abstraction des quantités disponibles dans la Communauté et de celles qu'une recherche plus intensive pourrait faire découvrir, l'uranium à importer ne provient pas des mêmes pays que le combustible fossile pour lequel la Communauté doit faire le plus largement appel à l'extérieur, c'est-à-dire le pétrole. De plus, les principaux pays fournisseurs d'uranium offrent des garanties satisfaisantes de stabilité d'approvisionnement. Enfin, le coût du combustible nucléaire nécessaire pour produire une quantité déterminée d'énergie électrique est, dès à présent, quatre ou cinq fois moins élevé que celui du combustible fossile. Ce rapport, qui ne fera que croître dans l'avenir avec le perfectionnement des techniques nucléaires, aura pour effet, même si les combustibles nucléaires doivent être importés, d'alléger la dépendance de l'étranger en termes monétaires. D'autre part, une politique de sécurité de l'approvisionnement basée sur l'énergie nucléaire serait moins coûteuse et, par exemple, la constitution de réserves pour les centrales nucléaires serait sensiblement moins onéreuse que la constitution de réserves équivalentes pour les centrales thermiques classiques.

2.1.3. *L'utilisation rationnelle des réserves*

La sécurité de l'approvisionnement joue également un rôle dans les considérations à très long terme.

Le rapport «Civilian Nuclear Power», publié fin 1962 par la Commission américaine de l'énergie atomique, indique que les réserves de combustibles fossiles exploitables aux États-Unis seront épuisées dans un à deux siècles. De façon plus générale il est incontestable que, sur le plan mondial, l'extraction des combustibles fossiles à un niveau toujours croissant conduira très rapidement à une situation de pénurie accompagnée de hausses de prix sous l'effet de conditions d'exploitation toujours plus difficiles. Il y a là une raison majeure de recourir massivement et dès que possible à l'énergie nucléaire.

Ainsi, on disposera de plus grandes ressources énergétiques totales et les utilisations d'énergie pourront également être différenciées de façon plus rationnelle, en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque source.

2.1.4. *Autres objectifs énergétiques*

Les autres objectifs de la politique énergétique commune ont, sous l'angle de l'énergie nucléaire, une importance moindre. On peut cependant faire à leur sujet les remarques suivantes :

- 1) L'énergie nucléaire ne menace nullement la progressivité des substitutions, nécessaire pour éviter les tensions économiques et sociales. La consommation de combustibles dans les centrales classiques devra au moins doubler entre 1965 et 1980, même en admettant pour l'énergie nucléaire l'expansion la plus rapide qui soit concevable. Ce n'est donc pas l'énergie nucléaire qui pourrait porter entrave à l'écoulement du charbon pendant cette période.
- 2) Quant à la stabilité de l'approvisionnement nucléaire, en quantités ou en coûts, on notera tout d'abord que les centrales nucléaires, dont le réacteur possède une longue autonomie de marche sans réapprovisionnement, présentent des garanties sérieuses de stabilité en matière de fourniture électrique, d'autant plus que les interruptions d'origine technique, déjà peu fréquentes, deviendront de plus en plus rares.

Du côté des coûts, le prix de revient du kWh dans une centrale nucléaire n'augmentera probablement guère au cours de la vie économique de cette centrale; il aura même plutôt tendance à diminuer en raison des progrès du cycle de combustible dont, contrairement à ce qui se passe dans le secteur classique, les centrales nucléaires déjà en service peuvent partiellement bénéficier.

- 3) Le développement envisagé de l'énergie nucléaire ne risque pas d'entraver le libre choix des consommateurs, de fausser la concurrence entre les sources d'énergie ou d'être en contradiction avec les principes généraux d'une saine politique économique. L'objectif de ce développement est en effet de produire, dans des conditions de plus en plus économiques, les quantités croissantes d'énergie électrique qui, à côté de celles fournies par les sources traditionnelles, seront indispensables pour soutenir l'expansion de la Communauté européenne.

2.2. **Le développement des industries productrices de matériaux et d'équipements nucléaires**

La construction et l'approvisionnement des centrales nucléaires, dont l'installation est prévue pour les prochaines années dans la Communauté, supposent l'existence de capacités industrielles multiples et d'une ampleur suffisante. Cette condition n'est pas entièrement satisfaite à l'heure actuelle dans la Communauté. Aussi, tout en permettant de limiter les importations de combustibles fossiles, l'extension progressive du recours à l'énergie nucléaire nécessitera, au moins au début de la période envisagée, des importations de produits et d'équipements nucléaires.

Or, il est bien évident que la sécurité de l'approvisionnement ne concerne pas uniquement les combustibles, mais réside aussi dans la capacité de construire les installations requises pour la production d'énergie. En outre, la production de matériaux et d'équipements d'un type nouveau et de haute qualité, destinés à être utilisés dans les installations nucléaires, aura un rôle de stimulant vis-à-vis de nombreux secteurs industriels, du domaine de la métallurgie à celui de l'électronique, de la chimie à la mécanique, sans oublier les industries de construction, en favorisant les recherches appliquées et le progrès technique.

Sans pour autant renoncer à des échanges mutuellement profitables et aux occasions d'exportation qui en résulteront, la Communauté doit donc s'efforcer d'acquérir et d'élargir la capacité industrielle, ainsi que les connaissances nécessaires à la construction, l'approvisionnement et l'exploitation des centrales nucléaires. En conséquence, la création d'une puissante industrie nucléaire dans la Communauté, qui est d'ailleurs prévue par le traité d'Euratom, sera un des objectifs du programme indicatif.

La réalisation de cet objectif implique cependant la mise en œuvre d'une politique industrielle appropriée, au niveau de la Communauté.

3. OBJECTIFS DU PROGRAMME

3.1. Puissance et production électriques nucléaires

L'évolution de la consommation d'électricité dans la Communauté a été esquissée en partant des prévisions de l'«Étude sur les perspectives énergétiques à long terme de la Communauté européenne». On a tenu compte cependant, pour la période actuelle et l'avenir proche, des tendances récentes à une certaine accélération dans l'accroissement de la demande. Enfin, ces prévisions, ainsi corrigées, ont été prolongées jusqu'à la fin du siècle, selon un rythme de croissance nettement plus faible.

Les taux annuels de croissance utilisés sont les suivants (en %) :

1960-1965	1965-1970	1970-1980	1980-2000
<u>8,0</u>	<u>7,5</u>	<u>6,5</u>	<u>6,0</u>

Ces hypothèses de croissance conduisent aux évaluations suivantes de la consommation nette d'énergie électrique dans la Communauté (en milliards de kWh) :

1960	1965	1970	1975	1980	1990	2000
<u>272</u>	<u>391</u>	<u>575</u>	<u>790</u>	<u>1.080</u>	<u>1.930</u>	<u>3.450</u>

Ces prévisions sont relativement prudentes, compte tenu notamment des tendances les plus récentes ainsi que des prévisions faites pour d'autres pays.

La part que l'énergie nucléaire pourrait prendre dans la satisfaction de cette demande croissante a été évaluée, pour la période la plus rapprochée, en se fondant sur les projets connus et sur les programmes nationaux annoncés. Jusqu'en 1975, les chiffres retenus sont voisins de ceux que prévoyait déjà en 1962 l'Étude sur les perspectives énergétiques à long terme de la Communauté européenne. Ils confirment également l'estimation faite dès 1960 et publiée dans le troisième rapport général de la Commission d'Euratom, à savoir que la puissance nucléaire installée en 1980 atteindrait 40.000 MWe.

Pour la période allant jusqu'à la fin du siècle, on a estimé, à titre d'hypothèse de travail, que la part des centrales nucléaires dans les accroissements de puissance thermique utilisant des combustibles «non privilégiés»⁽¹⁾ augmenterait de la manière suivante:

1970-1980 : 40%

1980-1990 : 60%

1990-2000 : 80%

Ceci constitue certainement une hypothèse minimum. En effet, étant donné la maturité technique accomplie des centrales nucléaires à cette époque et leur avantage économique croissant sur les centrales classiques, il ne serait pas déraisonnable d'envisager qu'après 1980, la totalité des nouvelles centrales thermiques «non privilégiées» soient nucléaires.

Dans l'hypothèse adoptée, les centrales nucléaires représenteraient à la fin du siècle la moitié du parc électrique total. Leur production serait un peu supérieure aux deux tiers de la production électrique globale et atteindrait environ 30% de la consommation totale d'énergie dans la Communauté.

Ce rapport élevé entre production et puissance installée s'explique par les facteurs de disponibilité relativement élevés adoptés pour les centrales nucléaires. Ces derniers sont plutôt une conséquence de coûts de fonctionnement inférieurs à ceux de la plupart des autres catégories de centrales thermiques qu'une condition indispensable à la rentabilité des centrales nucléaires, considérant leur frais d'installation plus élevés que ceux des centrales conventionnelles.

Compte tenu de la structure actuelle et prévisible des moyens de production d'électricité et de leur tendance à une spécialisation progressive selon diverses catégories de durées d'utilisation (charges de base, moyenne, de pointe, d'extrême pointe) on peut admettre que les centrales nucléaires seront affectées — avec les centrales au fil de l'eau et les installations géothermiques — à la couverture de la charge de base, en tout cas jusqu'à 1980 environ. Au delà, elles commenceront sans doute à mordre progressivement sur les durées inférieures à 7.000 heures.

Le tableau qui suit indique l'évolution estimée de la puissance électrique installée en centrales nucléaires et de la production qui en résulte dans la Communauté, d'ici la fin du siècle.

Objectifs minimums de production d'énergie nucléaire

Année	Puissance au 1 ^{er} janvier (en MWe)	Durée annuelle d'utilisation (en heures)	Production annuelle nette (en 10 ⁹ kWh)	Quantités produites cumulées (en 10 ⁹ kWh)
<i>A. Programme indicatif</i>				
1970	4.000	7.000	28	—
1975	17.000	7.000	120	300
1980	40.000	7.000	280	1.200
<i>B. Orientation à long terme</i>				
1985	78.000	6.900	540	3.100
1990	135.000	6.800	920	6.500
1995	226.000	6.650	1.500	12.000
2000	370.000	6.500	2.400	21.000

⁽¹⁾ En matière de production électrique, on entend par «combustibles non privilégiés» ou «concurrentiels», le charbon, le fuel-oil, le gaz naturel ou un combustible nucléaire. Par contre, ceux des combustibles fossiles qui, ne pouvant guère servir qu'à produire de l'électricité, ont un avantage concurrentiel indiscutable sur tout autre, sont dits «privilégiés». Il s'agit du gaz de haut fourneau et du lignite, auxquels s'ajouteraient les bas-produits charbonniers s'il était possible de les distinguer nettement des qualités marchandes. Les quantités disponibles de ces combustibles sont limitées, ce qui n'est pas le cas, en principe, des combustibles concurrentiels.

A côté des combustibles précités, citons encore l'énergie hydraulique, qui peut également être considérée comme une source d'énergie «privilégiée».

La production cumulée d'électricité nucléaire jusqu'à la fin du siècle peut être estimée à environ 21.000 milliards de kWh. De plus, les centrales nucléaires qui seront en service en l'an 2000 et qui atteindraient donc une puissance globale d'environ 370.000 MWe, continueront à fonctionner après cette date. En assignant à chaque centrale une durée de vie de trente ans à partir de sa mise en service, la puissance nucléaire envisagée ci-dessus pourra encore fournir, après l'an 2000, environ 44.000 milliards de kWh.

3.2. Justification de ces objectifs

Une production d'énergie nucléaire de cette ampleur doit être considérée, pour diverses raisons, comme un objectif minimum pour la Communauté.

3.2.1. Raisons de politique énergétique

La Communauté dépend considérablement de l'extérieur pour son approvisionnement en énergie. En effet, les importations qui ne représentaient guère que 5% du total avant la deuxième guerre mondiale, ont atteint 27% en 1960 et s'élèveront, en 1965, à près de la moitié. L'approvisionnement de la Communauté en énergie primaire se présente, en effet, approximativement comme suit pour cette année:

Production indigène:

— houille	33,6%
— lignite	5,5%
— pétrole brut	3,6%
— gaz naturel	3,5%
— électricité primaire	6,7%
	52,9%

Importations nettes:

— houille, coke et lignite	4,2%
— pétrole brut (dont Moyen-Orient, Algérie et Libye: environ 43%)	47,8%
— produits pétroliers (solde des échanges)	5,3%
— gaz, électricité	0,4%
	47,1%

Pour l'avenir, on sait qu'en 1975, malgré l'apport, encore modeste il est vrai, de l'énergie nucléaire, la dépendance se situera entre un peu plus de la moitié et un peu moins des deux tiers.

A plus long terme, même si l'on ajoute à la production nucléaire, estimée à environ 30% des besoins globaux en énergie, une évaluation optimiste de l'apport des autres sources d'énergie produites dans la Communauté, la situation de l'approvisionnement se caractérisera probablement encore, en l'an 2000, par la nécessité d'un recours à l'importation au moins égal à la moitié du total.

Une contribution de l'énergie nucléaire conforme à l'évolution indiquée dans le tableau ci-dessus est donc indispensable pour éviter une dépendance de l'extérieur encore plus forte, constituant une menace encore plus grave pour la sécurité de l'approvisionnement de la Communauté et pour la stabilité des prix de l'énergie à un niveau relativement satisfaisant.

En effet, même si une partie importante des matières fissiles doit être importée par la Communauté, l'énergie nucléaire n'en contribue pas moins à la sécurité de l'approvisionnement, pour diverses raisons déjà indiquées plus haut, à savoir: coût bien inférieur du combustible nucléaire que du combustible classique nécessaire pour une production déterminée d'électricité, autonomie de marche des centrales nucléaires, facilité et coût favorable du transport ainsi que du stockage du combustible nucléaire.

3.2.2. Estimation au minimum des objectifs retenus

Même en négligeant le fait que les consommations futures d'électricité sont probablement sous-estimées, les objectifs choisis doivent être considérés comme minimums à deux points de vue.

Les centrales nucléaires devant être compétitives, dès 1970, avec les centrales classiques sur lesquelles pourrait porter le choix alternatif, il est très probable que si les conditions d'un développement favorable des industries nucléaires sont créées, et particulièrement si l'on évite l'apparition de goulots d'étranglement, les producteurs d'électricité auront spontanément tendance à dépasser les objectifs fixés.

En outre, à mesure que se préciseront les possibilités réelles des sources d'énergie communautaires, en fonction notamment de leur caractère compétitif et vu le souci d'éviter le recours à des importations trop massives, les politiques énergétiques nationales ou la politique énergétique commune tendront vraisemblablement à souhaiter un apport de l'énergie nucléaire plus vaste que prévu.

En d'autres termes, il est vraisemblable que la recherche de l'optimum économique pour la production des quantités d'électricité indispensables à l'expansion économique et au progrès social de la Communauté européenne, conduirait à des puissances et à des productions nucléaires supérieures à celles qui ont été retenues.

Sous l'angle des capacités industrielles qu'il conviendrait de développer, il faut d'ailleurs encore noter que les investissements nécessaires pour atteindre ces objectifs minimums ne représentent sans doute pas l'entièreté du chiffre d'affaires accessible aux industries de la Communauté. On doit tendre en effet à ce que les activités nucléaires conduisent, pour la Communauté, à un solde exportateur qui majorerait d'autant les capacités industrielles à mettre en œuvre.

4. CHOIX D'UN MODÈLE D'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES NUCLÉAIRES

4.1. Influence de l'évolution antérieure et de la situation actuelle

Il va de soi que l'orientation future des techniques nucléaires dans la Communauté est conditionnée par l'évolution qui s'est produite dans le passé et dont la situation actuelle est la résultante. Cette considération entraîne une première hypothèse, de caractère général, quant à la structure future du parc de centrales nucléaires selon le type de réacteur utilisé.

Il apparaît en effet aujourd'hui que, dans l'ensemble de la Communauté, on ne peut raisonnablement attribuer un avantage déterminant à l'un des deux types de réacteurs éprouvés par rapport à l'autre.

Les réacteurs éprouvés à uranium naturel (gaz-graphite) et ceux à uranium faiblement enrichi (eau légère) en sont en effet à peu près au même point en ce qui concerne tant les réalisations que le développement industriel, les perspectives de rentabilité que celles de consommation de matière fissile. Ceci ne dérive pas uniquement de l'expérience faite dans la Communauté, car l'équivalence des réalisations et des efforts se vérifie aussi à l'échelle mondiale. Il est donc commode d'admettre que la parité entre ces deux types se maintiendra approximativement jusqu'à la fin de la période considérée et cela indépendamment de l'importance variable que l'on attribuera à l'ensemble des deux selon diverses hypothèses sur la réussite technique et économique de types de réacteurs plus avancés.

La parité se justifie d'ailleurs encore par les considérations suivantes:

- Au moins pour les premières années du programme, et compte tenu de l'équilibre actuel, il est certainement sage de ne pas miser entièrement sur une seule technique. En effet, les entreprises de construction de réacteurs dans la Communauté s'intéressent également aux deux. En outre, même si le type à uranium enrichi se présente actuellement comme un peu moins coûteux, les réacteurs gaz-graphite offrent, par contre, l'avantage d'une plus grande autonomie d'approvisionnement et permettent surtout de recourir à des techniques qui ont, dès l'origine, été développées en Europe.

- Même à plus long terme, le maintien d'un équilibre relatif entre deux techniques, dont les résultats économiques ne seraient pas très différents, aurait pour avantage de laisser les réacteurs éprouvés sous l'aiguillon de la concurrence, source possible de progrès technologique.
- Il se peut aussi que les caractéristiques propres des deux types, et notamment l'importance différente des charges fixes et variables dans la structure de leur coût de production, conduisent à une spécialisation de leur rôle dans la couverture de la demande. Une telle spécialisation les rendrait complémentaires et déterminerait spontanément entre eux un équilibre relatif, lequel, il est vrai, ne se situerait pas nécessairement à la parité.

4.2. Analyse des diverses évolutions possibles

De nombreux modèles d'évolution sont théoriquement concevables selon que l'on postule le succès ou l'échec, à divers moments dans le temps, des principaux types de réacteurs envisagés. Par souci de simplification, on en a retenu quatre, bien différenciés. Tous portent sur la période d'ici la fin du siècle.

Modèle I: Toute la puissance nucléaire est installée en centrales équipées de réacteurs éprouvés, à savoir réacteurs graphite-gaz et réacteurs à eau légère, à parts égales.

Modèle II: A côté des réacteurs éprouvés, toujours répartis par moitié entre les deux filières, interviennent, à partir de 1975, des convertisseurs avancés dont la part augmente progressivement pour atteindre la moitié du total à la fin du siècle.

Modèle III: L'évolution est la même que dans le modèle II, pour ce qui est des réacteurs éprouvés mais le complément est fourni par des surgénérateurs et seulement à partir de 1980.

Modèle IV: Ce modèle représente une combinaison des deux précédents. Les réacteurs éprouvés sont complétés, vers 1975, par des convertisseurs avancés. A ces deux catégories de réacteurs viennent progressivement s'ajouter, à partir de 1980, des surgénérateurs rapides. La puissance installée en réacteurs éprouvés cesse d'augmenter vers 1990, au moment où elle représente environ la moitié de la puissance nucléaire totale. Par contre, la puissance installée en convertisseurs avancés continue à s'accroître. Vers l'an 2000, les surgénérateurs rapides représentent la moitié de la puissance nucléaire totale, tandis que les convertisseurs avancés en constituent environ 30% et les réacteurs éprouvés seulement 20%.

Toujours avec le souci de simplifier autant qu'il se peut les données du problème, on conviendra d'une hypothèse complémentaire.

Parmi les nombreux types de convertisseurs avancés, il apparaît aujourd'hui qu'en ce qui concerne particulièrement la Communauté, il convient de retenir essentiellement les réacteurs à eau lourde et les réacteurs à gaz à haute température. Ces deux types offrent en effet des perspectives favorables sous l'angle technique et économique et tous deux permettent d'envisager l'utilisation du thorium. De plus, leur excellente économie neutronique a pour conséquence une faible consommation spécifique et une utilisation *in situ* élevée des matières fissiles engendrées, ce qui conduit à une très bonne utilisation des ressources naturelles en uranium et en thorium.

A côté de ces avantages communs, il faut noter que:

- les réacteurs à eau lourde se caractérisent par des facteurs de conversion élevés et sont capables de fonctionner à l'uranium naturel;
- les réacteurs à gaz à haute température offrent des promesses intéressantes dans les domaines du rendement thermodynamique et de la surgénération.

S'il semble donc actuellement que ces deux types de réacteurs présentent des avantages relativement équilibrés, il n'est toutefois pas possible de justifier une quelconque répartition entre eux de l'ensemble des convertisseurs avancés prévus dans les modèles II et IV.

Comme l'on dispose actuellement de données techniques et économiques plus nombreuses sur les réacteurs à eau lourde que sur les réacteurs à haute température, on conviendra arbitrairement de considérer les premiers comme représentatifs des convertisseurs avancés. Chaque fois qu'il sera possible, on nuancera cette hypothèse de travail en indiquant le sens des écarts éventuels qu'introduira le recours aux réacteurs à haute température.

On examinera ci-dessous plus en détail les divers modèles d'évolution précités.

4.2.1. *Modèle I: Réacteurs éprouvés*

Cette orientation suppose soit l'échec des nouvelles techniques telles que les convertisseurs avancés et les surgénérateurs rapides, soit leur arrivée à maturité industrielle avec un retard d'au moins dix ans par rapport à ce qui semble actuellement plausible. Cette évolution serait évidemment peu souhaitable. Mais heureusement elle n'est pas non plus très probable, étant donné les efforts de recherche et de développement déjà engagés et ceux que l'on se propose d'effectuer à l'avenir dans ces nouveaux domaines.

De plus, parmi tous les modèles d'évolution retenus pour un programme nucléaire, celui qui se limite aux réacteurs éprouvés offre les perspectives les moins favorables, tant en ce qui regarde les besoins quantitatifs de matières fissiles qu'en ce qui concerne l'utilisation de celles-ci. Ce modèle d'évolution ne peut donc servir de base à l'orientation d'un programme.

Cependant, étant donné la bonne connaissance que l'on a actuellement des possibilités et des limitations techniques des réacteurs éprouvés, ce modèle sera retenu aux fins de comparaison avec les autres orientations possibles.

4.2.2. *Modèle II: Réacteurs éprouvés — Convertisseurs avancés*

Cette évolution présente un degré relativement faible d'incertitude technique, étant donné l'état d'avancement des travaux de recherche et de développement sur les convertisseurs avancés, en particulier sur les réacteurs à eau lourde et sur les réacteurs à haute température.

Elle suppose essentiellement que ces réacteurs soient capables, d'ici quelques années, de fonctionner dans des conditions techniques et économiques au moins aussi favorables que les réacteurs de type éprouvé. L'ampleur de leur avantage éventuel de coût sera évidemment déterminant pour l'allure à laquelle ils relayeront les réacteurs de type éprouvé dans l'installation des puissances électriques nucléaires.

Cependant, dans la mesure où il recouvre toute la période allant jusqu'à la fin du siècle, le modèle II suppose aussi implicitement que les surgénérateurs rapides ne soient industriellement au point qu'avec un retard d'au moins dix ans par rapport à ce qui semble actuellement plausible. Cette condition qui n'est ni souhaitable, ni probable, à moins que l'effort de développement des réacteurs rapides ne soit universellement abandonné, constitue évidemment une contre-indication au choix de cette orientation.

- 1) L'avènement économique des *réacteurs à eau lourde* suppose la continuation des efforts de recherche et de mise au point, la construction de prototypes et le lancement d'un programme important de réalisations.

Si le succès de la filière à eau lourde semble assuré, une certaine incertitude plane encore sur le ou les types qui, dans cette filière, donneront le meilleur résultat. Rappelons ici que les liquides organiques sont relativement bien placés parmi les divers fluides de refroidissement, les réacteurs à eau lourde qui les utilisent ayant des rendements thermodynamiques plus intéressants, des circuits

primaires moins coûteux, des problèmes de sécurité moins graves que ceux qui sont refroidis à l'eau légère, à l'eau lourde ou au gaz.

Quoi qu'il en soit, l'évolution ici examinée présente, par rapport à celle qui se limiterait aux réacteurs éprouvés, les avantages suivants:

- de moindres besoins en uranium naturel: cette économie s'élève à environ 147.000 tonnes, c'est-à-dire que les besoins sont réduits d'environ 23 %;
- de moindres besoins en uranium enrichi: cette économie correspond à environ 144.000 tonnes d'uranium naturel, c'est-à-dire que les besoins sont réduits d'environ 44 %, ceci pour autant que les réacteurs à eau lourde soient alimentés à l'uranium naturel;
- probablement, un investissement global légèrement moindre et l'obtention d'un prix de revient inférieur du kWh.

En ce qui regarde l'utilisation du plutonium, ce modèle d'évolution présente un inconvénient. En effet, le plutonium produit dans les réacteurs éprouvés ou dans les convertisseurs avancés ne pourrait pas, en l'absence de surgénérateurs rapides, être utilisé de la manière considérée comme la meilleure, c'est-à-dire pour faire de la surgénération à neutrons rapides.

On peut, dans une certaine mesure, pallier cet inconvénient:

- soit par la recherche de taux d'irradiation plus élevés, permettant de brûler *in situ* une bonne partie du plutonium produit. A cet égard, les réacteurs à eau lourde occupent la première place: 50 % de la puissance totale produite étant dus au plutonium engendré, contre un peu plus de 30 % pour les réacteurs à eau légère et un peu plus de 20 % pour les réacteurs graphite-gaz du type éprouvé;
 - soit par le recyclage du plutonium dans les réacteurs thermiques.
- 2) Les *réacteurs à haute température* offrent des promesses intéressantes, en matière de rendement thermodynamique, d'utilisation du thorium et de surgénération thermique. Une place devrait donc leur être faite parmi les convertisseurs avancés et à côté des réacteurs à eau lourde, dans la mesure où ils deviendront économiques. Cette répartition correspond d'ailleurs assez bien à la nature et à l'ampleur des efforts effectués dans ce domaine par la Communauté européenne de l'énergie atomique.

4.2.3. Modèle III: Réacteurs éprouvés — Surgénérateurs rapides

Cette évolution suppose essentiellement que les surgénérateurs rapides soient capables, d'ici quelques années, de fonctionner dans des conditions techniques et économiques au moins aussi favorables que les réacteurs de type éprouvé et que les convertisseurs avancés.

Durant cette évolution, les quantités de plutonium produites dans l'ensemble des réacteurs installés ainsi que les besoins de plutonium pour la première charge des surgénérateurs rapides auront une incidence déterminante sur l'allure à laquelle les surgénérateurs rapides relayeront les réacteurs de type éprouvé dans l'installation des puissances électriques nucléaires.

L'inconvénient le plus grave d'une telle orientation tient, en fait, à l'incertitude qui plane encore sur le développement technique des surgénérateurs rapides et, en particulier, sur le moment où ils seront industriellement éprouvés et économiquement plus avantageux que les autres types de réacteurs.

4.2.4. Modèle IV: Réacteurs éprouvés — Convertisseurs avancés — Surgénérateurs rapides

Cette évolution suppose que les réacteurs éprouvés seront tout d'abord complétés par des convertisseurs avancés. Ensuite, approximativement à partir de 1980, les surgénérateurs rapides interviendront progressivement, dans la mesure où ils seront techniquement au point et économiquement avantageux par rapport tant aux réacteurs éprouvés qu'aux convertisseurs avancés.

Les programmes actuels de recherche et de développement de la Commission d'Euratom correspondent fort bien à cette orientation. Mais il est évident que cette action doit être continuée et amplifiée pour que les surgénérateurs rapides arrivent à la maturité industrielle dans les délais prévus. De plus, un programme important de construction de surgénérateurs rapides sera nécessaire pour que ce modèle soit économiquement supérieur à celui qui se limite aux réacteurs éprouvés ou à la combinaison «réacteurs éprouvés - convertisseurs avancés».

Il y a lieu d'ajouter cependant que l'évolution retenue en ce qui concerne l'importance relative des surgénérateurs rapides dans l'ensemble des installations nucléaires ne peut être justifiée avec rigueur. En effet, le développement des surgénérateurs rapides a été estimé en fonction des possibilités industrielles prévisibles. Il ne repose donc pas sur la préoccupation de minimiser les stocks de plutonium engendré dans les autres réacteurs et ne peut, à ce point de vue, être considéré comme le développement optimum. La croissance envisagée crée d'ailleurs des disponibilités excédentaires en plutonium, lesquelles ont conduit à envisager le recyclage de cette matière dans des réacteurs thermiques pendant une grande partie de la période envisagée.

Compte tenu du développement admis pour les surgénérateurs rapides, les avantages du modèle ici envisagé sont notamment les suivants :

- de moindres besoins en uranium naturel : par rapport au modèle qui se limite aux réacteurs éprouvés, les besoins sont réduits environ de moitié ; relativement au modèle «réacteurs éprouvés - réacteurs à eau lourde», les besoins sont réduits de 34 % ;
- de moindres besoins en uranium enrichi : par rapport au modèle «réacteurs éprouvés», les besoins sont réduits d'environ les deux tiers ; relativement au modèle «réacteurs éprouvés - réacteurs à eau lourde», les besoins sont réduits de 42 %. Il y a lieu de noter que la réduction serait plus importante encore en cas de recyclage du plutonium disponible dans les réacteurs thermiques, en attendant qu'il puisse faire l'objet d'une utilisation plus favorable dans les surgénérateurs rapides ;
- la meilleure utilisation du plutonium produit dans les réacteurs éprouvés et dans les convertisseurs avancés ;
- un coût global inférieur pour la production des quantités requises d'électricité et, par conséquent, le prix de revient moyen du kWh le plus favorable.

L'inconvénient le plus grave d'une telle évolution tient, en fait, à l'incertitude qui subsiste quant au développement technique des surgénérateurs rapides et, en particulier, au moment où ils seront industriellement éprouvés et économiquement plus avantageux que les autres types de réacteurs.

Si nous ne pouvons à priori exclure un retard dans le développement des réacteurs rapides, ce qui conduirait à augmenter dans le programme la proportion des réacteurs éprouvés et des convertisseurs avancés, il faut noter que l'ampleur du risque ainsi encouru n'est pas très grave et qu'il y a possibilité d'en réduire encore la probabilité par un effort étendu et concerté en matière de recherche, de développement et de mise au point de la technologie des réacteurs rapides.

La souplesse et la capacité d'adaptation de ce dernier modèle, par le fait qu'il prévoit une étape intermédiaire relativement extensible, seront encore renforcées par le recours partiel, au cours de cette étape, aux réacteurs à haute température qui peuvent aboutir à la surgénération thermique. Cette souplesse d'adaptation n'est pas un des moindres avantages du modèle d'évolution envisagé ici.

4.3. Choix et justification

Il convient de rappeler ici, une nouvelle fois, que les modèles d'évolution exposés ci-dessus sont purement théoriques. L'évolution réelle sera certainement beaucoup plus complexe.

Sous cette réserve, on peut conclure qu'il convient de choisir, comme orientation générale, celle qui prévoit le recours successif aux réacteurs éprouvés, aux réacteurs à eau lourde et à haute température, puis enfin aux réacteurs surgénérateurs.

On trouvera ci-dessous les avantages essentiels de ce modèle, qui a pour effet de mettre la Communauté, au terme de la période envisagée, dans la meilleure position possible pour aborder l'avenir plus lointain, tant en ce qui concerne le développement industriel que la production d'énergie dans les meilleures conditions.

4.3.1. Conformité avec le développement actuel

Le modèle IV est le plus conforme à la situation industrielle actuelle ainsi qu'aux efforts de recherche et développement en cours dans la Communauté. C'est aussi celui qui concorde le mieux avec une évolution harmonieuse des techniques. Concrètement, il se fonde sur le succès, à échéance rapprochée, des programmes «eau lourde» et «haute température», ainsi qu'à échéance un peu plus lointaine, du programme «réacteurs rapides», c'est-à-dire, sous réserve des recherches sur la fusion nucléaire qui a été volontairement laissée de côté dans cette analyse, sur la réussite, selon un calendrier qui correspond à leur état d'avancement respectif, des grandes actions de la Communauté orientées vers l'avenir.

En fonction du succès de ces programmes de recherche, le modèle adopté conduit à un maximum d'indépendance pour la Communauté en ce qui concerne la construction et le fonctionnement des installations nucléaires.

4.3.2. Avantages économiques

Pour déterminer les avantages économiques du programme nucléaire, on a comparé le coût total de l'électricité produite par des centrales nucléaires selon le modèle I et selon le modèle IV à celui de la même production électrique dans des centrales thermiques classiques, avec un programme identique de mise en service. On notera qu'en ce qui concerne le modèle II et le modèle III, la comparaison aboutirait à des résultats intermédiaires s'inscrivant entre les deux extrêmes auxquels correspondent les modèles I et IV.

Nous n'avons retenu pour la comparaison que les centrales thermiques classiques fonctionnant au charbon et au fuel-oil, car les autres sources d'énergie utilisées pour la production d'électricité sont relativement limitées en quantités et ne sauraient couvrir le déficit résultant de l'absence de centrales nucléaires. Rappelons, en effet, que la production envisagée de 21.000 milliards de kWh d'ici la fin du siècle et de 44.000 milliards de kWh après cette date, soit globalement quelque 65.000 milliards de kWh, représente environ 160 fois la production d'électricité dans la Communauté en 1965.

Pour effectuer la comparaison, on a dû faire des hypothèses sur le prix des combustibles consommés dans les centrales classiques pendant toute la période. Or, on dispose à l'heure actuelle des indications de prix suivantes (valables à fin 1965):

— *Charbon communautaire (fines lavées départ mine)* ⁽¹⁾

Prix de liste: 14,59 à 18,42 U.C./t, dont Ruhr: 16,68 U.C./t

— *Charbon importé*: 11,— à 13,— U.C./t.e.c. cif

— *Fuel lourd*: 5,— à 20,— U.C./t, soit 10,50 à 14,— U.C./t.e.c., départ raffinerie.

Sur cette base, on a choisi comme hypothèses de travail trois prix de référence pour la tonne d'équivalent charbon (à 7.000 kcal) rendue centrale, dans la Communauté:

— 12 U.C./t.e.c., comme niveau choisi volontairement bas dans la gamme des prix actuels des combustibles importés; ce prix semble correspondre d'autre part à la probabilité la plus grande en ce qui concerne le niveau moyen des prix à l'avenir;

— 10 U.C./t.e.c., comme limite minimum concevable à relativement long terme, pour des combustibles importés;

— 15 U.C./t.e.c., comme limite supérieure basée sur les prix les plus favorables du charbon extrait dans la Communauté.

⁽¹⁾ U.C. = unité de compte A.M.E.

t.e.c. = tonne d'équivalent charbon à 7.000 kcal/K°.

A prix constant, au niveau actuel, la comparaison donne les résultats suivants:

Économies résultant de la production d'énergie nucléaire par rapport à une production analogue exclusivement classique ⁽¹⁾ dans les centrales installées jusqu'à la fin du siècle ⁽²⁾

(en milliards d'U.C.A.M.E.)

Modèle d'évolution		Prix de référence du combustible fossile		
		10 U.C./t.e.c.	12 U.C./t.e.c.	15 U.C./t.e.c.
Modèle I	Valeur absolue	61,4	97,6	151,8
	Valeur actualisée ⁽³⁾ au taux de 4%	13,4	23,5	38,6
Modèle IV	Valeur absolue	101,8	139,3	195,6
	Valeur actualisée ⁽³⁾ au taux de 4%	21,9	32,2	47,6

(¹) Il ne s'agit ici que des centrales supplémentaires qui devraient être construites à la place des centrales nucléaires.

b) Pour la comparaison, on a admis que la consommation des centrales classiques serait de 2.000 kcal/kWh pendant toute la période.

(²) On admet par hypothèse que les centrales existant le 1. 1. 2000 fonctionnent jusqu'au terme de leur durée de vie estimée à 30 ans et que leur utilisation décroîtra de 100 heures par an environ au delà de l'an 2000.

(³) Valeur actualisée au 1. 1. 1970 — Taux d'actualisation à long terme, à valeur constante de la monnaie.

On peut dégager de ce tableau les considérations suivantes:

- 1) Quel que soit le modèle d'évolution de l'énergie nucléaire envisagé, sa rentabilité est nettement assurée par rapport à une production analogue dans des centrales classiques.

Même dans l'hypothèse du prix le plus bas pour les combustibles fossiles (10 U.C./t.e.c. en moyenne durant toute la période), l'économie qu'entraîne le programme retenu (modèle IV) est de l'ordre de 22 milliards d'U.C. en valeur actualisée. Dans l'hypothèse la plus vraisemblable (12 U.C./t.e.c.), l'économie est de l'ordre de 32 milliards d'U.C. Dans ce dernier cas, le détail des éléments de calcul se présente comme suit:

Dépenses de production de l'énergie électrique produite dans des centrales à installer jusqu'à la fin du siècle

(Valeurs actualisées)

(en milliards d'U. C.)

	Classiques	Nucléaires Programme IV	Différence: Economie — Frais supp. +
Frais totaux de premier établissement	16,3	27,0	+ 10,7
Coût du combustible	61,7	16,4	— 45,3
Entretien, exploitation	7,2	9,7	+ 2,5
Coût global	85,3	53,1	— 32,2

- 2) Le tableau ci-dessous indique les prix des combustibles fossiles au niveau desquels il serait nécessaire de descendre, en moyenne sur toute la période, pour qu'il en résulte, par égalisation des dépenses totales, une annulation des économies entraînées par l'énergie nucléaire.

Prix moyens des combustibles fossiles qui annuleraient les économies de l'énergie nucléaire par rapport à l'énergie classique

(en U.C./t.e.c.)

	En valeur absolue	En valeur actualisée au taux de 4 %
Modèle I	6,6	7,4
Modèle IV	4,6	5,7

Les prix les plus significatifs à retenir sont ceux qui correspondent aux valeurs actualisées, notamment celui de 5,7 U.C./t.e.c. qui correspond au modèle d'évolution le plus probable, à savoir le modèle IV.

Le fait que les valeurs actualisées sont plus élevées que les valeurs absolues traduit bien cette sorte de pénalisation relative dont souffre l'énergie nucléaire par rapport à l'énergie classique, étant donné que les frais de premier établissement sont plus élevés dans les centrales nucléaires, tandis que les économies sur le combustible qui les compensent, et au delà, s'étalent sur une longue période et voient ainsi leur incidence réduite par l'actualisation.

- 3) Les économies qu'entraîne le modèle d'évolution IV par rapport à une même production électrique dans des centrales classiques sont très supérieures (de près de 50 %) à celles qui correspondent au modèle I.

En valeur actualisée, cette différence en faveur du modèle IV par rapport au modèle I se monte à 10 milliards d'U.C., somme qui détermine l'ampleur maximum des dépenses de recherches et de développement que l'on pourrait théoriquement consentir dans la seule Communauté pour amener à leur maturité industrielle les nouvelles techniques des convertisseurs avancés et des surgénérateurs rapides. Or, il est bien certain que, dans la réalité, les dépenses globales de recherche et développement à engager pour la mise au point de ces nouvelles techniques n'atteindront qu'une fraction très minime de ce montant.

Ceci fait donc ressortir très clairement la supériorité économique du modèle IV.

4.3.3. *Avantages dans le domaine de l'approvisionnement*

Le modèle IV est aussi celui qui entraîne les moindres besoins en matière fissile pour installer les puissances prévues et assurer leur fonctionnement; en même temps, il assure la meilleure utilisation des ressources disponibles.

Que ces ressources se trouvent dans la Communauté ou qu'elles soient exploitées ailleurs dans le monde, il importe que l'orientation choisie soit celle qui prélève la moindre contribution sur les ressources globales en uranium, découvertes ou à découvrir, qui sont, en tout état de cause, limitées.

L'évolution préconisée entraîne la moindre consommation d'uranium et cette constatation est encore renforcée si l'on envisage, comme variante, le recyclage du plutonium dans les réacteurs thermiques, lequel permet d'économiser entre 16.000 et 39.000 tonnes d'uranium naturel, selon que l'on adopte, pour les besoins spécifiques de plutonium des réacteurs rapides, une hypothèse pessimiste ou optimiste.

D'autre part, elle entraîne aussi les moindres besoins en uranium enrichi et limite donc sous cet angle la dépendance de la Communauté, dans le cas où sa capacité d'enrichissement pour le marché civil resterait faible ou nulle. Si l'on décidait, par contre, de construire dans la Communauté la capacité d'enrichissement requise, l'orientation choisie aurait de toute façon pour avantage de minimiser les investissements nécessaires.

De plus, elle conduit, surtout dans l'hypothèse du recyclage thermique du plutonium disponible, à l'utilisation la plus rationnelle de cette matière.

Enfin et surtout, la supériorité de l'évolution retenue repose sur l'introduction progressive des surgénérateurs, qui constituent la technique d'utilisation la plus complète de la fission nucléaire de l'uranium et un moyen d'y puiser la satisfaction des besoins mondiaux en énergie pendant une très longue période.

5. ORIENTATION À LONG TERME

5.1. Investissements

En fonction de ce qui précède, la réalisation des objectifs à long terme de production d'énergie nucléaire définis ci-dessus implique la mise en service de centrales nucléaires, choisies parmi les divers types qui ont atteint ou atteindront la maturité industrielle au cours de la période envisagée, selon le schéma d'évolution suivant.

Jusqu'aux environs de 1975, l'essentiel de la puissance nucléaire sera installée en réacteurs de type éprouvé, c'est-à-dire en réacteurs à eau légère et en réacteurs à gaz-graphite, chacun de ces deux types prenant approximativement la moitié de la puissance installée. Ils seront relayés à partir de 1975 par des convertisseurs avancés, puis progressivement à partir de 1980 par des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides. Les réacteurs éprouvés cesseront de se développer à partir de 1990 environ, tandis que les convertisseurs avancés ne plafonneront que vers l'an 2000. A la fin du siècle, les surgénérateurs représenteront la moitié de la puissance totale, tandis que les réacteurs éprouvés n'en constitueront plus que le cinquième et les avancés moins du tiers. Cette évolution est exprimée plus en détail dans le tableau I ci-annexé.

On peut admettre que la production d'électricité se répartira à peu près proportionnellement de la même façon entre les divers types de réacteurs. Son évolution est reprise dans le tableau II ci-annexé.

Les besoins cumulés en uranium naturel, y compris les quantités nécessaires pour l'enrichissement, sont, on l'a vu, nettement inférieurs à ceux des autres évolutions concevables. Ils se montent cependant à environ 54.000 tonnes pour la période 1970-1979 et à environ 122.000 tonnes pour la décennie suivante. Globalement ils atteignent environ 332.000 tonnes jusqu'en l'an 2000. L'évolution de ces besoins est reprise dans le tableau III ci-annexé.

Quant aux besoins particuliers en uranium enrichi, ils figurent dans le tableau IV. On verra qu'ils restent dans des limites raisonnables. Ces quantités seront cependant encore réduites si l'on effectue le recyclage thermique du plutonium disponible.

En ce qui concerne toujours l'approvisionnement, on examinera encore l'évolution des disponibilités en plutonium. Le tableau V indique les quantités qui pourront être récupérées dans les combustibles irradiés provenant des réacteurs de type éprouvé et des réacteurs à eau lourde. Les quantités de plutonium nécessaires au fonctionnement des surgénérateurs et celles engendrées par eux n'ont pas été reprises au tableau. Les chiffres sont, en effet, difficiles à déterminer à l'heure actuelle. Ils dépendent très largement des hypothèses admises concernant la consommation spécifique des surgénérateurs. A cet égard, il convient de souligner que les programmes de recherche sur les surgénérateurs rapides doivent se fixer comme objectif d'arriver à des consommations spécifiques suffisamment favorables pour permettre l'installation des puissances prévues dans cette catégorie de réacteurs.

Le tableau VI examine les capacités de retraitement qui seront nécessaires, notamment pour récupérer le plutonium présent dans les combustibles irradiés.

On verra que les quantités disponibles de ceux-ci deviennent rapidement assez importantes pour justifier de grandes usines de retraitement.

Enfin, on trouvera dans les tableaux VII et VIII les investissements requis pour mettre en service les centrales nucléaires prévues et les frais globaux de production d'électricité nucléaire. Retenons seulement ici que, pour chacune des trois décennies successives, les investissements atteindraient respectivement environ 7, 16 et 38 milliards d'unités de compte A.M.E., soit environ 60 milliards pour l'ensemble de la période.

Quant au coût global de la production d'électricité nucléaire, il s'élève à environ 93 milliards d'unités de compte pour toute la période 1970-1999. Durant le restant de leur vie, les centrales mises en service avant l'an 2000 nécessiteront des dépenses supplémentaires de quelque 60 milliards d'U.C. Elles auront produit au total 65.000 milliards de kWh répartis sur 60 années. Le coût du kWh à prix constant serait d'environ 3,5 mills (millième d'unité de compte A.M.E. ou de U.S. dollar).

Les chiffres d'investissements ci-dessus donnent, d'autre part, une première indication sur l'ordre de grandeur des valeurs susceptibles d'être assurées contre les dommages matériels.

5.2. Facteurs d'incertitude et variantes possibles

- 1) Pour les raisons précédemment indiquées, on a fait l'hypothèse que les deux types de réacteurs éprouvés (graphite-gaz et eau légère) se développeront parallèlement. Il n'est cependant pas exclu qu'à la suite de l'évolution technique, l'un se développe davantage que l'autre. Une telle évolution n'aurait guère de conséquences sur les coûts globaux et relativement peu sur l'approvisionnement global en uranium naturel.

Néanmoins, la quantité nécessaire d'uranium enrichi augmenterait ou diminuerait selon que la filière à eau légère prendrait plus ou moins d'importance, avec cette réserve cependant que, pour ces réacteurs, le plutonium pourrait peut-être se substituer à l'U 235.

- 2) Le recyclage du plutonium dans des réacteurs thermiques pourra s'effectuer pendant la période qui se situe entre le moment où ce recyclage deviendra techniquement possible (vers 1975) et celui où de grandes quantités de plutonium seront nécessaires pour installer des puissances importantes en surgénérateurs. Sans que pour autant la quantité totale disponible soit réduite de façon appréciable, cet emploi du plutonium comme matière fissile pour les réacteurs à eau légère contribuera à résoudre les problèmes de stockage de cette matière et à en abaisser le coût, ainsi qu'à réduire sensiblement la nécessité de capacité d'enrichissement.
- 3) Ainsi qu'on l'a vu ci-dessus, on a considéré, à titre d'hypothèse de calcul, que les réacteurs à eau lourde étaient représentatifs de la catégorie des convertisseurs avancés. Dans la réalité, le recours partiel à d'autres types de réacteurs — notamment des réacteurs à haute température — pourrait entraîner certaines modifications dans les besoins d'approvisionnement.

D'une part, en effet, les réacteurs à haute température devraient permettre d'utiliser du thorium, ce qui réduirait les besoins en uranium. D'autre part, les autres convertisseurs ont des besoins spécifiques en uranium plus élevés que les réacteurs à eau lourde et ils nécessitent de l'uranium enrichi. Il n'est cependant pas exclu qu'il soit économiquement avantageux de faire fonctionner les réacteurs à eau lourde avec ce dernier type de combustible ou avec du thorium, plutôt qu'avec l'uranium naturel pour lequel ils sont actuellement conçus.

- 4) Le cycle thorium n'a pas été explicitement pris en considération, car les données techniques et économiques que l'on possède à ce sujet dans le domaine des réacteurs à eau lourde ne permettent pas encore de faire des prévisions.
- 5) Le programme prévoit que les surgénérateurs atteindront le stade industriel vers 1980 ou peu après. Cette prévision constitue une incertitude technique majeure et tout retard dans le développement des surgénérateurs favoriserait les réacteurs thermiques et, en particulier, le recyclage thermique du plutonium.
- 6) Il faut noter, enfin, que les conditions économiques différentes dans les divers pays de la Communauté risquent d'entraîner, au moins au début de la période, des orientations quelque peu divergentes.

6. PROGRAMME INDICATIF

Au cours de la période 1970-1979 les investissements suivants devraient être effectués en vue d'atteindre les objectifs de puissance électrique prévus pour 1980, c'est-à-dire 40.000 MWe.

6.1. Centrales nucléaires

6.1.1. Réacteurs éprouvés: gaz-graphite et eau légère

- 1) Il y a actuellement dans la Communauté, en service, en construction ou prévues, une vingtaine de centrales équipées de ces réacteurs, lesquelles totaliseront environ 4.000 MWe, à fin 1969.
- 2) Il est prévu d'atteindre environ 14.000 MWe à fin 1974 et 31.000 MWe à fin 1979.

La réalisation de ces objectifs implique la construction d'une quarantaine de centrales électriques équipées de réacteurs ayant une dimension d'au moins 500 MWe, s'élevant progressivement à 1.000 MWe et dont la mise en service s'étagerait comme suit:

— *entre 1970 et 1974*: mise en service de douze à quinze centrales, pour une puissance totale de 10.000 MWe;

— *entre 1975 et 1979*: mise en service d'environ vingt-cinq centrales, pour une puissance totale de 21.000 MWe.

- 3) Quant au recyclage du plutonium dans les réacteurs à eau légère, on pourrait alimenter ainsi, vers la fin de 1979, une capacité nucléaire d'environ 8.500 MWe.

6.1.2. Convertisseurs avancés

- 1) Il est vraisemblable qu'un ou plusieurs types passeront du stade du prototype à celui de la réalisation industrielle avec des puissances unitaires de l'ordre de 500 à 1.000 MWe. Les perspectives de coût de ces réacteurs sont favorables. Dans la Communauté, l'orientation actuelle de la recherche et du développement, ainsi que de l'expérimentation industrielle, incline à donner une priorité aux réacteurs à eau lourde et aux réacteurs à haute température.
- 2) Il est prévu que la puissance installée en convertisseurs avancés atteindra environ 8.000 MWe à la fin de l'année 1979.

Cet objectif implique tout d'abord — et pour autant que certaines filières s'annoncent techniquement et économiquement prometteuses — la réalisation de deux ou trois réacteurs prototypes de 200 ou 300 MWe. L'un de ceux-ci devrait être un prototype industriel Orgel qui, si la décision était prise rapidement, pourrait être en service dès le tout début de la période. Ensuite, il faudra mettre en service une dizaine de centrales équipées de convertisseurs avancés de puissance unitaire élevée (500 à 1.000 MWe).

6.1.3. Surgénérateurs rapides

- 1) Il est prévu que ces réacteurs, utilisant du plutonium comme matière fissile, atteindront la maturité industrielle à la fin de la période couverte par le présent programme indicatif.
- 2) Pour atteindre cette maturité, il est nécessaire de mettre en service au moins un prototype d'une puissance de 100 MWe vers 1972 et un ou deux prototypes de grande puissance (500 MWe ou plus) vers 1979.

6.2. Industries connexes

6.2.1. Extraction d'uranium

- 1) Les réserves d'uranium de la Communauté actuellement connues et exploitables à un prix situé entre 8 et 10 U.C./lb U_3O_8 , ne représentent que la moitié de la consommation globale estimée jusqu'à fin 1979.
- 2) Il convient par conséquent d'intensifier la prospection et, dans la mesure où celle-ci est fructueuse, de développer les installations de traitement des minerais, de raffinage et de conversion.

D'autre part, il convient que les entreprises de la Communauté s'efforcent d'acquérir des ressources propres dans les pays tiers.

6.2.2. Uranium enrichi

Les capacités actuelles de séparation isotopique dans le monde occidental paraissent suffisantes pour couvrir les besoins d'ici 1980. Toutefois, l'évolution des conditions d'approvisionnement pourrait rendre opportune une initiative, au sein de la Communauté, dans ce domaine.

6.2.3. Fabrication des éléments de combustible

- 1) Au cours de la période 1970-1979 le fonctionnement des centrales nucléaires prévues au présent programme nécessitera approximativement:
 - pour les réacteurs gaz-graphite: environ 23.000 tonnes d'uranium naturel;
 - pour les réacteurs à eau légère: environ 2.700 tonnes d'uranium naturel nécessaire aux opérations d'enrichissement;
 - pour les convertisseurs avancés (réacteurs à eau lourde): environ 4.000 tonnes d'uranium naturel ou une quantité du même ordre nécessaire aux opérations d'enrichissement.

Pour façonner ces quantités, il y a lieu de prévoir des installations de fabrication d'éléments de combustible d'une capacité assez importante pour arriver à des prix comparables à ceux qui sont pratiqués en dehors de la Communauté, c'est-à-dire:

- pour l'uranium faiblement enrichi, une capacité égale ou supérieure à 300 tonnes par an;
 - pour l'uranium naturel, une capacité minimum d'environ 1.000 tonnes par an.
- 2) La fabrication des éléments de combustible à partir des quantités de matières prévues ci-dessus implique la mise en service des capacités de production suivantes (en uranium contenu):
 - a) Pour l'uranium naturel:
 - entre 1970 et 1974, une capacité globale d'environ 1.500 t/an,
 - entre 1975 et 1979, une capacité globale d'environ 3.500 t/an, ce qui porterait la capacité globale à fin 1979 aux environs de 5.000 tonnes par an.
 - b) Pour l'uranium faiblement enrichi:
 - entre 1970 et 1974, une capacité globale d'environ 500 t/an,
 - entre 1975 et 1979, une capacité globale d'environ 700 t/an, ce qui porterait la capacité globale à fin 1979 aux environs de 1.200 tonnes par an.

6.2.4. *Retraitement des combustibles irradiés*

- 1) Il est prévu que les quantités à retraiter augmenteront d'année en année. Exprimées en uranium contenu (quelle que soit la teneur en matière fissile), elles atteindront, à fin 1979, un niveau annuel d'environ :

- 2.100 tonnes d'uranium appauvri provenant des réacteurs gaz-graphite ;
- 450 tonnes d'uranium faiblement enrichi provenant des réacteurs à eau légère ;
- 550 tonnes d'uranium appauvri provenant des convertisseurs avancés (réacteurs à eau lourde).

L'activité de retraitement des combustibles irradiés provenant des réacteurs de puissance débutera dans la Communauté avec la mise en service des usines Eurochemic pour les éléments de combustible à uranium faiblement enrichi et du Cap-de-la-Hague pour les éléments à uranium naturel.

- 2) Pour pouvoir retraiter tous les éléments à uranium faiblement enrichi qui sortiront des réacteurs prévus au présent programme, une nouvelle usine d'une capacité d'environ 450 tonnes par an devra entrer en service au plus tard vers 1975.
- 3) L'évacuation et le stockage définitif des déchets de produits de fission, récupérés lors du retraitement des combustibles irradiés, nécessiteront que soient prises en temps utile des dispositions appropriées, compte tenu toutefois de la simplification que ne manquera pas d'introduire dans ce domaine la valorisation correspondant à une utilisation à grande échelle de certaines composantes de ces déchets sous forme de sources isotopiques intenses (césium 137, strontium 90, neptunium 237, etc.).

L'activité des déchets de fission atteindra à la fin 1979 un niveau annuel d'environ :

22·10⁸ curies dans les 2.100 tonnes de combustibles provenant des réacteurs graphite-gaz,

21·10⁸ curies dans les 450 tonnes de combustibles provenant des réacteurs à eau légère,

10·10⁸ curies dans les 550 tonnes de combustibles provenant des réacteurs à eau lourde.

- 4) En relation avec les activités industrielles de retraitement, il faut s'attendre à un développement important dans le domaine du transport des matières radioactives, notamment des combustibles irradiés.

Sur base des quantités à retraiter annuellement à fin 1979, comme indiqué ci-dessus, on peut sommairement estimer à 75.000 tonnes le tonnage annuel total qu'il conviendra de transporter, inclus les augmentations de poids que nécessiteront les précautions de sécurité à prendre contre les radiations et pour le confinement des combustibles durant leur transport.

Ce tonnage annuel est à comparer aux quelque 80 millions de tonnes de charbon ou 56 millions de tonnes de fuel que l'on aurait à transporter pour assurer une production équivalente d'électricité par des centrales classiques.

6.2.5. *Fabrication d'eau lourde*

- 1) Compte tenu des mises en service prévues pour les réacteurs utilisant ce modérateur, les besoins s'élèveront à un minimum de 4.000 et à un maximum d'environ 7.000 tonnes jusqu'à fin 1979, les besoins spécifiques variant en effet, selon le type de réacteur, entre 0,5 et 0,8 tonne par MWe.
- 2) Cette évolution justifie la mise en service d'une ou plusieurs usines de production d'eau lourde pour une capacité d'environ 500 t/an au début de la période envisagée, s'élevant à environ 1.000 t/an à la fin. Ceci, bien entendu, pour autant qu'elles puissent arriver à un prix de revient au maximum égal à celui du prix de vente pratiqué sur le marché mondial.

6.3. **Tableau synthétique**

Pour plus de clarté, on peut tenter de résumer en un tableau les principales caractéristiques du programme indicatif 1970-1979.

Programme indicatif

Début 1970 — fin 1979

OBJECTIFS			INVESTISSEMENTS	
	Date (fin d'année)	Réalisations (à la date considérée)	Période (1/1—31/12)	Réalisations (par période)
1. RÉACTEURS				
a) éprouvés	1969	4.000 MWe (env. 20 centrales)	1970–1974	12–15 centrales de 500 à 1.000 MWe (10.000 MWe)
	1974	14.000 MWe (env. 35 centrales)	1975–1979	25 centrales d'environ 1.000 MWe pour la plupart (21.000 MWe)
	1979	31.000 MWe (env. 60 centrales)		
b) convertisseurs avancés	1969	200 MWe (3 prototypes)	1970–1974	2 prototypes (800 MWe) et 3 ou 4 centrales (2.000 MWe)
	1974	3.000 MWe (5 prototypes et 3 ou 4 centrales)	1975–1979	env. 6 centrales de 500 à 1.000 MWe (5.000 MWe)
	1979	8.000 MWe (5 prot. + env. 10 centrales)		
c) rapides	1972	100 MWe	1970–1974	1 prototype (100 MWe)
	1979	1.000 MWe } prototypes	1975–1979	2 prototypes (900 MWe) de 300 à 500 MWe
2. INDUSTRIES CONNEXES				
a) Production d'uranium	Période 1970–1979	Extraction et traitement global de: 27.000 tonnes d'uranium naturel	1970–1979	Installations de traitement de minerais
b) Fabrication d'éléments de combustible	Période 1970–1979	Fabrication globale de: 23.000 t U nat. pour gaz- graphite	1970–1974	- Uranium naturel: 1 usine (1.500 t/an)
		6.000 t U enrichi pour eau légère	1975–1979	- Uranium enrichi: 1 usine (500 t/an)
c) Retraitement de combus- tibles irradiés	1979	4.000 t U naturel pour eau lourde		- Uranium naturel: max. 3 usines (3.500 t/an)
		Capacité annuelle de retraite- ment 2.100 t U naturel 450 t U enrichi 550 t U nat. (pour réacteur eau lourde)	1975–1979	- Uranium enrichi: max. 2 usines (700 t/an)
d) Fabrication d'eau lourde	Période 1970–1979	Fabrication de 4.000 à 7.000 t	1970–1974	1 ou 2 usines (500 t/an)
			1975–1979	1 usine (500 t/an)

7. PERSPECTIVES POUR LA DÉCENNIE ULTÉRIEURE (1980—1989)

Il importe de donner une idée générale de l'évolution de la production d'électricité nucléaire et des investissements qu'elle implique dans la Communauté au delà de la période du programme indicatif proprement dit, ceci notamment afin de permettre que soient prises en temps voulu, c'est-à-dire en bonne partie avant 1980, les décisions nécessaires.

7.1. Centrales nucléaires

- 1) *Réacteurs éprouvés*: L'objectif est une puissance de 70.000 MWe en service à fin 1989, impliquant la construction entre 1980 et 1989 de 30 à 40 réacteurs d'environ 1.000 MWe ou davantage, pour une puissance d'environ 39.000 MWe. Toujours par hypothèse, ces réacteurs seraient également répartis entre graphite-gaz et eau légère.
- 2) *Convertisseurs avancés*: L'objectif est une puissance de 46.000 MWe en service à fin 1989, ce qui implique la construction pendant les dix années qui précèdent de 30 à 40 réacteurs d'environ 1.000 MWe ou davantage, pour une puissance d'environ 38.000 MWe.
- 3) *Surgénérateurs rapides*: L'objectif est une puissance de 19.000 MWe, ce qui implique la construction d'une vingtaine de réacteurs d'environ 1.000 MWe par unité.

7.2. Industries connexes

- 1) *Uranium*: les besoins sont estimés à environ 122.000 tonnes d'uranium naturel dont environ 31.000 tonnes seront transformées en 12.000 tonnes d'uranium faiblement enrichi.
- 2) *Séparation isotopique*: on doit envisager, pour cette période, l'installation d'une usine dans la Communauté.
- 3) *Éléments de combustible*: les besoins pour la première charge et la consommation courante seront d'environ:
50.000 tonnes d'uranium naturel pour les réacteurs gaz-graphite,
12.000 tonnes d'uranium faiblement enrichi pour les réacteurs à eau légère,
24.000 tonnes d'uranium naturel pour les convertisseurs avancés (sous réserve qu'une partie de ceux-ci ne fonctionne à l'uranium enrichi).

Dans la seconde moitié de la période 1980-1989, les installations de fabrication d'éléments à uranium faiblement enrichi devraient atteindre une capacité totale de 1.200 à 1.400 t/an, et celles pour les éléments à uranium naturel 8.000 à 10.000 t/an.

- 4) *Retraitement*: la capacité de retraitement devrait être approximativement:
 - pour les combustibles à uranium naturel:
d'environ 3.000 t/an en début de période,
d'environ 8.000 t/an en fin de période;
 - pour les combustibles à uranium enrichi:
d'environ 450 t/an en début de période,
d'environ 1.000 t/an en fin de période.

Etant donné les faibles besoins des surgénérateurs rapides, on peut admettre qu'ils seront couverts:

- par les usines de retraitement des combustibles à uranium naturel pour ce qui concerne les couvertures (80 t/an à fin 1989),

- par les usines de retraitement des combustibles à uranium enrichi pour ce qui concerne le cœur (40 t/an à fin 1989).

La mise en service d'une première installation de retraitement de combustibles à uranium enrichi d'une capacité d'environ 450 t/an sera nécessaire en début de période. Elle devra être complétée en fin de période par une seconde usine, de même capacité. Il faudra décider en outre, pendant la période, la construction de deux usines de 2.500 t/an pour retraiter les éléments à uranium naturel.

- 5) *Eau lourde*: une capacité de production de 2.000 à 4.000 t/an sera nécessaire. Elle pourrait se répartir au maximum sur deux usines.

8. CONCLUSIONS

Cette vue d'ensemble des objectifs communautaires à atteindre et des investissements qui les conditionnent constitue l'esquisse d'un programme indicatif au sens de l'article 40 du traité d'Euratom.

Pour déterminer cette évolution prévisible, il a été tenu compte, dans la mesure du possible, des difficultés à surmonter, des choix à opérer, des variantes éventuelles, ainsi que des incertitudes que comporte toute prévision et qui sont d'ailleurs variables selon l'éloignement de la période envisagée.

La nécessité du relais nucléaire n'est plus contestée et ni l'ampleur, ni l'urgence de son intervention dans la consommation globale d'énergie ne doivent plus être démontrées. Il en résulte que les objectifs et les investissements indiqués ci-dessus constituent le minimum indispensable.

On ne peut néanmoins espérer que le développement nucléaire de la Communauté s'effectue spontanément sous l'effet de la concurrence dans le marché commun. La création d'industries complexes basées sur des techniques nouvelles est aléatoire, tout autant que les travaux de recherche et de mise au point nécessaires. Les risques et les charges très lourdes qui doivent être assumées imposent, d'une part, un effort de coopération et de concentration industrielle, d'autre part, surtout dans la phase de transition, une action concertée des pouvoirs publics et de l'industrie selon un programme qui rencontre l'accord des parties intéressées.

Dans la mesure où le programme esquissé ci-dessus fera l'objet d'un tel accord, la Commission d'Euratom est décidée, pour ce qui la concerne, à faire tout ce qui est en son pouvoir pour aboutir à sa réalisation. Elle se propose notamment d'énoncer et de mettre en œuvre la politique industrielle la plus appropriée aux objectifs à atteindre.

ANNEXE

TABLEAU I

Évolution de la puissance installée par catégorie de réacteurs

Année au 1 ^{er} janvier	Graphite-gaz		Eau légère		Convertisseurs avancés (eau lourde)		Surgénérateurs		Total MWe
	MWe	%	MWe	%	MWe	%	MWe	%	
A. Programme indicatif									
1970	2.000	50	1.800	45	200	5			4.000
1975	7.000	41	7.000	41	3.000	18			17.000
1980	15.500	39	15.500	39	8.000	20	1.000	2	40.000
B. Perspectives à long terme									
1985	27.000	34,5	27.000	34,5	18.000	23	6.000	8	78.000
1990	35.000	26	35.000	26	46.000	34	19.000	14	135.000
1995	35.000	15,5	35.000	15,5	96.000	43	60.000	26	226.000
2000	35.000	9,5	35.000	9,5	115.000	31	185.000	50	370.000

TABLEAU II

Production annuelle d'électricité nucléaire par catégorie de réacteurs

(en milliards de kWh)

Année	Graphite-gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	Surgénérateurs	Production nucléaire globale
<i>A. Programme indicatif</i>					
1970	14	12,6	1,4	—	28
1975	49	49	21	—	119
1980	108,5	108,5	56	7	280
<i>B. Perspectives à long terme</i>					
1985	185	185	126	42	538
1990	231,5	231,5	322	133	918
1995	208	208	667	420	1.503
2000	163	163	785	1.295	2.406

TABLEAU III

Besoins en uranium naturel ⁽¹⁾
(Y compris les quantités nécessaires pour l'enrichissement ⁽²⁾)

(en 10³ tonnes d'uranium métal contenu)

Période		Besoins par période			Besoins totaux cumulés
Début: 1 ^{er} janvier	Fin: 31 décembre	Graphite-gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	
<i>A. Programme indicatif</i>					
1970	1974	7	9	1	17
1975	1979	16	18	3	54
<i>B. Perspectives à long terme</i>					
1980	1989	50	48	24	176
1990	1999	42	31	83	332

⁽¹⁾ Première charge et consommation.⁽²⁾ Dans l'hypothèse où les convertisseurs avancés sont du type à eau lourde.

TABLEAU IV

Besoins cumulés en uranium enrichi ⁽¹⁾

(en 10³ tonnes d'uranium naturel métal)

Période		Quantités	
Début: 1 ^{er} janvier	Fin: 31 décembre	Par période	Cumulées
<i>A. Programme indicatif</i>			
1970	1974	9 à 10	9 à 10
1975	1979	18 à 22	27 à 32
<i>B. Perspectives à long terme</i>			
1980	1989	48 à 75	75 à 107
1990	1999	31 à 138	106 à 245

⁽¹⁾ Les degrés d'enrichissement envisagés diffèrent selon la période. Les convertisseurs avancés sont alimentés à l'uranium naturel; toutefois, une variante prévoit l'alimentation de ces réacteurs en uranium faiblement enrichi, d'où la fourchette d'évaluation des quantités indiquées dans le tableau.

TABLEAU V

Production de plutonium dans les réacteurs éprouvés et dans les convertisseurs avancés ⁽¹⁾

(en tonnes de plutonium, composition isotopique moyenne)

Période		Graphite-gaz		Eau légère		Convertisseurs avancés (eau lourde)		Total cumulé en fin de période
Début: 1 ^{er} janvier	Fin: 31 décembre	par période	cumulé fin de période	par période	cumulé fin de période	par période	cumulés fin de période	
A. Programme indicatif								
1970	1974	9	9	6	6	2	2	17
1975	1979	24	33	16	22	10	12	67
B. Perspectives à long terme								
1980	1984	41	74	27	49	23	35	158
1985	1989	62	136	41	90	57	92	318
1990	1994	63	199	38	128	125	217	544
1995	1999	54	253	33	161	201	418	832

⁽¹⁾ Quantités théoriquement récupérables dans les combustibles irradiés.

TABLEAU VI

Besoins de capacités de retraitement par catégories de réacteurs ⁽¹⁾

(en tonnes par an)

Année	Graphite-gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	Surgénérateurs	
				Cœur	Couverture
A. Programme indicatif					
1970	250	60	—	—	—
1975	910	160	140	—	—
1980	2.100	450	550	—	—
B. Perspectives à long terme					
1985	3.300	700	1.200	16	34
1990	4.800	1.000	3.000	50	100
1995	4.400	1.000	5.300	80	200
2000	4.000	900	8.000	250	600

⁽¹⁾ On a admis que, par rapport à la date de mise en service de la puissance électrique, les besoins de retraitement interviennent avec un retard de:

- 2 ans pour le graphite-gaz, l'eau lourde, le cœur et les couvertures axiales des surgénérateurs;
- 3 ans pour l'eau légère et les couvertures radiales des surgénérateurs.

TABLEAU VII

Investissements pour les centrales nucléaires

Valeurs absolues cumulées de 1970 à la fin de chacune des années considérées

(en milliards d'unités de compte)

Année	Graphite-gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	Surgénérateurs	Total ⁽¹⁾
<i>A. Programme indicatif</i>					
1974	1,0	0,8	0,5	—	2,3
1979	2,7	2,2	1,4	0,2	6,5
<i>B. Perspectives à long terme</i>					
1984	4,6	3,7	3,1	1,2	12,6
1989	6,0	4,8	7,9	3,5	22,2
1994	6,0	4,8	15,9	10,1	36,8
1999	6,0	4,8	18,9	30,1	59,8

⁽¹⁾ En raison des arrondissements, les montants de la colonne «Total» peuvent ne pas correspondre à la somme des chiffres des diverses colonnes.

TABLEAU VIII

Coût global de la production d'électricité nucléaire

Valeurs absolues cumulées de 1970 à la fin de chacune des années considérées

(en milliards d'unités de compte)

Année	Frais de premier établissement	Coût du combustible	Exploitation et entretien	Total ⁽¹⁾
<i>A. Programme indicatif</i>				
1974	2,3	0,5	0,1	2,9
1979	6,5	1,9	0,5	9,—
<i>B. Perspectives à long terme</i>				
1984	12,6	4,4	1,5	18,5
1989	22,2	8,6	3,3	34,1
1994	36,8	14,5	6,1	57,4
1999	59,8	22,4	10,8	93,—

⁽¹⁾ Montants arrondis.

