

COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

---

SYMPOSIUM SUR L'ORIENTATION A LONG TERME DU DEVELOPPEMENT  
DE L'ENERGIE NUCLEAIRE DANS LA COMMUNAUTE EUROPEENE

---

Venise 12-14 avril 1965

PREMIER PROGRAMME INDICATIF

POUR LA COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

---

LA COMMISSION

COMMUNAUTE EUROPEENNE  
DE L'ENERGIE ATOMIQUE

-----  
E U R A T O M

-----  
La Commission

-----  
Direction Générale  
Industrie & Economie  
-----

Bruxelles, le 14 Mai 1965  
RS/mpc

A V E R T I S S E M E N T

Les documents ci-joints sont des projets. Ils font, pour l'instant, l'objet d'une révision.

Des modifications seront ou pourraient être apportées :

- aux prévisions de demande d'électricité,
- aux prévisions de production d'électricité à partir des différentes sources et, en particulier, de l'énergie nucléaire,
- aux perspectives d'évolution des prix des combustibles fossiles.

En outre, les indications techniques et économiques relatives aux différentes filières de réacteur sont destinées à être complétées sur base des dernières informations reçues ou attendues.

Ces modifications entraînent des corrections dans divers endroits des documents 1000 et 4000.

COMMUNAUTE EUROPEENNE  
DE L'ENERGIE ATOMIQUE

Bruxelles, mars 1965

-----  
E U R A T O M

-----  
La Commission  
-----

PREMIER PROGRAMME INDICATIF

POUR LA COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. BUT ET PORTEE DU RAPPORT	1
1.1. But général .....	1
1.2. Domaine d'application .....	1
1.3. Portée chronologique .....	2
1.4. Document de référence .....	3
2. CRITERES POUR L'ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME	4
2.1. Les objectifs de la politique énergétique .....	4
2.2. L'approvisionnement à bon marché .....	4
2.3. La sécurité de l'approvisionnement .....	5
2.4. L'utilisation optimum des réserves .....	6
2.5. Autres objectifs énergétiques .....	6
2.6. Le développement des industries nucléaires .....	7
3. OBJECTIFS DU PROGRAMME	7
3.1. Puissance et production électrique nucléaire .....	7
3.2. Justification de ces objectifs .....	9
4. CHOIX D'UN MODELE D'EVOLUTION DES TECHNIQUES NUCLEAIRES .....	13
4.1. Influence de l'évolution antérieure et de la situation actuelle .....	13
4.2. Analyse des diverses évolutions possibles .....	14
4.3. Choix et justification .....	20
5. PROGRAMME D'ORIENTATION A LONG TERME	21
5.1. Investissements .....	21
5.2. Facteurs d'incertitude et variantes possibles .....	23
6. PROGRAMME INDICATIF A MOYEN TERME	24
6.1. Centrales nucléaires .....	24
6.2. Industries connexes .....	25
6.3. Tableau synthétique .....	27
7. ESQUISSE DE L'ETAPE ULTERIEURE	29
7.1. Réacteurs .....	29
7.2. Industries connexes .....	29
8. CONCLUSIONS	30

## 1. BUT ET PORTEE DU RAPPORT

### 1.1. BUT GENERAL

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 constitue le premier projet d'un tel programme indicatif. Maintenant que l'énergie nucléaire entre dans sa phase industrielle, il devient en effet possible non seulement de 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 "Energie", aux travaux duquel participent la Haute Autorité de la CECA, la Commission de la CEE 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. PORTEE 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 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 les 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 dans le 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 immanquablement 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. De toute manière, les objectifs de production d'énergie nucléaire et les investissements qu'ils impliquent pourront être revus et modifiés lorsque la nécessité s'en fera sentir.

#### 1.4. DOCUMENT DE REFERENCE

Les études effectuées et la documentation recueillie en vue d'établir le présent rapport sont repris dans une annexe documentaire publiée séparément sous le titre: "Situation et perspectives de l'énergie nucléaire dans la Communauté européenne."

On se référera utilement à ce rapport pour une analyse plus approfondie des éléments qui ont été pris en considération en vue d'élaborer ce programme.

## 2. CRITERES POUR L'ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME

### 2.1. LES OBJECTIFS DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE

Le protocole d'accord relatif aux problèmes énergétiques, conclu entre les gouvernements des Etats 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.

### 2.2. L'APPROVISIONNEMENT A 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 des 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 d'énergie nucléaire.

### 2.3. LA SECURITE DE L'APPROVISIONNEMENT

La sécurité de l'approvisionnement occupe le second rang parmi les objectifs 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, 50 % des besoins d'énergie primaire seront probablement 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. En effet, 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 et d'améliorer la balance des comptes. 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.

#### 2.4. L'UTILISATION OPTIMUM DES RESERVES

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 Etats-Unis seront épuisées dans un à deux siècles et qu'il y a là une raison majeure de recourir massivement et dès que possible à l'énergie nucléaire.

Ce qui vaut pour les Etats-Unis, qui disposent de vastes sources d'énergie et dont les réserves de combustibles fossiles représentent 25 à 30 % du total mondial alors que leur consommation atteint 40 % des besoins mondiaux d'énergie, s'applique certainement davantage à la Communauté dont la situation en matière d'approvisionnement et de stocks est beaucoup moins favorable. La Communauté ne dispose en effet que d'environ 6 % des réserves mondiales d'énergie alors qu'elle participe à raison de 10 % environ à la consommation mondiale.

#### 2.5. AUTRES OBJECTIFS ENERGETIQUES

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 environ tripler entre 1960 et 1975, 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'enlever 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.

## 2.6. LE DEVELOPPEMENT DES INDUSTRIES NUCLEAIRES

Les capacités industrielles nécessaires à la construction des centrales nucléaires et à leur approvisionnement régulier ne sont pas encore entièrement disponibles dans la Communauté. Aussi, et bien que l'énergie nucléaire promette d'améliorer la balance du commerce extérieur, le solde des échanges de produits et équipements nucléaires sera certainement encore déficitaire pendant quelque temps.

La sécurité d'approvisionnement ne concerne pas uniquement les combustibles mais réside certainement aussi dans la capacité de construire les installations requises pour la production d'énergie. Aussi, sans pour autant renoncer à des échanges mutuellement profitables et aux occasions d'exportation qui en résulteront, la Communauté doit-elle s'efforcer d'acquérir et d'élargir la capacité industrielle et les connaissances nécessaires à la construction, l'approvisionnement et l'exploitation des centrales nucléaires. La création d'une puissante industrie nucléaire dans la Communauté, qui est d'ailleurs prévue par le Traité d'Euratom, sera donc un des objectifs du programme indicatif.

La motivation et les modalités de réalisation d'un tel objectif sont examinées dans le document intitulé "Eléments d'une politique industrielle liée au développement nucléaire dans la Communauté."

## 3. OBJECTIFS DU PROGRAMME

### 3.1. PUISSANCE ET PRODUCTION ELECTRIQUE NUCLEAIRE

L'évolution de la consommation brute d'électricité dans la Communauté a été évaluée en prolongeant, selon un rythme de croissance légèrement affaibli les prévisions établies, jusqu'en 1975, dans l'Etude sur les perspectives énergétiques à long terme de la Communauté européenne.

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

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

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

<u>1960</u>	<u>1965</u>	<u>1970</u>	<u>1975</u>	<u>1980</u>	<u>1990</u>	<u>2000</u>
285	409	574	789	1080	1930	3450

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. Les chiffres retenus sont identiques à ceux que prévoyait, jusqu'en 1975, l'Etude 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 de 1980 à la fin du siècle on a estimé, à titre d'hypothèse de travail, que deux tiers des nouvelles centrales thermiques utilisant des combustibles "non-privilegiés" \*) seraient nucléaires. Ceci constitue très certainement une hypothèse minimum. En effet, étant donné la maturité technique accomplie des centrales nucléaires à cette époque et leur avantage économique sur des centrales classiques dont les combustibles ne peuvent guère qu'augmenter de prix, il ne serait pas déraisonnable d'envisager qu'après 1980 la totalité des nouvelles centrales thermiques "non-privilegiées" 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 à la moitié de la production électrique globale et atteindrait environ le quart de la consommation totale d'énergie dans la Communauté.

---

\*) En matière de production électrique, on entend par "combustibles non-privilegiés" 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 "privilegiés". 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.

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 1er janvier (en MWe)	Durée annuelle d'utilisation (en heures)	Production annuelle (en 10 <sup>9</sup> kWh)	Quantités produites cumulées (en 10 <sup>9</sup> kWh)
<u>A. Programme indicatif</u>				
1970	3.700	6.000	22	--
1975	12.000	6.000	72	200
1980	40.000	6.000	240	1.000
<u>B. Orientation à long terme</u>				
1985	75.000	5.750	430	2.500
1990	140.000	5.500	770	5.000
1995	228.000	5.250	1.200	10.000
2000	370.000	5.000	1.850	17.000

La production cumulée d'électricité nucléaire jusqu'à la fin du siècle peut être estimée à environ 17.000 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 34.000 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 environ 50 %. Les perspectives d'approvisionnement de la Communauté en énergie primaire se présentent en effet comme suit pour cette année :

Production indigène :

- Houille . . . . .	30 %
- Lignite . . . . .	5 %
- Autres énergies primaires . . . . .	12 %

T o t a l 47 %

Importations :

- Houille, coke et lignite . . . . .	5 %
- Pétrole brut du Moyen-Orient . . . . .	28 %
- Pétrole brut d'Algérie et de Libye . . . . .	10 %
- Autres . . . . .	10 %

T o t a l 53 %

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 un quart des besoins globaux en énergie, une évaluation très optimiste de l'apport des autres sources d'énergie produites dans la Communauté, la situation de l'approvisionnement se caractérisera encore, en l'an 2000, par la nécessité d'un recours à l'importation nettement supérieur à 50 %.

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. Economies réalisées par le recours aux centrales nucléaires

Afin de mieux apprécier l'incidence de l'énergie nucléaire, on comparera la coût total de l'électricité produite par des installations nucléaires selon les techniques déjà éprouvées à celui de la production dans des centrales thermiques classiques, avec un programme identique de mise en service.

Le coût global des combustibles utilisés dans les centrales classiques est basé sur un prix inchangé au cours de toute la période, soit 13,50 unités de compte par tonne d'équivalent - charbon. Ce prix de référence se justifie par les indications de prix suivantes, variables dans la Communauté à fin 1964 ou début 1965.

Charbon communautaire (fines lavées)

prix de liste : 14,59 à 18,24 u.c./t, dont Ruhr : 16,68 u.c./t

Charbon importé : 13,- à 14,- u.c./tec cif.

Fuel lourd : 16,- à 20,- u.c./t, soit 11,-- à 14,- u.c./tec.

Le prix de 13,50 u.c./tec correspond donc à peu près au prix actuel des charbons américains cif ports européens et se situe entre le prix actuel du fuel-oil et celui du charbon extrait dans les pays de la Communauté. Le prix des combustibles fossiles ne pouvant guère qu'augmenter vu la croissance rapide de la demande et l'épuisement progressif des meilleurs gisements, la base de comparaison choisie ne prête pas à critiques.

Nous n'avons retenu pour la comparaison que les centrales thermiques classiques fonctionnant au charbon et au fuel-oil. Les autres sources d'énergie employées pour la production d'électricité sont relativement limitées en quantité et ne sauraient couvrir le déficit résultant de l'absence des centrales nucléaires. Rappelons, en effet, que la production envisagée de 17.000 milliards de kWh d'ici la fin du siècle et de 34.000 milliards de kWh après cette date, soit globalement quelque 50.000 milliards de kWh, représente environ 140 fois la production d'électricité dans la Communauté en 1964.

A prix constant, au niveau de 1963, la comparaison donne les résultats suivants :

Dépenses pour la production prévue d'énergie nucléaire et pour une production analogue, exclusivement classique. Période 1970 - 2000 et au-delà (1) (en milliards d'unités de compte AME)			
	Classique (2)	Nucléaire	Différence : économie (-) ou frais supplémentaires(+)
Frais totaux de premier établissement	37	57	+ 20
Coût de combustible (3)	197	78	- 119
Entretien et exploitation	<u>27</u>	<u>33</u>	<u>+ 6</u>
<u>Coût global :</u>			
-en valeur absolue	261	168	- 93
-en valeur actualisée au taux de 4 % (4)	78	55	- 23

(1) On admet par hypothèse que les centrales existant le 1.1.2000 fonctionneront jusqu'au terme de leur durée de vie estimée à 30 années et seront utilisées, à partir de l'an 2000, en moyenne 4.500 heures par an.

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

(3) Une différence en plus ou en moins d'une unité de compte par tonne d'équivalent charbon, par rapport au prix de 13,5, adopté comme référence entraînerait un accroissement ou une réduction d'environ 15 milliards d'unités de compte dans le coût du combustible et dans le coût global en valeur absolue. En valeur actualisée l'incidence serait d'environ 4,4 milliards.

(4) Taux d'actualisation à long terme, à valeur constante de la monnaie.

L'économie qu'entraîne le recours à l'énergie nucléaire s'élève donc :

- en valeur absolue . . . . . à 36 %
- en valeur actualisée . . . . . à 30 %

### 3.2.3. Caractère minimaliste des objectifs retenus.

Les objectifs choisis doivent donc 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.

Il ne serait, par exemple, pas impensable, que l'énergie nucléaire prenne, à partir de 1980 ou 1990, la totalité de l'accroissement du parc thermique classique. On aurait, dans ce cas plus de 500 000 MWe nucléaires en l'an 2000 et une production qui représenterait environ les deux tiers de la production électrique et largement plus d'un tiers des besoins globaux de la Communauté en énergie.

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'affaire 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 oeuvre.

## 4. CHOIX D'UN MODELE D'EVOLUTION DES TECHNIQUES NUCLEAIRES

### 4.1. INFLUENCE DE L'EVOLUTION ANTERIEURE 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 EVOLUTIONS 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. Les réacteurs éprouvés cessent de se développer au moment où ils représentent la moitié de la puissance nucléaire installée, soit aux environs de 1990. Quant aux convertisseurs avancés leur rôle continue à s'accroître jusque vers l'an 2000. A ce moment 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 sont les seuls qui puissent fonctionner à l'uranium naturel et sont ceux qui nécessitent les moindres quantités d'uranium;
- les réacteurs à gaz à haute température offrent des promesses intéressantes dans les domaines du rendement thermodynamique et de la sur-génération.

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 et plus sûres 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 jusqu'à la fin du siècle, le modèle II suppose aussi implicitement que les sur-générateurs 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 un obstacle 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 140.000 tonnes c'est-à-dire que les besoins sont réduits d'environ 26 %.
- De moindres besoins en uranium enrichi : cette économie correspond à environ 130.000 tonnes d'uranium naturel, c'est-à-dire que les besoins sont réduits d'environ 42 %, ceci pour autant que les réacteurs à eau lourde soient, comme il est généralement prévu, 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 sur-générateurs rapides, être utilisé de la manière qui est 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) Le développement des réacteurs à haute température présente certaines incertitudes quant aux perspectives technologiques. Elles semblent un peu plus grandes que pour les réacteurs à eau lourde, mais il est impossible de dire si elles sont plus graves ou moins graves que celles liées au développement des surgénérateurs rapides.

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'Energie 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.

Les quantités de plutonium produites dans les réacteurs installés ainsi que les besoins de plutonium 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 d'un peu plus de la moitié; relativement au modèle "réacteurs éprouvés - réacteurs à eau lourde", les besoins sont réduits d'environ 32 %.
- 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 d'environ 46 % . 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 a priori exclure un retard dans le développement des réacteurs rapides, ce qui reviendrait à limiter plus longtemps le programme aux réacteurs éprouvés et aux 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 l'adaptabilité 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, laquelle constituerait éventuellement une solution de rechange en cas de retard des surgénérateurs rapides. 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.

En effet ce modèle présente les avantages suivants :

- 1) Il est le plus conforme à la situation industrielle actuelle ainsi qu'aux efforts de recherche et de 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, du programme "ORGEL" et du programme "DRAGON" ainsi que 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.

- 2) Il entraîne le coût global minimum, c'est-à-dire le montant minimum des dépenses nécessaires à la construction et au fonctionnement des installations nucléaires requises pour produire les quantités prévues d'électricité.
- 3) Il exige les moindres besoins de 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 15.000 et 35.000 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 limité 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 le seul moyen d'y puiser la satisfaction des besoins mondiaux en énergie pendant une très longue période.

- 4) En conclusion de ce qui précède, le modèle retenu est donc celui qui met la Communauté, au terme de la période envisagée, dans la meilleure position pour aborder l'avenir plus lointain, à la fois sous l'angle de la production d'énergie et en fonction du développement industriel.

## 5. PROGRAMME D'ORIENTATION A 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, de réacteurs

à eau légère et de 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 43.000 tonnes pour la période 1970 - 1979 et à environ 109.000 tonnes pour la décennie suivante. Globalement ils atteignent environ 281.000 tonnes jusqu'en 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, à l'heure actuelle, difficiles à déterminer. 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, 17 et 37 milliards d'unités de compte AME, soit environ 60 milliards pour l'ensemble de la période. Quant au coût global de la production d'électricité nucléaire, il s'élève à un peu moins de 90 milliards d'unités de compte pour toute la période 1970 - 1999. Comme la production d'électricité sur cette période devrait atteindre quelque 17 000 milliards de kWh, le coût moyen du kWh à prix constant serait donc d'environ 5 mills (millième d'unité de compte AME ou de US dollar).

## 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'uranium 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 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. PROGRAMME INDICATIF A MOYEN TERME

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

### 6.1. CENTRALES NUCLEAIRES

#### 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 11.000 MWe à fin 1974 et 34.000 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 1000 MWe et dont la mise en service s'étagerait comme suit :

- entre 1970 et 1974 : mise en service de dix à douze centrales, pour une puissance totale de 7.000 MWe;
  - entre 1975 et 1979 : mise en service de vingt-cinq à trente centrales pour une puissance totale de 23.000 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 7.500 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 1000 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 5.000 MWe à la fin de l'année 1979.

Cet objectif implique tout d'abord la réalisation de deux ou trois réacteurs prototypes de 200 ou 300 MWe entre 1970 et 1974. 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 quinquennale en cause. Ensuite, il faudra mettre en service entre 1975 et 1979, une demi-douzaine de centrales équipées de convertisseurs avancés, principalement à eau lourde, de puissance unitaire élevée (500 à 1000 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 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  $U_2O_8$ , 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 18.000 tonnes d'uranium naturel;
- pour les réacteurs à eau légère : environ 5.000 tonnes d'uranium légèrement enrichi;
- pour les convertisseurs avancés : environ 1.000 tonnes d'uranium naturel.  
(réacteurs à eau lourde)

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 1000 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 :

a) pour l'uranium naturel :

- entre 1970 et 1974 une capacité globale d'environ 1.000 t/a,
- entre 1975 et 1979 une capacité globale d'environ 3.000 t/a, ce qui porterait la capacité globale à fin 1979 aux environs de 4.000 tonnes par an.

b) pour l'uranium faiblement enrichi :

- entre 1970 et 1974 une capacité globale d'environ 300 t/a,
- entre 1975 et 1979 une capacité globale d'environ 700 t/a, ce qui porterait la capacité globale à fin 1979 aux environs de 1.000 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 elles atteindront, à fin 1979, un niveau annuel d'environ :

1.720 tonnes d'uranium naturel provenant des réacteurs gaz-graphite;

350 tonnes d'uranium faiblement enrichi provenant des réacteurs à eau légère;

230 tonnes d'uranium naturel contenu 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 400 tonnes par an devra entrer en service à partir du moment où l'on aura plus de 4.000 MWe de réacteurs à eau légère, c'est-à-dire vers 1974.

#### 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 1.500 et à un maximum d'environ 4.000 tonnes jusqu'à fin 1979, les besoins spécifiques variant en effet, selon le type de réacteur entre 0,3 et 0,8 tonnes par MWe.
- 2) Cette évolution pourrait justifier la mise en service vers 1972 d'une usine d'une capacité d'environ 200 t/a, pour autant qu'elle puisse arriver à un prix de revient voisin 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/I-31/XII)	Réalisations (par période)
<b>1. REACTEURS</b>				
a) éprouvés	1969	4000 MWe (env. 20 centrales)	1970 - 1974	10-12 centrales (7.000 MWe) de 500 à 1000 MWe
	1974	11 000 MWe (env. 30 centrales)	1975 - 1979	25-30 centrales (23000 MWe) de ± 1000 MWe
	1979	34 000 MWe (env. 60 centrales)		
b) conver- tisseurs avancés	1969	200 MWe (3 prototypes)	1970 - 1974	2 prototypes (800 MWe)
	1974	1000 MWe (5 prototypes)	1975 - 1979	
	1979	5000 MWe (id. + env.6 centr.)		env. 6 centrales (4000 MWe) de 500 à 1000 MWe
c) rapides	1972	100 MWe)	1970- 1974	1 prototype (100 MWe)
	1979	1000 MWe) prototypes	1975 - 1979	2 " s(900 MWe) de 300 à 500 MWe
<b>2. INDUSTRIES CONNEXES</b>				
a) Produc- tion d'ura- nium	période 1970 - 1979	Extraction et traite- ment global de : 19.000 tonnes d'ura- nium naturel	1970 - 1979	Installations de traitement de mine- rais
b) Fabri- cation d'élé- ments de com- bustible	période 1970-1979	Fabrication globale de : 18.000 tU nat. pour gaz-graphite  5.000 tU en- richi pour eau légère  1.000 t U.nat. pour eau lourde	1970 - 1974   1975 - 1979	(- Uranium naturel : ( 1 usine ( ( 1000 t/a) (- Uranium enrichi : ( 1 usine ( ( 300 t/a)  (- Uranium naturel : ( max. 3 usines ( (3000 t/a) (- Uranium enrichi : ( max. 2 usines ( ( 700 t/a)
c) Retraite- ment de combus- tibles irradiés	1979	Capacité annuelle de retraitement 1.720 t U nat. 350 t U enrichi 230 t U nat.(pour réact. eau lourde)	1970 - 1974 (plutôt 1974)	Uranium enrichi 1 usine (400 t/a)
d) Fabrica- tion d'eau lourde	période 1970-1979	Fabrication de 1500 à 4000 t	1970 - 1974 (plutôt 1972)	1 usine (200 t/a)

## 7. ESQUISSE DE L'ETAPE ULTERIEURE (Période 1980 - 1989)

Il importe de donner une idée générale de l'évolution de la production d'électricité nucléaire et des investissements qu'elles 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. REACTEURS

- 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 1000 MWe chacun, pour une puissance d'environ 36.000 MWe. Toujours par hypothèse, ces réacteurs seraient également répartis entre graphite-gaz et eau légère.
- 2) Convertisseurs avancés : L'objectif est une puissance de 51.000 MWe en service à fin 1989, ce qui implique la construction pendant les dix années qui précèdent de 40 à 50 réacteurs d'environ 1000 MWe chacun, pour une puissance d'environ 46.000 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 1000 MWe par unité.

### 7.2. INDUSTRIES CONNEXES

- 1) Uranium : les besoins sont estimés à environ 109.000 tonnes d'uranium naturel et environ 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) Eléments de combustible : Les besoins pour la première charge et la consommation courante seront d'environ :

42.000	tonnes d'uranium naturel pour les réacteurs gaz-graphite
12.000	tonnes d'uranium faiblement enrichi pour les réacteurs à eau légère,
11.000	tonnes d'uranium naturel pour les convertisseurs avancés (sous réserve qu'une partie de ceux-ci ne fonctionne à l'uranium enrichi).

Les installations de fabrication d'éléments à uranium faiblement enrichi devraient avoir une capacité de 1000 à 1200 t/a, et

celles pour les éléments à uranium naturel d'environ 2.000 t/a.

4) Retraitement : La capacité de retraitement devrait être approximativement :

- pour les combustibles à uranium naturel :  
d'environ 2.000 t/a en début de période  
d'environ 6.000 t/a en fin de période
- pour les combustibles à uranium enrichi :  
d'environ 400 t/a en début de période  
d'environ 800 t/a 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 coeur (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 400 t/a 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 2.000 t/a pour retraiter les éléments à uranium naturel.

5) Eau lourde : Une capacité de production de 2.000 à 4000 t/a 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 oeuvre la politique industrielle la plus appropriée aux objectifs à atteindre.

Tableau I

<u>EVOLUTION DE LA PUISSANCE INSTALLEE</u>									
<u>PAR CATEGORIE DE REACTEURS</u>									
Année au 1er janv.	Graphite-Gaz		Eau légère		Convertisseurs avancés (eau lourde)		Surgénérateurs		Total MWe
	MWe	%	MWe	%	MWe	%	MWe	%	
<u>A. Programme indicatif</u>									
1970	2.000	56	1.500	40	200	4			3.700
1975	5.500	46	5.000	42	1.500	12			12.000
1980	17.000	42,5	17.000	42,5	5.000	12,5	1.000	2,5	40.000
<u>B. Orientation à long terme</u>									
1985	25.000	33,5	25.000	33,5	19.000	25	6.000	8	75.000
1990	35.000	25	35.000	25	51.000	36	19.000	14	140.000
1995	35.000	15,5	35.000	15,5	98.000	43	60.000	26	228.000
2000	35.000	9,5	35.000	9,5	115.000	31	185.000	50	370.000

Tableau II

<u>PRODUCTION ANNUELLE D'ELECTRICITE NUCLEAIRE</u>					
<u>PAR CATEGORIE DE REACTEURS</u>					
- en milliards de kWh -					
Année	Graphite- gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	Surgéné- rateurs	Production nucléaire globale
<u>A Programme indicatif</u>					
1970	12	9	1	-	22
1975	33	30	9	-	72
1980	102	102	30	6	240
<u>B. Orientation à long terme</u>					
1985	144	144	109	34	431
1990	193	193	280	104	770
1995	184	184	514	315	1197
2000	175	175	575	925	1850

Tableau III

BESOINS EN URANIUM NATUREL<sup>+</sup>)

(y compris les quantités nécessaires pour l'enrichissement <sup>++</sup>)  
- en 10<sup>3</sup> tonnes d'uranium métal contenu -

Période		Besoins par période			Besoins totaux cumulés
Début 1 <sup>er</sup> janvier	Fin : 31 déc.	Graphite-Gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	
<u>A. Programme indicatif</u>					
1970	1974	4	5	0,4	~ 9 43
1975	1979	14	19	1,0	
<u>B. Orientation à long terme</u>					
1980	1989	42	56	11	152 281
1990	1999	32	57	4	

+ ) Première charge et consommation

++ ) Dans l'hypothèse où les convertisseurs avancés sont du type à eau lourde.

Tableau IV

BESOINS CUMULES EN URANIUM ENRICHIT<sup>+</sup>)

- en 10<sup>3</sup> tonnes -

Période		Quantités	
Début 1 <sup>er</sup> janvier	Fin : 31 décembre	Par période	Cumulées
<u>A. Programme indicatif</u>			
1970	1974	1	1
1975	1979	4	5
<u>B. Orientation à long terme</u>			
1980	1989	12	17
1990	1999	12	29

+ ) Le degré d'enrichissement envisagé diffère selon la période. En outre ce tableau repose sur l'hypothèse que les convertisseurs avancés sont du type à eau lourde et uranium naturel.

Tableau V

<u>PRODUCTION DE PLUTONIUM DANS LES REACTEURS EPROUVES ET</u> <u>DANS LES CONVERTISSEURS AVANCES (+)</u> en tonnes de plutonium (composition isotopique moyenne)								
Période Début : Fin : 1 janvier 31 déc.	Graphite-Gaz		Eau légère		Convertisseurs avancés (eau lourde)		Total cu- mulé en fin de période	
	par période	cumulé fin de période	par période	cumulé fin de période	par période	cumulé fin de période		
<b>A. Programme indicatif</b>								
1970	1974	5	5	2	2	0,5	0,5	~7
1975	1979	15	20	8	10	4	~4	34
<b>B. Orientation à long terme</b>								
1980	1984	32	52	19	29	13	17	98
1985	1989	46	98	28	57	39	56	211
1990	1994	54	152	34	91	89	145	388
1995	1999	51	203	32	123	86	231	557

(+) Quantités théoriquement récupérables dans les combustibles irradiés.

Tableau VI

<u>BESOINS DE CAPACITES DE RETRAITEMENT</u> <u>PAR CATEGORIES DE REACTEURS +)</u> - en tonnes par an -					
Année	Graphite-Gaz	Eau légère	Convertisseurs avancés (eau lourde)	Surgénérateurs	
				Coeur	Couverture
<b>A. Programme indicatif</b>					
1970	150	20	-	-	-
1975	550	100	80	-	-
1980	1720	350	230	-	-
<b>B. Orientation à long terme</b>					
1985	2700	550	910	10	30
1990	3940	800	2400	40	80
1995	3940	800	5070	120	240
2000	3940	800	7040	360	730

+) 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 coeur et les couvertures axiales des surgénérateurs,
- 3 ans pour l'eau légère et les couvertures radiales des surgénérateurs.

Tableau VII

<u>INVESTISSEMENTS POUR LES CENTRALES NUCLEAIRES</u>					
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)	Surgéné- rateurs	Total *)
<u>A. Programme indicatif</u>					
1974	0,7	0,6	0,2	-	1,5
1979	3,0	2,5	0,8	0,2	6,6
<u>B. Orientation à long terme</u>					
1984	4,4	3,6	3,3	1,2	12,5
1989	6,1	4,9	8,7	3,8	23,5
1994	6,1	4,9	16,2	10,3	37,5
1999	6,1	4,9	18,9	30,3	60,2

\*) En raison des arrondissements, les montants de la colonne "Total" peuvent ne pas correspondre à la somme des chiffres des diverses colonnes.

Tableau VIII

<u>COUT GLOBAL DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE NUCLEAIRE</u>				
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 *)
<u>A. Programme indicatif</u>				
1974	1,5	0,3	0,1	1,9
1979	6,6	1,3	0,5	8,4
<u>B. Orientation à long terme</u>				
1984	12,5	3,4	1,4	17,3
1989	23,5	6,9	3,1	33,5
1994	37,5	11,6	6,0	55,2
1999	60,2	17,7	10,7	88,6

\*) Montants arrondis