

# SÉNAT

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1968-1969

Annexe au procès-verbal de la séance du 21 novembre 1968.

## AVIS

PRÉSENTÉ

*au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan (1),*  
**sur le projet de loi de finances pour 1969, ADOPTÉ PAR**  
**L'ASSEMBLÉE NATIONALE.**

TOME IX

**Services du Premier Ministre.**

**I. — Services généraux.**

**ENERGIE ATOMIQUE**

**Par M. Michel CHAUTY**

**Sénateur.**

---

(1) *Cette commission est composée de :* MM. Jean Bertaud, *président* ; Paul Mistral, Etienne Restat, Joseph Yvon, Marc Pauzet, *vice-présidents* ; René Blondelle, Auguste Pinton, Joseph Beaujannot, Jean-Marie Bouloux, *secrétaires* ; Louis André, André Aubry, Octave Bajeux, André Barroux, Aimé Bergeal, Auguste Billiemaz, Georges Bonnet, Amédée Bouquerel, Robert Bouvard, Marcel Brégégère, Pierre Brousse, Raymond Brun, Michel Chauty, Albert Chavanac, Jean Colin, Francisque Collomb, Maurice Coutrot, Georges Dardel, Léon David, Alfred Dehé, Roger Delagnes, Henri Desseigne, Hector Dubois, Emile Durieux, François Duval, Jean Errecart, Marcel Gargar, Victor Golvan, Léon-Jean Grégory, Paul Guillaumot, Roger du Halgouët, Yves Hamon, Alfred Isautier, René Jager, Eugène Jamain, Lucien Junillon, Michel Kauffmann, Maurice Lalloy, Robert Laucournet, Robert Laurens, Charles Laurent-Thouverey, Marcel Legros, Henri Longchambon, Jean Natali, Gaston Pams, Guy Pascaud, François Patenôtre, Paul Pelleray, Albert Pen, Lucien Perdereau, André Picard, Jules Pinsard, Henri Prêtre, Maurice Sambron, Guy Schmaus, Abel Sempé, Raoul Vadepiéd, Amédée Valeau, Jacques Verneuil, Joseph Voyant, Charles Zwickert.

**Voir les numéros :**

**Assemblée Nationale (4<sup>e</sup> législ.) :** 341 et annexes, 359 (tomes I à III et annexe 24), 360 (tome XIV) et in-8° 42.

**Sénat :** 39 et 40 (tomes I, II et III, annexe 18) (1968-1969).

---

**Lois de finances. — Premier Ministre (Services généraux) - Energie nucléaire.**

## SOMMAIRE

---

	Pages.
<b>Introduction</b> .....	3
<b>I. — Evolution des crédits accordés au Commissariat à l'Energie atomique.</b>	4
<b>II. — Production de combustible nucléaire :</b>	
1° Politique générale en matière de recherche et d'exploitation minière .....	8
2° Prévision des besoins.....	10
3° Production de concentré d'uranium, d'uranium métal et de plutonium .....	10
4° Production d'uranium enrichi : l'usine de Pierrelatte.....	11
5° Le traitement du combustible irradié : usines de Marcoule et de La Hague.....	13
<b>III. — Production d'énergie électrique d'origine nucléaire.....</b>	14
1° Perspectives de développement de l'énergie électrique d'origine nucléaire .....	14
2° Les centrales nucléaires en activité.....	17
3° Prix de revient de l'énergie électrique nucléaire.....	21
4° Production d'énergie électrique nucléaire à l'étranger.....	24
5° Le choix des filières.....	26
<b>IV. — Activité des Centres d'études nucléaires.....</b>	30
1° La production d'énergie.....	31
2° La recherche fondamentale .....	34
3° Autres missions du Commissariat à l'Energie atomique.....	37
<b>V. — L'incidence de la construction de l'Europe sur le développement de l'énergie nucléaire.....</b>	41
1° La politique commune de l'énergie nucléaire.....	41
2° Position du Gouvernement français vis-à-vis d'Euratom.....	43
3° Le projet « Orgel ».....	46
<b>Conclusion</b> .....	49

---

Mesdames, Messieurs,

Les progrès accomplis en matière d'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire se sont poursuivis en 1968 et doivent se développer en 1969, la compétition devenant, cependant, plus aiguë en raison de la baisse de prix des produits pétroliers énergétiques.

Comme les années précédentes, votre Commission des Affaires économiques et du Plan s'est intéressée d'une façon toute particulière à la production de l'énergie électrique d'origine nucléaire. Elle s'est, par ailleurs, documentée sur la production de combustibles nucléaires sous toutes ses formes et elle a également étudié l'activité des différents centres gérés par le Commissariat à l'Energie atomique (C. E. A.), ainsi que le problème de l'élimination des déchets radioactifs. Enfin, elle s'est également préoccupée de la politique commune en matière d'énergie nucléaire.

En premier lieu, votre rapporteur donnera cependant un bref aperçu de l'évolution des crédits intéressant le Commissariat à l'Energie atomique.

## I. — Evolution des crédits accordés au Commissariat à l'Energie atomique.

Les ressources dont dispose le Commissariat à l'Energie atomique proviennent essentiellement :

— d'une part, du budget du Premier Ministre en ce qui concerne les ressources analysées au chapitre 62-00 « Subvention au C. E. A. » ;

— d'autre part, du budget du Ministre des Armées à partir duquel sont effectués, en cours d'année, des transferts de crédits.

Le projet de loi de finances pour 1968 prévoit, au titre du chapitre 62-00 : « Subvention au C. E. A. », une dotation de 2.058 millions de francs en autorisations de programme et de 1.950 millions en crédits de paiement.

Cette dotation, qui s'applique aux programmes généraux du Commissariat, doit être complétée par des ressources propres et des reliquats sur exercices antérieurs.

Le tableau suivant permet la comparaison, depuis 1963, des divers moyens de financement mis à la disposition du C. E. A. pour la réalisation de son programme civil :

**Programme civil du Commissariat à l'Energie atomique.**  
(En millions de tonnes.)

ANNEES	SUBVENTIONS inscrites au budget du Premier ministre.	PRETS du F. D. E. S.	RESSOURCES propres du C. E. A.	RELIQUATS sur exercices antérieurs.	PROGRAMME total (autorisations de programme).
1963.....	1.372	150	122	»	1.644
1964.....	1.542	118	150	40	1.850
1965.....	1.664,1	120	245,9	50	2.080
1966.....	1.862,5	»	296	»	2.158,5
1967.....	1.950	»	284	30	2.264
1968.....	2.040	»	220	190	2.468
1969.....	2.058	»	240	210	2.508
Différences 1969-1968.....	+ 18	»	+ 20	+ 20	+ 40
Variations en pourcentage...	+ 0,8 %	»	+ 9 %	+ 10,5 %	+ 1,6 %

Le programme civil du Commissariat à l'Energie atomique s'élève donc, pour 1969, à 2.508 millions de francs, en augmentation de 1,6 % par rapport au programme retenu pour 1968 (la progression était de 3,3 % dans le budget précédent).

On observe que les ressources propres du C. E. A., qui avaient augmenté jusqu'en 1966, puis diminué ensuite, se redressent légèrement en 1969.

Pour 1969, l'estimation des recettes propres fait apparaître plusieurs particularités :

— une nouvelle rubrique de recettes apparaît en 1969 au titre de la contribution d'E. D. F. au financement du réacteur « Phénix ». Elle correspond à l'hypothèse où E. D. F. financerait 150 millions sur l'ensemble des dépenses prévues pour « Phénix » (720 millions environ, combustibles compris). Les recettes de 1969 ont été évaluées aux 3/14 des engagements et des ordonnancements cumulés en 1968 et 1969 au titre de cette opération ;

— il a paru prudent de renoncer à articuler une prévision de recette au titre des contrats avec Euratom, eu égard à l'incertitude qui demeure en ce qui concerne le sort réservé aux relations contractuelles avec l'organisation internationale.

Sous le bénéfice de ces observations, le tableau ci-après fournit le détail des prévisions de ressources propres pour 1969 et des prévisions correspondantes des trois années antérieures.

Comparaison des ressources propres du Commissariat à l'Energie atomique en 1966 et en 1967.

(En autorisations de programme.)

DESIGNATION	1966	1967	1968	1969
	(En millions de francs.)			
<i>Recettes propres :</i>				
Ventes et produits divers.....	28	28	30	34
Recettes provenant des contrats avec Euratom .....	71	45	50	»
Recettes E. D. F. (études de centrales et fournitures d'éléments combustibles).	104	190	130	130
Autres recettes.....	13	13	10	11
« Phénix ».....	»	»	»	56
<b>Totaux .....</b>	<b>296</b>	<b>284</b>	<b>220</b>	<b>240</b>

Quant aux dépenses du C. E. A., elles se présentent pour 1969 en augmentation en ce qui concerne les charges de fonctionnement et en légère diminution pour les investissements ainsi qu'on peut l'observer dans le tableau ci-dessous.

**Principaux postes de dépenses du C. E. A.**  
(Autorisations de programme en millions de francs.)

DESIGNATION	1966	1967	1968	PREVI- SIONS 1969.	VARIA- TION 1968-1969.
<b>Charges de fonctionnement :</b>					
Main-d'œuvre C. E. A.....	519	555	597	730	+ 133
Remboursement d'emprunts..	107	110	116	120	+ 4
Autres dépenses de fonction- nement .....	1.110	1.189	1.213	1.210	— 3
<b>Totaux fonctionnement..</b>	<b>1.736</b>	<b>1.854</b>	<b>1.926</b>	<b>2.060</b>	<b>+ 134</b>
Investissements .....	433	443	479	433	— 46
Réserve non répartie.....	47,5	47	45	15	— 30
<b>Totaux généraux....</b>	<b>2.216,5</b>	<b>2.344</b>	<b>2.450</b>	<b>2.508</b>	<b>+ 58</b>

Ainsi, compte tenu de la variation des conditions économiques et des crédits qui devront être affectés à la construction de la centrale expérimentale « Phénix », les dotations accordées au C. E. A. en 1969 ne permettront que d'assurer le fonctionnement des installations existantes et de réaliser quelques investissements prioritaires dans les grandes voies de recherche et de production déjà définies, pour la plupart, au cours des années précédentes.

Dans cette optique, l'articulation globale du budget de 1969 se caractérise comme suit :

a) *En ce qui concerne le fonctionnement :*

*L'accroissement des dépenses de main-d'œuvre traduit, notamment, l'incidence des hausses de rémunérations consécutives aux mesures intervenues à la suite des événements du mois de mai 1968 ;*

*Les dépenses de fonctionnement autres que la main-d'œuvre et les charges d'emprunts seront en légère diminution par rapport à 1968. A l'intérieur de cette masse financière réduite, il est néces-*

saire de prévoir les compléments indispensables à la mise en service d'ouvrages nouveaux (accélérateur de 300 MeV [1], chambre à bulles Mirabelle, installation ELAN en particulier). Par ailleurs, des redistributions de crédits devront être opérées de manière à permettre de faire face aux charges résultant :

- de l'évolution du coût des contrats en régie ;
- de l'évolution des prix ;
- des compléments jugés indispensables pour assurer une bonne utilisation des équipes, laboratoires et ouvrages pour l'exécution correcte des programmes en cours.

C'est dire que la structure du budget du C. E. A. par nature de dépenses sera vraisemblablement différente, en 1969, de celle de 1968.

b) *En ce qui concerne les investissements :*

Les crédits inscrits pour la réalisation du réacteur « Phénix », au rythme industriel le meilleur, ont été inscrits en priorité. Ils couvriront les engagements effectifs pris dans l'année 1969. Cette tranche d'engagements se situera vraisemblablement, sur ces bases, à environ 200 millions de francs ;

Les crédits nécessaires aux opérations minières Outre-Mer ont également été inscrits par priorité (environ 30 millions de francs) ;

Les autres crédits devront permettre notamment de faire face aux investissements considérés comme inéluctables, c'est-à-dire ceux résultant d'accords internationaux (pile à haut flux, grande chambre à bulles européenne, chambre à bulles Gargamelle) et ceux concernant les études en vue de permettre au Gouvernement de prendre une décision dans les années à venir au sujet de la réalisation d'une usine d'enrichissement à des fins électronucléaires.

Mais, à côté de son programme civil, le C. E. A. poursuit, dans le cadre de la réalisation du programme militaire d'armement nucléaire, les études préparatoires aux explosions atomiques, la préparation scientifique des essais, la fourniture du plutonium et la conception de prototypes. Pour ce faire, il reçoit des crédits provenant du budget des Armées (chapitres 51-88 et 51-90). Les transferts ainsi effectués sont prévus, en 1969, pour un montant moins élevé qu'en 1968, tant en autorisations de programme (2.092 millions au lieu de 2.752 millions) qu'en crédits de paiement (2.395 millions au lieu de 2.818).

---

(1) 1 MeV = 1 million d'électrons/volts. Autres sigles : 1 GeV = 1 milliard d'électrons/volts ; 1 MW = 1 mégawatt (= 1.000 kW) ; 1 MWe = 1 mégawatt électrique.

Le tableau suivant présente un état des dotations transférées au Commissariat à l'Energie atomique de 1963 à 1967 et des prévisions de transfert pour 1968 et 1969 :

TRANSFERTS à partir du budget des Armées (Section commune.)	AUTORISATIONS de programme.	CREDITS de paiement.
	(En millions de francs.)	
Exercice 1963.....	2.157,7	1.706,2
Exercice 1964.....	2.426,6	2.118,9
Exercice 1965.....	2.458,9	2.468,6
Exercice 1966.....	2.610,6	2.765,3
Exercice 1967.....	2.326,1	2.824,6
Exercice 1968 (prévisions).....	2.752	2.818
Exercice 1969 (prévisions).....	2.092	2.395

Le C. E. A. disposera donc en 1969, pour la réalisation des programmes civil et militaire, de 4,6 milliards d'autorisations de programme et de 4,7 milliards de crédits de paiement, soit une réduction de 10 % environ pour les premières et de 8 % pour les secondes.

## II. — Production de combustible nucléaire.

### 1° POLITIQUE GÉNÉRALE EN MATIÈRE DE RECHERCHE ET D'EXPLOITATION MINIÈRE

La politique générale du C. E. A., dans ce domaine, demeure guidée par les principes suivants :

— maintenir entre 1.000 et 1.200 tonnes par an la production métropolitaine en l'état actuel des perspectives des réserves ;

— développer la prospection en veillant à l'amélioration constante des méthodes, en vue de trouver de nouvelles sources d'approvisionnement, à la fois en Afrique et en Métropole ;

— poursuivre l'étude et la réalisation de toutes solutions minières dans tous les pays paraissant accessibles : Amérique du Sud, Canada, Iran, etc.

— maintenir la compétitivité des prix de l'approvisionnement français par rapport à ceux des grands producteurs et consommateurs étrangers, tout en sauvegardant la liberté de cet approvisionnement.

Les réserves métropolitaines actuellement connues sont voisines de 50.000 tonnes.

L'évaluation de l'ensemble des gisements français (C. E. A. et industrie privée) au cours des dix dernières années fait en effet apparaître un accroissement régulier des réserves, qui a été de près de 5.000 tonnes en 1967, malgré une production de l'ordre de 1.200 tonnes de métal contenu.

Dans ce cadre général, l'activité du C. E. A. s'exerce tant en Métropole qu'à l'extérieur.

L'inventaire des possibilités métropolitaines se poursuit méthodiquement, tant dans les zones avoisinant les divisions minières du C. E. A. que dans tous secteurs susceptibles de relayer ultérieurement les exploitations en cours, Hérault et Morvan notamment.

Parallèlement au C. E. A., quelques sociétés privées poursuivent également un effort notable de recherches dans les domaines d'action du Massif central et de Bretagne. Aussi le C. E. A. a-t-il renouvelé pour une nouvelle période de cinq ans son communiqué sur l'achat de minerais provenant de travaux de recherches qui expirait à la fin de l'année 1966.

A l'extérieur, où les prospections menées en Afrique d'expression française se déroulent favorablement, l'événement important de l'année 1968 a été la création, dans le cadre d'accords franco-nigériens, de la Société des mines de l'Air, afin d'exploiter un important gisement d'uranium découvert par le C. E. A. dans la région d'Agadès, en République du Niger.

Des accords du même type, dont la négociation se poursuit entre le C. E. A. et la République Centrafricaine, concrétiseront la décision de mise en exploitation du gisement de M'Patou près de Bokouma en République Centrafricaine.

En 1969, le C. E. A. poursuivra, d'autre part, ses prospections en Afrique, notamment au Gabon, au Niger et en République Centrafricaine.

Des envois de missions de prospection sont envisagés dans des pays dont les perspectives uranifères sont *a priori* intéressantes tels que le Brésil et l'Iran. Des négociations sont en cours à ce sujet.

Les usines de raffinage du Bouchet (C. E. A.) et de Malvési (Société de raffinage de l'uranium) poursuivent leur activité dans des conditions techniques toujours satisfaisantes.

## 2° PRÉVISION DES BESOINS

Dans le cas de la réalisation, au cours du V<sup>e</sup> Plan, soit du programme minimum de 2,5 millions de kilowatts nucléaires (hypothèse A), soit du programme maximum de 4 millions de kilowatts nucléaires (hypothèse B), et compte tenu des centrales nucléaires déjà en service ou projetées au cours du V<sup>e</sup> Plan, on peut, à l'heure actuelle, estimer que les besoins cumulés en uranium au cours de la période 1967-1975 seront de l'ordre de :

Hypothèse A : 7.000 tonnes d'uranium élément environ ;

Hypothèse B : 9.000 tonnes d'uranium élément environ.

Naturellement, les besoins effectifs de cette période seront supérieurs, puisqu'il faudra ajouter ceux des centrales décidées par le Plan suivant qui devront commencer à être approvisionnées en uranium à partir de 1973.

Ainsi on peut estimer les besoins annuels, vers 1975, à quelque 2.000 tonnes/an.

Ces estimations concernent le programme civil de production d'électricité d'origine nucléaire. S'y ajoutent naturellement des besoins notables pour le fonctionnement des centres à vocation militaire : Marcoule et Pierrelatte.

## 3° PRODUCTION DE CONCENTRÉ D'URANIUM ET D'URANIUM MÉTAL

Les prévisions de production, pour 1968 et 1969, en ce qui concerne les concentrés d'uranium et d'uranium métal sont, en uranium contenu, les suivantes :

USINES	1967	1968 (Prévisions.) (en tonnes)	1969 (Prévisions.) (en tonnes)
<b>Production de concentrés d'uranium :</b>			
Ecarpière .....	360	365	370
Bessines .....	489	563	576
Bois noirs .....	245	238	257
Gueugnon (1) .....	428	424	425
	<b>1.522</b>	<b>1.543</b>	<b>1.628</b>
<b>U contenu dans les concentrés de thorianite expédiés de Madagascar .....</b>	<b>68</b>	<b>27</b>	<b>&gt;</b>

(1) Usine de traitement des préconcentrés d'origine gabonaise.

Par ailleurs, la quantité totale de l'uranium naturel destiné aux réacteurs d'E. D. F. et à ceux de Marcoule et d'hexafluorure d'uranium destiné à l'usine de séparation isotopique atteindra 2.800 tonnes en 1968 et 2.300 tonnes en 1969.

Les usines de raffinage du Bouchet et de Malvézi, maintenant dotées toutes deux d'un atelier d'élaboration du métal par magnésiothermie, ont assuré cette production sans difficulté.

#### 4° PRODUCTION D'URANIUM ENRICHI : L'USINE DE PIERRELATTE

L'ensemble des usines de séparation des isotopes de l'uranium par diffusion gazeuse de Pierrelatte est en production depuis le 1<sup>er</sup> avril 1967. Depuis la mise en exploitation de l'usine basse intervenue en janvier 1965, les autres unités ont été progressivement mises en marche :

- l'usine moyenne à la fin de l'été de la même année ;
- l'usine haute au printemps 1966 ;
- le premier groupe de l'usine très haute ayant démarré le 1<sup>er</sup> septembre 1966 ;
- la production à la teneur nominale a débuté au 1<sup>er</sup> avril 1967.

Les quantités d'hexafluorure d'uranium enrichi à plus de 90 % produites par l'ensemble des usines ont été transformées en métal dans l'unité de récupération et d'élaboration, qui — elle — a commencé de fonctionner fin 1966.

A l'heure actuelle, l'ensemble des usines de Pierrelatte se trouve donc en production depuis vingt mois et fonctionne dans d'excellentes conditions de marche et de rendement.

La quantité d'uranium enrichi fournie en temps voulu pour que la campagne d'essais 1968 puisse en bénéficier, a été sensiblement supérieure aux engagements pris. Les quantités d'uranium enrichi destinées aux premiers cœurs du « Redoutable » et du réacteur tritigène « Célestin 2 » ont également été livrées en temps voulu.

Ces résultats sont dus en particulier à la recherche des conditions optimales de fonctionnement de la cascade qui a conduit :

- dans le domaine technique à augmenter le pouvoir séparateur de l'usine haute et de certains groupes de l'usine basse pour des raisons techniques et à relever légèrement la teneur de rejet pour des raisons économiques.

Mais ces bons résultats ont aussi été rendus possibles en raison de l'important effort de soutien technologique de l'usine qui a permis de définir rapidement des solutions satisfaisantes aux problèmes apparus successivement sur les compresseurs d'usine très haute et d'usine basse.

Des incidents affectant d'autres appareillages montrent qu'il est indispensable de maintenir cet effort, si l'on veut conserver intact l'outil de production.

S'il en est bien ainsi, on peut espérer maintenir dans les prochaines années un niveau de production sensiblement supérieur à la capacité nominale de l'usine.

Rappelons que les crédits d'études et de construction se sont élevés pour l'ensemble de l'usine de Pierrelatte à 4,1 milliards de francs ; qu'au milieu de 1968 cette somme est engagée en quasi-totalité et qu'aucun complément n'est prévu.

Soulignons aussi que l'usine de séparation isotopique de Pierrelatte a été conçue et réalisée pour la satisfaction des besoins de la force nucléaire française, c'est-à-dire essentiellement pour la production de quantités limitées d'uranium très enrichi, et ceci explique le nombre élevé et la dimension des étages. Seule, la production de l'usine basse se situe dans la bande des teneurs à usage civil (1). En outre, la taille relativement restreinte des étages, comparée à celle des usines américaines de diffusion gazeuse, fait que l'actuelle usine basse ne pourrait pas produire à elle seule les quantités nécessaires à l'alimentation d'un programme français de centrales de puissance utilisant l'uranium enrichi. Enfin, et toujours en raison de la modeste dimension des installations, le prix de l'uranium faiblement enrichi, ainsi élaboré, serait prohibitif pour un tel usage civil.

Toutefois, la réalisation de Pierrelatte, aboutissement d'un important volume de recherches techniques, a permis au C. E. A. et à l'industrie privée d'acquérir un savoir faire dans ce domaine qui n'est partagé, dans le monde occidental, que par les Etats-Unis et la Grande-Bretagne.

---

(1) Les usages militaires nécessitent un uranium très fortement enrichi. Par contre, les réacteurs électrogènes qui emploient des combustibles à uranium enrichi sont de plusieurs types et la teneur de cet uranium varie suivant les filières. Mais tous ces réacteurs de puissance font appel à de l'uranium à faible teneur isotopique, de l'ordre de 3 % le plus souvent.

## 5° LE TRAITEMENT DU COMBUSTIBLE IRRADIÉ : USINES DE MARCOULE ET DE LA HAGUE

On sait que l'usine de Marcoule traite du combustible irradié depuis 1958. Après la première période d'essais (juin-juillet 1966), l'usine de La Hague (connue sous le sigle U. P. 2) est entrée en exploitation industrielle en 1967 et traite le combustible irradié dans les réacteurs de l'E. D. F. Initialement conçue en vue de l'installation de deux chaînes identiques de faible capacité (2 tonnes/jour d'uranium et 5 kilogrammes/jour de plutonium) destinées au retraitement des combustibles irradiés en provenance des centrales E. D. F. de la filière gaz-graphite-uranium naturel, l'usine de La Hague n'a finalement été dotée que de la première de ces deux chaînes.

La capacité nominale de deux tonnes/jour a été atteinte et à la lumière de l'expérience acquise au cours des campagnes 1966-1968, on estime à l'heure actuelle que, moyennant certaines adaptations de procédés et certains compléments d'investissements relativement peu importants, la capacité des seules installations existantes peut d'ores et déjà être considérée comme susceptible d'atteindre 2,5 à 3 tonnes/jour en uranium irradié et pourrait être progressivement triplée en plutonium extrait.

Par contre, et compte tenu du fait que le programme français de production d'électricité d'origine nucléaire ne comportait dans le cadre du IV<sup>e</sup> et du V<sup>e</sup> Plan que des centrales gaz-graphite-uranium naturel (1), aucune installation de dégainage et de dissolution de combustibles à oxyde n'a été réalisée à l'usine de La Hague. Une telle installation serait mise en place si une réorganisation des programmes entraînant l'utilisation de « combustibles oxydes » était envisagée dans le VI<sup>e</sup> Plan.

En tout état de cause, la participation prise par la France à la réalisation, sous l'égide de l'O. C. D. E., de l'usine de retraitement de combustibles irradiés d'Eurochemic lui permet et lui permettra encore aussi longtemps que les quantités mises en jeu ne justifient pas la réalisation d'installations purement nationales, de retraiter :

- des combustibles hautement enrichis en provenance de nos piles de recherche ;
- les combustibles à base d'oxyde.

---

(1) A la seule exception de la pile expérimentale « EL 3 » et du prototype « EL 4 » qui sont du type combustible oxyde-eau lourde.

C'est la raison pour laquelle les combustibles irradiés à base d'oxyde achetés au Canada dans le cadre d'un accord portant sur les années 1968 à 1970 seront également retraités à Eurochemic.

### III. — Production d'énergie électrique d'origine nucléaire.

#### 1° PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE D'ORIGINE NUCLÉAIRE

##### A. — *Les perspectives.*

La politique du Gouvernement en matière de production nucléaire d'électricité avait été définie par le Conseil des Ministres du 16 décembre 1964. Le V<sup>e</sup> Plan l'avait exprimée dans les termes suivants :

« Le programme à engager pour la génération d'électricité nucléaire a été fixé à 2.500 MW, en prolongeant les développements actuels des techniques françaises ; il comporte en outre une tranche optionnelle de 1.500 MW. »

Ce programme, qui correspondait au minimum à 500 MW par an en moyenne, était sensiblement plus important que celui du IV<sup>e</sup> Plan, qui était de 200 MW par an.

Mais, depuis l'établissement du V<sup>e</sup> Plan, un certain nombre de faits nouveaux ont conduit le Gouvernement à demander à la Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire (Commission P. E. O. N.) de faire le point des objectifs du V<sup>e</sup> Plan, tels qu'ils avaient été définis dans le rapport de mai 1964 de la Commission, de préparer les décisions concernant le choix des techniques nucléaires de la tranche optionnelle de 1.000 à 1.500 MW de la fin du V<sup>e</sup> Plan et d'examiner les orientations ultérieures du programme français de centrales nucléaires.

Ces faits nouveaux sont essentiellement les décisions prises à l'étranger et, notamment, l'importance des commandes passées aux Etats-Unis pour la construction de centrales à uranium enrichi et eau ordinaire, et la baisse du prix du fuel-oil en France.

La Commission P. E. O. N. a remis au Gouvernement, le 24 avril 1968, un rapport dont les principales conclusions sont les suivantes :

— *filière uranium naturel-graphite-gaz* : compte tenu des décisions qui restent à prendre concernant la centrale Fessenheim, il n'est pas envisagé d'engager de nouvelles centrales de ce type avant la fin de 1970 ;

— *filière uranium naturel-eau lourde* : cette filière se présente favorablement sur le plan économique et se recommande sous l'angle de l'indépendance énergétique ; si, après élaboration d'un avant-projet détaillé et d'un devis estimatif établi avec la participation des industriels, l'intérêt économique de cette filière se trouve confirmé, il sera sans doute opportun d'engager, de préférence avec le concours d'autres pays européens, une centrale prototype à eau lourde (1).

— *filière uranium enrichi - eau ordinaire* : compte tenu de ses avantages économiques (dans la mesure où son approvisionnement en combustible est réalisé aux conditions existantes aux Etats-Unis) et de son expansion actuelle dans le monde, il faut permettre aux constructeurs comme aux utilisateurs français de se familiariser avec cette filière ; du point de vue de l'acquisition des connaissances et de l'assimilation des techniques par l'industrie française, la réalisation d'une centrale nationale à eau ordinaire de l'ordre d'au moins 600 MWe présenterait des avantages certains par rapport aux projets « périphériques » de Tihange et de Kaiseraugst ; une telle réalisation supposerait, cependant, que soient remplies au préalable certaines conditions favorables, en particulier dans le domaine industriel.

Ce rapport de la « commission Péon » est actuellement à l'étude au niveau gouvernemental, en vue de prochaines décisions.

Le Gouvernement a cependant autorisé Electricité de France à participer pour 50 % à la construction d'une centrale franco-belge à uranium enrichi eau ordinaire implantée à Tihange. Il a également autorisé Electricité de France à participer à un syndicat d'études franco-suisse en vue de la construction éventuelle d'une centrale à Kaiseraugst. Electricité de France et les industriels

---

(1) Le C. E. A. et son homologue canadien l'A. E. C. L. — qui possède une importante expérience dans le domaine des réacteurs refroidis par eau lourde sous pression — viennent, d'autre part (15 octobre 1968), de conclure un accord destiné à étendre leur coopération dans le domaine des réacteurs de puissance à eau lourde.

français ont ainsi la possibilité d'examiner les problèmes concrets posés par cette filière, c'est-à-dire les possibilités effectives d'exécution, les conditions de l'aide apportées par les licenciés étrangers, les possibilités éventuelles d'exportation et les possibilités de coopération avec les industriels étrangers.

Ainsi, le programme des centrales nucléaires des années 1969 et 1970 n'a pas encore été déterminé de façon précise. Il a seulement été décidé que le C. E. A., en liaison étroite avec Electricité de France, engagerait en 1969 une centrale prototype surrégénératrice dénommée Phénix de 250 MW pour préparer l'avenir de cette nouvelle filière qui est appelée à un grand développement vers 1980.

B. — *La production française d'énergie électrique d'origine nucléaire.*

La production d'électricité des centrales nucléaires installées en France a été la suivante en 1967 et durant les neuf premiers mois de 1968 (en millions de kilowattheures nets) :

	ANNEE 1967	DU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1968 au 18 septembre 1968.
Marcoule G 1, G 2, G 3.....	596	459
Chinon I (E. D. F. 1).....	208	135
Chinon II (E. D. F. 2).....	1.159	733
Chinon III (E. D. F. 3).....	115	819
Chooz .....	484	>
Monts d'Arrée (E. L. 4).....		Faible.
<b>Total .....</b>	<b>2.562</b>	<b>2.146</b>

La production nucléaire se développera plus rapidement au cours des prochaines années avec la mise en service de Saint-Laurent I et II en 1969 et 1970. Elle représentera 23 milliards de kWh, soit un peu moins de 12 % de la production totale fran-

çaise en 1975. Jusqu'à cette date, les prévisions sont relativement sûres, les centrales en service à l'époque devant être engagées au cours du V<sup>e</sup> Plan :

	PRODUCTION	CONSOMMATION d'électricité.
	(En TWh [1].)	
1965 (réalisations).....	0,9	102,2
1966 (réalisations).....	1,4	109
1967 (réalisations).....	2,6	114
1968 (évaluation).....	3	120
1969 (prévisions).....	5	130
1970 (prévisions).....	9	140
1975 (prévisions).....	23	200

[1] TWh : terawattheures = 1 milliard de kilowattheures.

## 2° LES CENTRALES NUCLÉAIRES EN ACTIVITÉ ET LES INCIDENTS SURVENUS

### A. — Les centrales de Chinon.

Les centrales Chinon 1, Chinon 2 et Chinon 3 ont été couplées au réseau, respectivement les 14 juin 1963, 24 février 1965 et 4 août 1966.

Le fonctionnement de Chinon 1 a été satisfaisant en 1966 : cette unité a fourni 363 millions de kWh et le facteur d'utilisation de la puissance maximale (60 MW) a été de 69 %. N'étant pas équipée d'appareil de déchargement en marche, Chinon 1 a été arrêtée pendant sept mois en 1967 pour permettre le renouvellement du combustible de 610 canaux.

Chinon 1 a cependant produit 258 millions de kWh bruts en 1967 et 170 millions de kWh bruts au cours des quatre premiers mois de 1968 ; le réacteur a été arrêté en avril 1968 pour les opérations périodiques de chargement et déchargement de combustibles ; cette période normale d'arrêt a dû être prolongée de quelques semaines pour diverses réparations, comportant notamment une intervention sur une structure annexe à l'intérieur du caisson ; le réacteur était en cours de redémarrage à mi-octobre.

En 1966, Chinon 2 a produit 532 millions G. kWh et le facteur d'utilisation de sa puissance maximale (200 MW) a été de 30 %. Les indisponibilités étaient surtout dues au mauvais fonctionnement des turbines. En 1967, la production de Chinon 2 a atteint 1.356 millions de kWh et 801 millions au cours des huit premiers mois de 1968. Les difficultés de mise au point semblent être maintenant définitivement surmontées.

Sur Chinon 3 les difficultés techniques rencontrées en 1966, au cours des premiers mois de fonctionnement du réacteur, sur les groupes turbo-alternateurs et le système de détection de ruptures de gaines, ont entraîné des travaux importants qui se sont poursuivis pendant la plus grande partie de 1967 ; le premier groupe turbo-alternateur a été couplé, à nouveau, au réseau en octobre 1967 et a produit, au cours du dernier trimestre de cette année 131 millions de kWh bruts ; le second groupe a été à son tour remis en service en mars 1968 ; la tranche a produit 785 millions de kWh bruts au cours des huit premiers mois de 1968 ; la puissance du réacteur reste cependant provisoirement limitée à 350 MWe (1), par mesure de prudence, pour réduire le débit de gaz dans le réacteur pendant que le C. E. A. s'emploie à résoudre des difficultés rencontrées, au printemps dernier, sur les fixations de certains éléments combustibles (2) ; le fonctionnement reste par ailleurs perturbé par l'apparition de fuites sur les échangeurs, dont le remplacement est envisagé dans les prochains mois.

Les incidents de démarrage auront ainsi entraîné *un arrêt complet de la centrale pendant environ un an et une indisponibilité partielle d'une durée de l'ordre de deux ans.*

#### D. — *Autres centrales à uranium naturel prévues par le V<sup>e</sup> Plan.*

A Saint-Laurent-des-Eaux, une première centrale, de même puissance que Chinon 3 (500 MWe) et de caractéristiques générales assez voisines, mais comportant un circuit primaire intégré, est en achèvement ; sa divergence est prévue pour janvier 1969 ; un second réacteur identique, mais d'une puissance légèrement supérieure (530 MWe) est en cours de construction sur le même site ; la divergence est prévue pour la fin de 1970.

---

(1) La puissance nominale de cette centrale est de 480 MWe.

(2) Le comportement des éléments combustibles eux-mêmes n'est pas en cause et peut être considéré jusqu'ici comme satisfaisant puisque, depuis la divergence du réacteur, on n'a constaté que 7 ruptures de gaines d'éléments combustibles sur 45.000 éléments chargés.

Dans le Bugey, à proximité de Lyon, une autre centrale à uranium naturel-graphite-gaz de 550 MWe, utilisant un nouveau combustible de forme annulaire, a été mise en chantier en 1966 ; les travaux se poursuivent normalement en vue d'une mise en service en 1971.

Le Gouvernement a décidé, en décembre 1967, le principe de la construction à Fessenheim, sur les bords du Rhin, d'une centrale comportant deux réacteurs jumelés de conception identique à ceux de Saint-Laurent, mais d'une puissance supérieure (750 MWe) ; l'examen du dossier se poursuit mais il est possible que la décision de principe prise en 1967 soit remise en question.

C. — *La centrale franco-belge de Chooz (Ardennes).*

La divergence de cette centrale a eu lieu le 18 octobre 1966. Mais, en janvier 1967, au cours des essais, un incendie s'est déclaré dont l'origine était l'inflammation d'un écran de protection contre les neutrons, situé autour de la partie supérieure de la cuve du réacteur.

Cet écran était constitué d'une substance susceptible de s'enflammer, dans certaines conditions, aux alentours de 120 degrés. L'écran a été modifié et les essais ont pu reprendre après quinze jours d'interruption. Les dégâts causés par cet incendie n'ont pas été très importants.

La centrale a été couplée au réseau le 3 avril 1967 et a produit, durant le reste de cette année, 484 millions de kWh nets.

Mais elle est arrêtée depuis janvier 1968 à la suite de désordres causés par des vibrations dans les structures internes de la cuve du réacteur ; des démontages ont été effectués pour permettre de déterminer la cause exacte des avaries constatées et de procéder aux réparations ; ces travaux sont effectués par le groupement des industriels constructeurs, en liaison avec la société américaine Westinghouse, qui a conçu le réacteur (et qui a conçu également la centrale italienne de Trino Vercellese, arrêtée depuis avril 1967 à la suite d'incidents analogues).

D. — *La centrale expérimentale E. L. 4 de Brennilis.*

*Type filière à eau lourde (refroidissement par gaz carbonique).*

Ce réacteur expérimental à uranium légèrement enrichi et modéré à l'eau lourde, d'une puissance de 80 MWe, a divergé le 23 décembre 1966. Ce réacteur doit permettre, notamment, de mener en commun avec des industriels français, allemands et suisses l'étude technique et économique de diverses variantes de grandes centrales de puissance (600 MWe) modérées à l'eau lourde.

Les essais qu'il était prévu de faire avant la montée en puissance se sont déroulés normalement. Le premier couplage au réseau a eu lieu le 9 juillet 1967.

La puissance électrique nette de la centrale a atteint 50 MWe en 1967, au début du mois d'août.

Mais des fuites sur les échangeurs de chaleur, imputables à des ruptures par fatigue de tubes d'acier, ont entraîné des arrêts successifs pour isoler les éléments défectueux, ainsi qu'une réduction à 30 MWe de la puissance de la centrale, pour limiter l'apparition de nouveaux défauts ; un programme de réparations a été mis au point et le réacteur a été arrêté en août 1968 pour permettre l'exécution des travaux, qui dureront environ un an.

E. — *La centrale de Tihange.*

En décembre 1967, le Gouvernement, afin de permettre à la France d'acquérir une expérience approfondie dans la filière des réacteurs à eau ordinaire, a autorisé Electricité de France à participer à la réalisation d'une centrale franco-belge de 700 MWe, à eau sous pression à Tihange, en Belgique ; les discussions sont actuellement en cours entre producteurs d'électricité et industriels, en vue de la prochaine signature du contrat.

La collaboration franco-belge en vue de la réalisation de cette centrale est basée sur le principe d'une égalité dans tous les domaines, depuis le financement des études jusqu'à la production de l'énergie, laquelle sera partagée par moitié entre la France et la Belgique. La Société belgo-française d'énergie nucléaire Mosane

(S. E. M. O.), qui sera propriétaire et exploitante de la centrale, a été constituée le 31 mai 1968 par un accord conclu entre Electricité de France et sept sociétés belges.

Le matériel de la centrale nucléaire de Tihange et la construction de celle-ci seront réalisés conjointement par les entreprises françaises et belges. Les spécifications techniques sont en cours d'élaboration. Le délai de construction prévu est de 54 mois, ce qui devrait conduire à une *mise en service en 1973*.

La centrale sera composée d'une chaudière nucléaire à eau sous pression, à uranium enrichi, et de deux groupes turboalternateurs. La puissance électrique nette sera de 750 mégawatts, avec un rendement net de 31,5 %.

#### F. — *La centrale de Kaiseraugst.*

Toujours à la fin de 1967, Electricité de France a été autorisée à former avec des sociétés suisses un consortium d'études en vue de la construction éventuelle d'une autre centrale à eau ordinaire de 750 MWe, à Kaiseraugst, en Suisse ; à la suite de l'appel d'offres lancé au début de 1968, plusieurs réponses ont été reçues par le consortium, tant pour des réacteurs à eau bouillante que pour des réacteurs à eau sous pression ; l'examen de ces offres est actuellement en cours.

#### 3° PRIX DE REVIENT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE NUCLÉAIRE

Il est encore difficile de dégager un prix de revient significatif de l'électricité d'origine nucléaire.

E. D. F. paye au C. E. A. les calories produites par les réacteurs de Marcoule à un prix déterminé, de telle sorte que le coût de l'électricité produite soit aligné sur celui des autres productions fournies au réseau d'interconnexion.

A Chinon, les mises en service des centrales sont encore trop récentes pour qu'aient été surmontées depuis longtemps les « maladies de jeunesse ».

Chinon 1 et 2 ont été réalisées pour acquérir l'expérience indispensable et pour faire progresser la technique ; le prix de

revient de leur production électrique dépassera celui de la production thermique équivalente d'un montant qui doit être considéré comme une dépense de recherches et d'expérimentation.

Il en sera de même pour la centrale franco-belge de Chooz utilisant l'uranium enrichi qui produit le kWh à un prix supérieur à celui du thermique classique.

Le coût prévisionnel du kWh de Chinon 3 qui avait été établi en 1964 par la Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire était équivalent à celui du kWh thermique classique pour une durée d'utilisation annuelle de 5.700 heures, soit 65 %. Cette prévision n'a pas été confirmée par les faits.

Pour les centrales nucléaires suivantes, Saint-Laurent-des-Eaux I et Bugey I, les dépenses d'investissements comportent une grande part de frais d'études et de mise au point car ce sont des centrales prototypes. Le prix de revient du kWh dans ces centrales n'est donc pas représentatif de la filière graphite-gaz ; il sera supérieur au prix de revient du kWh des centrales thermiques classiques les plus modernes d'une quantité que l'on doit considérer comme une dépense de recherches et d'expérimentation.

Saint-Laurent-des-Eaux II, qui doit être mise en service en 1970, est la première centrale qui ne soit pas un prototype. Dans les conditions économiques de 1966, avec un taux d'actualisation de 7 %, une utilisation de 6.800 heures par an pendant 20 ans, le coût moyen actualisé de l'électricité produite dans cette centrale devrait s'élever à 3,1 centimes/kWh.

Avec les mêmes hypothèses et le même mode de calcul, on arrivait à un coût de 3,3 centimes/kWh pour la tranche de 600 MW au fuel qui a été mise en service à Porcheville.

Cette comparaison économique sommaire illustre le fait que Saint-Laurent-des-Eaux II devrait être compétitif avec les centrales au fuel les plus modernes lorsque le prix du fuel était supérieur à 0,80 centime par thermie.

Mais un certain nombre d'événements sont intervenus, qui ont modifié ces conclusions et exigent aujourd'hui un réexamen approfondi. D'une part, les coûts des composants et des combustibles nucléaires de la filière graphite-gaz ont bien diminué, et même davantage encore qu'il n'était escompté en 1964 ; en sens

inverse, on a constaté une baisse considérable du prix du fuel alimentant les centrales thermiques classiques : ce prix s'établit aujourd'hui à environ 0,6 centimes la thermie (au lieu de 1 centime), ce qui change les données du problème de la compétitivité pour le nucléaire en général et la filière graphite-gaz en particulier.

Constatant ces données nouvelles, la « commission Péon », dans son rapport d'avril 1968 déjà cité, en tire les conclusions suivantes :

— actuellement, à puissance égale, une centrale nucléaire graphite-gaz représente un coût global supérieur, de l'ordre de 5 à 10 %, à des centrales thermiques alimentées en fuel à 0,6 centime la thermie ;

— pour le VI<sup>e</sup> Plan, aucune prévision certaine n'est encore possible ; indépendamment de l'effet de certains progrès techniques actuellement à l'étude, de faibles variations des prix du fuel ou de l'uranium peuvent modifier l'écart actuel entre le nucléaire et le classique.

Les progrès remarquables du thermique classique lui permettent de soutenir la concurrence du nucléaire plus longtemps qu'on ne pouvait l'envisager ; il est possible d'ailleurs que la pression du nucléaire ne soit pas étrangère à cette situation, et notamment à l'évolution du prix du fuel.

Les données nouvelles qui pourront être recueillies au cours des prochains mois permettront d'affiner les comparaisons qui ont été faites en précisant certaines incertitudes qui subsistent et qui portent notamment sur les disponibilités des centrales, leur utilisation annuelle et les performances des divers types de combustibles nucléaires.

#### 4° PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE NUCLÉAIRE DANS QUELQUES PAYS ÉTRANGERS

La situation actuelle de la production d'électricité d'origine nucléaire dans les principaux pays industriels peut être caractérisée par les chiffres suivants :

	PUISSANCE installée des centrales nucléaires (MWe) au 31 décembre 1967.	PRODUCTION d'électricité d'origine nucléaire (* TWh).	PRODUCTION totale d'électricité (TWh).	PART du nucléaire en pourcentage de la production totale.
Allemagne .....	488	1,2	172,8	0,6
Belgique .....	11	»	22,3	0,4
France .....	1.140	2,5	111,7	2,3
Italie .....	607	3,0	93,7	3,2
Pays-Bas .....	0	»	28,4	»
Luxembourg .....	0	»	2,1	»
Communauté .....	2.246	6,8	431,2	1,6
Suisse .....	»	»	»	»
Grande-Bretagne .....	3.447	23,8	194,5	12,3
Etats-Unis .....	2.632	7,6	1.314,3	0,6
U. R. S. S. ....	1.160	Non disponible.	589,0	»

\* TWh = 1 milliard de kWh.

Dans tous les pays, sauf en Grande-Bretagne, la production d'électricité d'origine nucléaire représente donc encore une part très faible de la production totale d'électricité. La raison principale est que les centrales actuellement en service ne sont pas encore compétitives avec les centrales thermiques.

Dans l'Europe des Six, l'Italie reste le premier producteur d'électricité d'origine nucléaire, bien qu'aucune nouvelle centrale nucléaire n'ait été mise en chantier depuis presque dix ans. Cependant l'E. N. E. L. (homologue italien de l'E. D. F.) a annoncé son projet de commencer fin 1968 la construction d'une centrale de 600 à 700 MW, puis une autre d'égale puissance chaque année suivante pendant quatre ans.

L'Allemagne a déjà en service ou en construction quatre centrales à eau légère, un réacteur à gaz à haute température et deux réacteurs à eau lourde. Mais c'est la mise en service, en 1972, de

deux réacteurs à eau légère d'environ 600 MW chacun qui devrait marquer le véritable démarrage de la production d'électricité d'origine nucléaire dans ce pays. Ces deux centrales devraient produire de l'énergie à un taux inférieur à celui des centrales thermiques les plus modernes selon les déclarations des sociétés intéressées.

La Belgique a décidé la construction de deux centrales à eau légère de 750 MW environ (Tihange et Doel).

Quant aux Pays-Bas, qui ont déjà réalisé une centrale à eau bouillante de 50 MW, ils envisagent la construction d'une centrale nucléaire de 400 MW.

La Suisse va mettre en service deux réacteurs à eau sous pression de 350 MW (respectivement en 1969 et en 1972). D'autres projets sont à l'étude, en particulier celui d'une centrale à eau légère de 700 MW qui serait construite à Kaiseraugst, avec la participation d'E. D. F.

En Grande-Bretagne, le Gouvernement a décidé la mise en service de 8.000 MW nucléaires au cours des six années 1970-1975 dans la filière A. G. R. (1) (gaz-graphite-uranium enrichi). Plus de 40 % de la puissance électrique commandée chaque année devrait désormais être nucléaire. Les dernières centrales A. G. R. engagées doivent être compétitives avec les centrales thermiques les plus modernes brûlant du charbon national.

C'est aux Etats-Unis que la progression de la production d'électricité d'origine nucléaire va être la plus rapide ; les commandes de réacteurs qui n'atteignaient dans ce pays que sept unités pour une puissance de 4.200 MW en 1965 sont, en effet, passées de 21 unités pour 16.700 MW en 1966 à 30 unités pour 24.400 MW en 1967. Il convient cependant de noter que le rythme des commandes semble s'être légèrement ralenti en 1968.

Ce développement rapide contraste avec l'évolution beaucoup plus lente observée dans les autres pays. Les raisons en résident notamment dans l'importance du marché américain, la grande concentration des entreprises américaines et dans le fait qu'en Europe, l'intégration des grandes unités dans les réseaux actuels peut poser certains problèmes tenant aux dimensions de ces réseaux.

L'U. R. S. S. dispose d'un large potentiel hydraulique et de vastes ressources en combustibles fossiles. Elle ne ressent donc pas un besoin pressant d'utiliser l'énergie nucléaire qui, avec les tech-

---

(1) Advanced Gas Reactor.

niques actuelles, ne pourrait pas être compétitive dans les régions de production massive d'énergies classiques. Mais, dans certaines régions, le développement de l'énergie nucléaire présente déjà de l'intérêt.

L'essentiel du programme de réacteurs de puissance pour les prochaines années est basé sur la filière à eau pressurisée ; 3.200 MW devraient être réalisés dans cette filière pour 1973-1975. Mais c'est l'étude des réacteurs surrégénérateurs refroidis au sodium qui semble constituer le principal objectif des réalisations dans le domaine nucléaire ; deux grosses unités de 350 et de 600 MW sont actuellement en construction.

Compte tenu des renseignements peu abondants divulgués par l'U. R. S. S., il semble que la part de la production d'électricité d'origine nucléaire dans l'ensemble de la production d'électricité soit faible et ne doive pas être augmenté rapidement dans les prochaines années.

Dans tous les pays considérés ci-dessus des efforts importants sont entrepris pour la mise au point des réacteurs surrégénérateurs refroidis au sodium. Plusieurs pays s'intéressent également aux réacteurs à gaz à haute température (principalement la Grande-Bretagne, les Etats-Unis et l'Allemagne) et aux réacteurs à eau lourde.

## 5° LE CHOIX DES FILIÈRES

Pendant des années, la politique française de construction de centrales nucléaires a été dominée par l'affirmation dogmatique que seuls les réacteurs à uranium naturel modéré au graphite et refroidi au gaz carbonique — la filière « graphite-gaz » — répondaient à nos besoins.

A la vérité, à côté de cette filière utilisée pour les trois centrales de Chinon, celles de Saint-Laurent-des-Eaux et celles qui sont prévues dans le cadre du V<sup>e</sup> Plan, il existe une filière à l'uranium enrichi utilisée par les constructeurs américains de la General Electric (uranium enrichi, eau ordinaire) et par les constructeurs anglais du réacteur A. G. R. (haute température, uranium enrichi, graphite et gaz) et une filière utilisant l'uranium naturel et l'eau lourde sous pression, mise au point notamment au Canada et dite « filière Candu » (Canadian Deuterium Uranium).

D'ailleurs, la France était le seul pays à prôner jusqu'alors d'une manière inconditionnelle l'emploi de l'uranium naturel comme combustible.

Le succès des centrales nucléaires de la General Electric et de Westinghouse, à uranium enrichi a amené, cependant, notre pays à se poser la question de savoir s'il fallait modifier son orientation première.

Electricité de France, notamment, soucieuse de produire et de vendre des kilowatts-heure au meilleur compte, a posé le problème dans son rapport annuel de gestion, dès 1965, et à nouveau en 1966 et en 1967, dans les termes suivants :

« Devant l'intérêt économique de l'énergie nucléaire, il pourra être opportun d'envisager l'exécution du programme maximum de 4 millions de kilowatts et, dans cette perspective, le Service national comme le Commissariat à l'Energie atomique estiment que la possibilité d'explorer complémentaiement telle ou telle filière de réacteur éprouvé utilisant de l'uranium enrichi et connaissant d'importantes applications à l'étranger ne devrait pas être exclue. » (1)

Dans le rapport de 1966, Electricité de France précise à nouveau :

« Dans le cadre du V<sup>e</sup> Plan, le programme ferme des centrales nucléaires est axé sur l'exploitation de la filière uranium naturel graphite-gaz mais, ainsi que cela a été souligné dans le rapport de l'année 1965, notre établissement ne peut se désintéresser pour autant des autres techniques ; animé par le souci de produire l'énergie électrique dans les meilleures conditions d'économie et de sécurité, il en suit le développement avec une extrême attention. » (2)

Enfin, dans le rapport de 1967, il est dit :

« ... Les progrès de l'ensemble des techniques nucléaires ont été suivis cette année comme en 1966 avec une extrême attention.

« Aussi l'établissement a-t-il participé activement aux études relatives au développement du programme nucléaire français. Ces études ont conduit le Gouvernement à prendre, au mois de décembre, des décisions tendant à poursuivre les efforts entrepris dans

---

(1) Rapport de gestion d'Electricité de France de 1965 (p. 28).

(2) Rapport de gestion d'Electricité de France de 1966 (p. 28).

la filière « uranium naturel-graphite-gaz » et à *acquérir l'expérience voulue dans la filière, en développement rapide dans le monde, des réacteurs à uranium enrichi et eau légère.* » (1)

Ce problème crucial du choix des filières a fait l'objet des travaux de la Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire qui, sous la présidence de M. Couture, Secrétaire général à l'Energie, a examiné les perspectives des différentes filières dans le contexte français.

Dans un premier temps, les conclusions suivantes semblaient avoir été retenues :

1° Compte tenu de la diminution de leur coût de construction, il faut continuer à construire des centrales à uranium naturel et, pour cela, franchir la prochaine étape qui est inscrite au V<sup>e</sup> Plan, à savoir la réalisation de la centrale de 650 MW de Fessenheim, sur le Rhin (mais, fin juillet 1968, la construction de cette centrale a elle-même été remise en question) ;

2° Il a paru souhaitable que la France acquière une expérience valable en matière de centrales à uranium enrichi compte tenu de l'importance de la contribution que ce genre d'installations peut apporter à l'équipement nucléaire du pays dans les années à venir. On pourrait donc concevoir l'engagement d'une centrale à uranium enrichi modérée et refroidie à l'eau, d'une puissance d'environ 600 MW, dans l'actuel Plan de développement économique et social.

Mais cette conclusion pose le double problème de l'approvisionnement en combustible et des conditions de construction de cette centrale.

L'étude de la réalisation, en France, d'un programme de réacteurs à uranium enrichi ne peut donc, en premier lieu, être dissociée de celle de son approvisionnement.

Evidemment, une solution possible consiste à avoir recours aux sources américaines ou anglaises, mais indépendamment du contrôle d'utilisation pacifique auquel est soumis cet uranium, le Gouvernement français peut considérer qu'il n'est pas admissible, tant sur le plan politique que sur celui de l'indépendance énergétique, de dépendre de cette seule source d'approvisionnement

---

(1) Rapport de gestion d'Electricité de France de 1967 (p. 12).

si ce type de réacteur devait constituer un jour une part notable du parc de centrales nucléaires en France. Le problème d'une source d'approvisionnement nationale doit donc être examiné.

En pratique, la production de grandes quantités d'uranium faiblement enrichi destiné à alimenter les centrales nucléaires implique des débits de production beaucoup plus grands que ceux d'une usine produisant des quantités limitées d'uranium à fort enrichissement. C'est pourquoi une telle option impliquerait la construction de nouveaux étages de séparation de taille importante pour traiter efficacement de tels débits.

Deux optiques peuvent être alors envisagées selon l'importance du programme éventuel des centrales à uranium enrichi. Si les besoins sont relativement modestes, on peut envisager d'ajouter à l'usine basse actuelle de Pierrelatte des étages importants, ce qui conduirait à un complexe produisant à la fois de l'uranium à usage militaire et de l'uranium à usage civil. Par contre, si l'importance du programme d'électricité d'origine nucléaire l'imposait, des étages encore plus importants devraient être construits en réutilisant toutefois le maximum d'éléments existants et l'on serait probablement conduit à séparer les deux ensembles, sans les rendre pour autant totalement indépendants l'un de l'autre, l'un spécifiquement militaire, l'autre tourné largement vers les applications civiles en les situant toutefois tous deux à Pierrelatte.

Le prix de revient de l'uranium n'a pas une valeur fixe, mais dépend de la taille des usines, donc de la puissance d'électricité nucléaire installée. L'effet de taille est un facteur très favorable à la diminution du prix de revient de l'uranium enrichi et l'on a intérêt à prévoir une production importante si l'on veut s'approcher d'assez près du prix américain. La question se pose alors de savoir s'il ne faut pas chercher à dépasser le cadre purement national.

A la vérité, on peut concevoir à la fois l'extension de l'usine de Pierrelatte et la participation de la France à une usine de séparation isotopique construite dans le cadre de l'Europe.

On mesure par ces quelques développements la complexité du problème de l'approvisionnement en uranium enrichi.

Consultée sur ce point, la « commission Péon », dans son rapport d'avril 1968, a estimé qu'en vue d'un développement éventuel de la filière à eau ordinaire, il convenait de poursuivre les études d'amélioration et d'analyse économique relatives à une telle

usine ; de telles études sont en cours actuellement au C. E. A. ; la « commission Peon » a conclu d'autre part que, pour des raisons de capacité minimale liées au coût de l'enrichissement, *l'engagement d'une usine susceptible de répondre aux seuls besoins nationaux ne saurait être envisagée avant le VII<sup>e</sup> Plan ; celui d'une usine pouvant répondre à des besoins élargis pourrait par contre se justifier vers la fin du VI<sup>e</sup> Plan.*

Mais la réalisation en France d'un programme de réacteur à uranium enrichi pose également la question de savoir dans quelles conditions ce réacteur sera construit.

Doit-on se borner à faire construire des centrales par une industrie française qui travaillerait sous licence américaine ? Doit-on, au contraire, envisager de mettre au point en France un nouveau modèle de centrale à uranium enrichi et eau légère ? Choisira-t-on la voie de l'acquisition de licences ou celle d'un effort national ?

*Votre commission des Affaires économiques et du Plan demande au Gouvernement d'informer le Sénat des conclusions auxquelles il est maintenant arrivé et des orientations qu'il compte donner, dans les années qui viennent, à la production d'énergie électrique d'origine nucléaire.*

#### IV. — Activités des centres d'études nucléaires.

Les activités des centres de Saclay, Fontenay-aux-Roses, Grenoble et Cadarache sont complémentaires dans la plupart des domaines.

Les recherches sur les générateurs d'énergie s'effectuent principalement à Saclay, Fontenay-aux-Roses et Cadarache : les études sur les filières à neutrons thermiques sont poursuivies à Saclay et à Cadarache, Cadarache étant consacré surtout à l'expérimentation sur les éléments combustibles grâce à la pile « Pégase » et le laboratoire à très haute activité associé. Les études sur les surrégénérateurs se développent sur tous les centres mais elles sont pour leur plus grande part menées à Cadarache où sont implantées les principales installations (« Rapsodie », « Mazurca », métaux liquides, atelier plutonium, etc.) et à Fontenay-aux-Roses pour les éléments combustibles au plutonium.

La recherche fondamentale s'exerce à Saclay (physique des particules élémentaires, physique nucléaire, physique des plasmas, physique du solide, biologie, etc.), à Fontenay-aux-Roses (plasmas, fusion contrôlée) et à Grenoble (physique du solide, biologie, etc.).

Les études liées à la production des matières nucléaires se développent à Fontenay-aux-Roses (traitement des combustibles irradiés), à Saclay (séparation des isotopes de l'uranium) ainsi que sur les centres de production de Marcoule, La Hague, Pierrelatte. C'est à Saclay qu'est assurée la production des radio-éléments et molécules marquées. Fontenay-aux-Roses dispose d'importantes installations pour les études de protection sanitaire, tandis que les études de radio-écologie se développent à La Hague pour la radio-écologie marine, à Cadarache pour la radio-écologie terrestre. A Cadarache sont implantées également les recherches sur le traitement des effluents radioactifs, et un ensemble important d'installations expérimentales consacrées aux études de sûreté nucléaire.

Nous verrons successivement :

- les études concernant la production d'énergie ;
- la recherche fondamentale ;
- les radio-isotopes et l'utilisation du rayonnement ;
- enfin, les autres missions du C. E. A.

## 1° LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

La génération d'énergie atomique concerne presque exclusivement la production d'électricité qui, seule, a débouché à ce jour ; mais le C. E. A. examine également les autres applications potentielles : dessalement, propulsion navale marchande, chauffage urbain et industriel.

Pour accomplir cette mission, le C. E. A. procède aux études correspondantes et assure la construction, le fonctionnement et l'entretien d'ouvrages utilisés pour guider ou contrôler ces études, réacteurs destinés à tester les combustibles, laboratoires spécialisés pour l'examen des combustibles irradiés, assemblages critiques permettant d'étudier les problèmes neutroniques des différentes filières.

Le C. E. A. assure également l'exploitation du réacteur expérimental « Rapsodie » et l'exploitation de la chaudière nucléaire du réacteur prototype « EL 4 ».

A. — *Programme relatif aux générateurs d'énergie.*

Outre les centrales déjà en service ou celles décidées avant 1967, les orientations suivantes ont été prises :

— réalisation de deux centrales graphite-gaz-uranium naturel à Fessenheim, qui semble cependant retardée compte tenu des nouvelles conditions de production des centrales thermiques classiques approvisionnées en fuel à 0,6 centime la thermie ;

— participation française à la centrale à eau ordinaire de Tihange (Belgique) qui permettra d'acquérir une expérience sur les réacteurs à eau ordinaire. Une participation française est également envisagée à la centrale de Kaiseraugst (Suisse) ;

— étude par l'industrie française des caractéristiques économiques d'une grande centrale à eau lourde ;

— examen de l'intérêt des réacteurs à haute température, la participation française par l'intermédiaire d'Euratom au projet Dragon de l'Agence européenne d'Énergie nucléaire étant maintenue ;

— poursuite de l'effort en cours pour les réacteurs à neutrons rapides avec, en particulier, réalisation du réacteur « Phénix » 250 MWe.

a) *Filière graphite-gaz :*

L'effort porte principalement sur les combustibles qui sont renouvelables et qui constituent une responsabilité prioritaire du C. E. A. Le perfectionnement le plus important prévu consiste en l'utilisation décidée en 1968 d'un nouveau combustible à âme graphite. Ce dernier permettra d'améliorer la fiabilité et les performances et d'accroître la durée de vie en pile des combustibles.

Par ailleurs, les études d'amélioration suscitées par l'expérience acquise sur les réacteurs en service ou en construction se déroulent en collaboration avec E. D. F. pour beaucoup d'entre elles, notamment pour les centrales de Chinon.

Les études relatives au réacteur « Bugey 1 », dont les caractéristiques sont très différentes des autres centrales graphite-gaz (mise en service en 1972) se poursuivront au-delà de 1969 pour certaines d'entre elles. D'autres, amorcées par ailleurs sur les prolongements possibles de la filière graphite-gaz se poursuivront en 1969. On envisage d'étudier entre autres l'utilisation de turbine à gaz carbonique.

b) *Réacteurs à eau* :

Ceux-ci comprennent :

- les réacteurs à eau ordinaire (pressurisée et bouillante) ;
- les réacteurs à eau lourde.

Il paraît difficile d'imaginer que les programmes français ne comprendront pas dans le futur l'une ou l'autre de ces formules qui sont estimées attrayantes à l'étranger.

*Pour l'eau ordinaire*, on s'attache à présent au recensement des problèmes que pourrait poser la construction d'unités de puissance en France, avec le soin de tirer le meilleur parti de l'acquis obtenu au C. E. A. par la réalisation et l'exploitation des réacteurs pour sous-marins. Les études sur les mécanismes de l'ébullition seront poursuivies en 1969. Les études sur les réacteurs à eau ordinaire s'orientent toutefois vers une aide au développement de l'industrie privée dans l'optique de réalisations possibles.

En ce qui concerne *l'eau lourde*, l'effort sur la version refroidie au gaz, limité en 1968 à la seule optimisation du fonctionnement du réacteur prototype EL 4 utilisé également comme réacteur d'irradiations, sera réduit au maximum en 1969. L'attention déjà portée en 1968 sur les versions refroidies à l'eau lourde de type canadien se concrétisera principalement par le lancement d'études mécaniques et l'examen des conditions économiques d'une réalisation éventuelle.

c) *Filières à neutrons rapides* : « *Rapsodie et Phénix* » :

La mise au point d'une filière de réacteurs surrégénérateurs est considérée comme très importante à terme pour le plein développement de l'énergie nucléaire. La réussite du réacteur « *Rapsodie* » place la France en bonne position dans la course internationale. Ce réacteur expérimental au plutonium est un moyen d'étude de première importance, à la fois par son fonctionnement qui constitue un banc d'essai de composants et de matériaux, et par les possibilités d'irradiations en flux de neutrons rapides qui sont indispensables pour la mise au point des éléments combustibles. En 1968, la marche satisfaisante du réacteur et la bonne tenue des composants permettaient même d'envisager une augmentation de puissance nettement supérieure (entre 35 et 40 MW). Des études sont en cours sur ce projet, baptisé « *Rapsodie Fortissimo* ». La réalisation permettra d'accélérer beaucoup les irradiations des combustibles de la filière.

Les problèmes majeurs de la filière concernent la neutronique, la mécanique, les combustibles, la sécurité et le contrôle. Depuis 1967, toutes ces études se sont cristallisées autour de l'avant-projet du réacteur « Phénix », prototype de 250 MW électriques dont la construction doit démarrer à Marcoule en 1969. On s'est efforcé d'y mettre en œuvre des solutions extrapolables à la filière.

Un gros effort a été nécessaire pour éclairer les décisions qui restaient à prendre dans les divers domaines (matériaux de structure, protections intégrées, dispositifs de manutention, barres de contrôle, pompes, échangeurs, instrumentation). La géométrie de l'assemblage de combustible a été fixée. Restent à mettre au point les détails technologiques de fabrication, pour lesquels on attend les résultats des irradiations en cours. L'avant-projet a été terminé dans le premier semestre de 1968. La construction sous la maîtrise d'œuvre du C. E. A. est confiée à une équipe mixte C. E. A.-E. D. F.-industrie privée.

Par ailleurs, les recherches portent encore pour cette filière sur des problèmes et sur des solutions plus élaborées en vue d'améliorations et d'économies.

Les premiers travaux de terrassement ont commencé sur le site du réacteur de Marcoule et les caractéristiques des gros équipements du réacteur devraient avoir été fixées au début de 1970. Phénix constitue une étape essentielle sur la voie qui doit conduire ultérieurement à la réalisation de centrales spéciales à neutrons rapides.

## 2° RECHERCHE FONDAMENTALE EN PHYSIQUE ET BIOLOGIE

Le C. E. A., comme la plupart des grands organismes chargés du développement de l'énergie atomique dans le monde, poursuit un important programme de recherche fondamentale, notamment dans le domaine de la physique et de la biologie.

### A. — *Physique des particules élémentaires.*

En ce qui concerne les accélérateurs, l'activité des équipes de physiciens s'est partagée entre l'expérimentation sur « Saturne » (3 GeV), sur l'accélérateur britannique de « Nimrod » (7 GeV) et sur le synchrotron à protons du C. E. R. N. (28 GeV).

Le C. E. A. a poursuivi l'amélioration de « Saturne », qui reste pour l'instant notre seul synchrotron à protons national.

La construction des grandes chambres à bulles « Mirabelle » (chambre à hydrogène liquide de 6 mètres cubes) et « Gargamelle » (chambre à liquides lourds), s'est poursuivie activement à Saclay. La mise en place de ces chambres auprès des deux plus grands accélérateurs européens, respectivement « Serpukhov » (70 GeV) pour « Mirabelle » et le C. E. R. N. (28 GeV) pour « Gargamelle », assurera une participation active des physiciens français auprès des expériences menées sur ces accélérateurs. D'autre part, le C. E. A. poursuit sa participation à la réalisation de la grande chambre à hydrogène du C. E. R. N. dont la mise en service est prévue pour 1971.

#### B. — *Radio-isotopes et utilisation du rayonnement.*

##### a) *Production de radio-éléments et molécules marquées :*

L'utilisation et la production des radio-éléments continuent à se développer selon un rythme rapide, le taux global de développement de la production des radio-éléments a été de 23 % en 1967 contre 30 % en moyenne les années antérieures. On estime qu'un rythme de croissance de 20 % devrait se maintenir pendant les cinq ans à venir.

Depuis 1967, les moyens de la nouvelle pile « Osiris » viennent compléter ceux déjà utilisés pour la production de cobalt 60. Pour le cobalt à haute activité spécifique, on envisage la possibilité d'emploi du réacteur « EL 4 ». En général, une part croissante des besoins sera couverte à l'avenir par les nouveaux réacteurs français.

Dans le domaine des molécules marquées par voie chimique, une soixantaine de produits nouveaux ont été préparés en 1967. Un effort constant doit être maintenu pour accroître et diversifier ces productions et pour améliorer les prix de revient des produits dont le marché est suffisant.

Pour les molécules marquées par voie biologique, les activités se développent en fonction de la demande française en général et de celle des biochimistes du C. E. A. en particulier. Les applications futures dépendant beaucoup des possibilités de production,

les recherches sont menées activement pour étendre l'utilisation des procédés connus et pour mettre en œuvre des techniques nouvelles de préparation.

b) *Séparation des produits de fission :*

Dans ce domaine, le programme est principalement orienté sur la récupération du césium 137 et du strontium 90. Un procédé de séparation a été mis au point à Saclay et Marcoule courant 1966-1967, à l'échelle pilote. Une installation semi-industrielle en cours de construction récupérera dès 1969 le césium 137 produit à Marcoule. Une unité industrielle est envisagée pour la récupération des quantités importantes contenues dans les combustibles traités à l'usine de La Hague. Les mêmes travaux sont effectués sur le strontium 90 dont la récupération semi-industrielle est prévue d'ici à deux ou trois ans environ. Ce programme comporte également l'étude de la séparation des terres rares comme le prométhium 147, le cérium 144, également utilisables pour certains générateurs isotopiques.

c) *Utilisation des radio-éléments, des isotopes stables et des rayonnements :*

*Applications médicales.* — Le développement en ce domaine est principalement assuré à Orsay par le Service hospitalier Frédéric-Joliot. De nouvelles méthodes et dispositifs ont été développés, notamment en scintigraphie en couleur, radiocardiographie, analyse par radioactivation. On envisage l'adaptation des moyens en 1969 par l'équipement d'un petit cyclotron et l'extension du Service.

*Applications agronomiques.* — A Cadarache, on a obtenu des résultats sur l'efficacité biologique des neutrons en radiogénétique, et des progrès ont été accomplis à l'échelle industrielle dans la conservation des céréales. En biochimie végétale on a poursuivi l'étude des antagonismes entre éléments au niveau de l'évolution biochimique des terres rares. Les études d'applications profitables aux techniciens de l'agronomie, en agrologie, pédologie, cynétique, entomologie, etc. seront poursuivies.

*Applications industrielles.* — L'effort de développement du C. E. A. est étroitement lié à celui des sociétés privées qui doivent en assurer l'exploitation industrielle. Cette politique s'est poursuivie sous forme d'aide technique ou de passation de contrats d'études dans les domaines des traceurs, de l'analyse par activation et des

jauges à radioéléments. L'analyse par activation sous accélérateur a connu un début d'application industrielle qui semble particulièrement prometteur. Les études menées par le C. E. A. visent, d'une part, à développer les possibilités des ensembles d'analyses, d'autre part, à automatiser aux maximum les opérations.

L'étude des déplacements de sédiments par traceurs radioactifs a également progressé rapidement en collaboration avec des Organismes publics ou privés. On a également enregistré un certain nombre de résultats positifs dans l'irradiation de caoutchouc naturel, de fibres textiles, de combinaisons bois-plastique, ouvrant de nouvelles possibilités industrielles.

Le C. E. A. mettra en service, fin 1968, un Centre d'application des rayonnements ionisants qui aura pour objet de promouvoir avec l'industrie privée les techniques nouvelles utilisant les rayonnements.

c) *Biologie* :

La recherche biologique, menée principalement à Saclay et à Cadarache, présente une orientation physio-chimique bien établie. Elle s'accorde avec la tendance générale de la recherche biologique ainsi qu'avec le souci d'utiliser au mieux les moyens scientifiques et techniques propres aux Centres d'études nucléaires.

Aussi, sont développées des études sur les échanges énergétiques à l'échelon moléculaire, ce qui englobe à la fois les travaux faits sur la perméabilité des membranes, sur l'action des rayonnements sur la protéine contractile du muscle, sur la photosynthèse.

L'utilisation des techniques nucléaires en physiologie humaine se développe notamment dans le cadre du Service hospitalier Frédéric-Joliot, à Orsay.

A Grenoble se poursuivent, d'autre part, les travaux de radiobiologie fondamentale ou appliquée et de cancérologie expérimentale.

### 3° AUTRES MISSIONS DU C. E. A.

Parmi les autres missions du C. E. A., votre rapporteur retiendra plus particulièrement l'attention du Sénat sur :

- la protection ;
- le dessalement des eaux salées ;
- et le problème des déchets radio-actifs.

A. — *Protection.*

Dans le domaine de la protection sanitaire, il faut souligner la mise en service fin 1967 d'un grand laboratoire à Fontenay-aux-Roses regroupant la plupart des activités (en particulier les études sur le métabolisme des radio-éléments) et la mise en service en 1968 à La Hague d'un laboratoire de radio-écologie marine qui permettra d'accueillir les chercheurs intéressés par cette discipline.

Pour les effluents et déchets, l'objectif est d'assurer le traitement avant rejet ou le confinement des résidus radio-actifs liquides ou solides résultant de l'activité des centres de recherche ou de production. Il s'agit d'un programme permanent qui se traduira en 1969 par la poursuite des études sur les traitements par résines échangeuses d'ions pour les effluents liquides et l'enrobage par le bitume pour les déchets solides.

En ce qui concerne les produits de fission de très haute activité, on cherche à mettre au point des procédés de vitrification permettant un stockage sous forme solide beaucoup plus sûr. Une installation pilote de vitrification sera mise en activité en 1969 et devra permettre la définition d'installations industrielles pour les usines de La Hague et de Marcoule.

B. — *Dessalement des eaux salées et saumâtres.*

Le C. E. A., sous l'égide d'une commission présidée par le Ministre d'Etat chargé de la Recherche scientifique et des Questions atomiques et spatiales, a été chargé de l'établissement et de la mise en œuvre d'un programme d'études et de développement des procédés de dessalement de l'eau de mer. Ce programme, principalement basé sur la distillation, a débuté en 1967 en collaboration avec les industries intéressés. Une station expérimentale a été équipée à Toulon par transformation de la station d'essais des bouilleurs de la Marine.

En pratique, l'action du C. E. A. est double : d'une part, il collabore à la réalisation et à la mise en exploitation dans quelques mois de l'usine de Nouakchott en Mauritanie ; d'autre part, il procède pour l'industrie à des études de base sur la corrosion, l'entartrage, le prétraitement des eaux, pour lesquelles la Station d'essai des bouilleurs de la Marine de Toulon a été équipée. L'étude d'une

unité pilote de dessalement a été lancée ; l'examen de son intérêt et la détermination de son coût de réalisation se poursuivront en 1969.

C. — *Le problème des effluents radioactifs.*

Le Commissariat à l'Energie atomique, depuis une dizaine d'années, a acquis une importante expérience en matière de gestion des déchets radioactifs qui lui permet de traiter, stocker et rejeter une fois décontaminés d'une manière sûre, toute la gamme des déchets produits en France soit au C. E. A., soit dans les organismes extérieurs au C. E. A.

Les principes généraux en ce domaine n'ont pas subi de changement par rapport aux années précédentes. Un souci constant d'amélioration permet encore d'augmenter l'efficacité des procédés de décontamination, de rendre plus sûr le confinement des résidus radioactifs et d'abaisser les prix de revient des traitements et des stockages.

La politique suivie propose, selon le cas :

— soit de disperser les résidus (effluents gazeux et liquides), préalablement décontaminés, dans le milieu ambiant (atmosphère, réseau hydrologique, mer), cette dispersion s'effectuant à des niveaux d'activité compatibles avec les recommandations, les directives ou les règlements émanant des organismes compétents et avec la situation particulière de chaque centre ;

— soit de contenir les éléments radioactifs par un conditionnement approprié (présentant une bonne résistance à la lixiviation), soit de les placer dans des formations géologiques où leur diffusion se trouvera très limitée, afin d'éviter qu'ils ne puissent arriver jusqu'à l'homme, notamment par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

En 1968, un certain nombre d'améliorations ont été réalisées ou mises à l'étude.

Pour les *effluents gazeux*, il s'agit ici essentiellement de pièges pour l'iode radioactif (mise au point de charbons spéciaux plus efficaces) et de filtres pour des gaz à très haute température nécessaires pour la filtration et la décontamination des gaz d'incinérateurs de déchets radioactifs, ces filtres pouvant avoir des applications non nucléaires intéressantes (filtration des gaz de combustion classique : incinérateurs, chaudières, moteurs à explosion).

Pour les *effluents liquides de faible activité*, un traitement supplémentaire et une nouvelle ségrégation des effluents liquides du Centre de Marcoule ont permis de diminuer les activités résiduelles des effluents traités.

Dans les procédés nouveaux de stockage des *boues ou des liquides radioactifs*, les études générales sur l'injection dans le sol se poursuivent afin d'être à même d'utiliser ce procédé si le besoin s'en fait sentir.

Par ailleurs, les *effluents liquides de haute activité* sont, pour le moment, stockés dans les centres nucléaires qui les produisent ; ils ne représentent heureusement que de faibles volumes. Des études en cours sont effectuées pour la vitrification des produits de fission. Un atelier pilote, construit à Marcoule afin de permettre d'industrialiser ce procédé, a commencé ses premières opérations.

Enfin, les améliorations entreprises pour le tri, le traitement et le conditionnement des déchets solides se poursuivent dans un souci d'efficacité associé à l'économie. C'est ainsi que le Centre de Saclay, qui traite tous les déchets de la région parisienne (C. E. A. et hors C. E. A.), étudie un projet de cellule pour traiter les déchets de très haute activité.

En outre, quelques actions particulières peuvent être signalées.

Courant 1967, le Commissariat à l'Energie atomique français a participé au rejet expérimental en mer, préparé et réalisé sous l'égide de l'Agence européenne pour l'Energie nucléaire, dans une fosse profonde de l'Atlantique. A ce rejet, la France était associée à cinq autres pays membres de l'Agence. Les opérations, qui ont débuté le 17 mai et se sont terminées le 21 août 1967, se sont déroulées dans de très bonnes conditions.

Cette action n'a pas été renouvelée en 1968, mais elle paraît ouvrir des perspectives d'avenir intéressantes.

Le Commissariat à l'Energie atomique a poursuivi la création d'une Société de Service (Infratome) chargée de stocker les déchets solides des installations publiques ou privées. Il a été élaboré un projet de convention entre le C. E. A. et Infratome définissant les modalités d'exploitation. Les premières installations de cette société devant être implantées sur les terrains appartenant au Centre de La Hague, le Commissariat restera responsable de l'ensemble de l'opération, notamment en matière de sécurité radioactive.

Les premiers stockages par les soins d'Infratome sont prévus pour le premier semestre 1969.

Enfin, les effluents radioactifs liquides du Centre de Saclay étant toujours en augmentation notable (volume et activité), une étude a été entreprise afin d'examiner l'opportunité d'équiper la Station de traitement des effluents de ce Centre d'un évaporateur.

A l'aide de cette installation il serait possible de décontaminer plus aisément tous les effluents radioactifs liquides du Centre et des organismes rattachés et d'éliminer ensuite les eaux tritiées qu'il n'est pas possible de traiter par les moyens conventionnels.

Il apparaît donc que les problèmes concernant les effluents radioactifs sont toujours traités en France avec un souci très poussé d'efficacité, sans oublier le point de vue économique, ce qui permet ainsi de développer les applications de l'énergie nucléaire dans les meilleures conditions et sans risque pour les travailleurs et la population civile.

\*  
\* \*

Accessoirement, signalons que le C. E. A. a créé à la fin de 1967, à Grenoble, un laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique, qui regroupe des moyens du C. E. A. et de l'industrie et a pour mission de développer les composants nouveaux nécessaires à une industrie française originale de grands calculateurs (mémoires à couche mince, à fil, circuits intégrés, etc.). A Saclay, un laboratoire d'études sur les nouveaux détecteurs de rayonnement (semi-conducteurs notamment) et un laboratoire d'électronique moléculaire sont en cours d'installation.

## **V. — L'incidence de la construction de l'Europe sur le développement de l'énergie nucléaire.**

### **1° LA POLITIQUE COMMUNE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE**

Le Traité d'Euratom ne contenant pas de règles spécifiques sur la définition d'une politique commune de l'énergie nucléaire, mais seulement quelques dispositions éparses, soit d'ordre général (art. 2 du Traité) soit incluses dans des domaines particuliers d'application du Traité (recherche, par exemple), l'engagement

des Gouvernements des Etats membres de définir une politique commune de l'énergie nucléaire est constitué essentiellement par le protocole sur la politique énergétique, signé en avril 1964 par les six gouvernements réunis au sein du Conseil spécial des ministres de la C. E. C. A.

Ce protocole contient, comme on le sait, un paragraphe intitulé « énergie nucléaire » et qui est libellé comme suit :

« En ce qui concerne l'énergie nucléaire, les Gouvernements sont disposés, dans le cadre et selon les modalités du Traité créant la C. E. C. A., à promouvoir et à intensifier l'action de recherche, d'expérimentation et d'aide au développement industriel nucléaire dans la Communauté, afin de permettre à cette nouvelle source d'énergie d'apporter, dès que possible, toute la contribution qu'elle pourra fournir, dans des conditions économiques, à la couverture des besoins en énergie dans la Communauté. »

Jusqu'en juillet 1967, date de la fusion des institutions, la Commission de l'Euratom n'a formulé aucune proposition incitant les instances du Conseil des Ministres, à adopter une position en matière de politique commune de l'énergie nucléaire.

Le premier programme indicatif publié par la Commission d'Euratom en 1966 et portant, comme le précise l'article 40 du Traité, sur les objectifs de production d'énergie nucléaire ainsi que sur les investissements qu'implique leur réalisation, constitue, dans le cadre communautaire, le seul document de référence. Mais il convient de remarquer que ce programme n'a, conformément à l'article 40 précité, qu'un caractère indicatif ne comportant aucune obligation tant à l'égard des Etats que des entreprises de la Communauté.

Il convient toutefois de noter que la nouvelle commission unique — dite Commission des communautés européennes — paraît attacher une importance particulière à la définition d'une politique commune de l'énergie et l'a fait figurer dans la liste des actions à mener en priorité. Elle n'a cependant pas encore soumis de propositions aux Etats membres.

## 2° LA POSITION ACTUELLE DU GOUVERNEMENT FRANÇAIS VIS-A-VIS DE L'ACTIVITÉ D'EURATOM ?

Indépendamment des activités d'ordre réglementaire et administratif qui n'appellent pas de commentaires particuliers, l'essentiel des activités d'Euratom depuis sa création le 1<sup>er</sup> janvier 1958 a porté sur la réalisation de deux programmes quinquennaux de recherche, dont les engagements de dépenses se sont élevés au total à 645 millions d'unités de compte (soit 3,2 milliards de francs) pour la période décennale 1958-1967.

Ces programmes ont été réalisés dans des proportions sensiblement égales, d'une part, dans les établissements du Centre commun de recherches et, d'autre part, dans le cadre de contrats d'études ou d'association conclus par la Communauté avec des organismes publics et privés des pays membres : commissions atomiques, universités et industries.

Cette formule communautaire d'activité a eu pour avantage, dans certains secteurs, de favoriser la coordination des recherches et la diffusion des connaissances et de répartir les tâches et les risques. Ce fut le cas en particulier pour quelques domaines exempts de préoccupations économiques à court terme tels la fusion thermonucléaire, la radioprotection ou la « métrologie » nucléaire (constantes et étalons).

En revanche, dans d'autres domaines, et notamment dans le secteur le plus important, celui des réacteurs nucléaires destinés à la production d'énergie électrique, le bilan est beaucoup plus décevant, et ceci pour plusieurs raisons :

— la première réside dans l'absence de politique commune en matière industrielle. Dès lors que l'exploitation de l'énergie atomique entre dans une phase industrielle et commerciale et commence à susciter de puissants intérêts économiques, la coopération en matière de recherche entre plusieurs nations ne peut être fructueuse que dans la mesure où elle s'exerce dans le cadre d'une stratégie industrielle équitable et efficace. Il s'agit là d'un problème qui n'est pas spécifique à l'énergie nucléaire dans le Marché commun et dont la solution est rendue très complexe par la très grande disparité des intérêts et des structures des six partenaires ;

— en second lieu, l'efficacité des programmes communautaires qui constituent en vertu du Traité un complément des programmes nationaux a été considérablement affectée par une dispersion excessive des recherches, dispersion coûteuse qui est due autant aux surenchères de certains partenaires qu'au souci de la commission de contrôler une gamme d'activité aussi étendue que possible ;

— enfin, l'utilisation exclusive de la procédure des programmes communs a conduit à des situations aberrantes sur le plan de la coopération : elle permet en effet à un pays qui n'est pas intéressé par un programme, soit de bloquer la coopération de ses partenaires, soit de leur imposer en contrepartie de sa participation d'autres programmes qui ne les intéressent pas. L'usage abusif de ce mécanisme de surenchère a fortement contribué à la dispersion des programmes et à la désaffection des Etats membres pour les activités communautaires. Le Traité d'Euratom prévoit cependant la possibilité de recourir au mécanisme souple des entreprises communes qui permet, en l'absence d'unanimité, à chaque partenaire intéressé de participer au prorata de son intérêt selon des conditions à définir cas par cas.

Depuis plusieurs années, le Gouvernement français s'est élevé contre la dispersion des efforts de recherche de l'Euratom et le saupoudrage des crédits communautaires au détriment de l'efficacité et de l'intérêt général.

Il soutient que conformément à la lettre (article 4) et à l'esprit du Traité, les programmes de l'Euratom constituent un complément des programmes nationaux et devraient être à ce titre centrés sur quelques grandes actions prioritaires reflétant l'intérêt commun et justifiant le regroupement et la coordination des efforts, par exemple les réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides, les réacteurs à eau lourde, la fusion thermonucléaire contrôlée, la mesure des étalons nucléaires, la radioprotection.

*Aussi ces programmes doivent-ils être bâtis sur de réels objectifs communs et non pas, comme cela s'est trop fait par le passé, par addition des revendications particulières des six partenaires conduisant à une mosaïque d'activités disparates.*

C'est la raison pour laquelle la délégation française avait proposé et obtenu en décembre 1967 que le programme commun ne comporte que les actions reconnues unanimement d'intérêt commun (1),

---

(1). Conformément à l'article 7 du Traité d'Euratom, l'unanimité des six Etats est requise pour l'adoption des programmes.

et que les programmes particuliers n'intéressant que certains partenaires fassent l'objet d'entreprises communes (prévues explicitement par le Traité) groupant les participants intéressés au titre de programmes complémentaires.

Malheureusement, certains partenaires de la France n'ont pas renoncé à obtenir par le biais du programme commun de recherche de l'Euratom, un soutien financier à des programmes ou des centres nationaux en proie à des difficultés internes et répondant à des préoccupations particulières très éloignées de l'intérêt général. C'est pourquoi ces pays s'efforcent de remettre en cause l'accord de procédure obtenu en décembre dernier en différant la prise en considération de programmes complémentaires, car cette procédure constituera un test de l'intérêt et de la valeur réelle des programmes proposés.

Depuis le mois de juin dernier, ceux-ci ont demandé le report de mois en mois de la session du Conseil des Ministres des Six qui devait décider des orientations des activités futures de l'Euratom. Cette session étant maintenant prévue à la fin de novembre, il sera difficile de reculer davantage l'échéance car le programme intérimaire actuel se termine le 31 décembre 1968 et le Conseil devra en tout état de cause décider à l'unanimité, comme le veut le Traité, un programme pour 1969, et voter les crédits budgétaires correspondants (1).

---

(1) Au cours de la réunion à Bruxelles du Conseil des Ministres des Six, le 26 novembre 1968, M. Robert Galley, Ministre chargé de la Recherche scientifique et des questions atomiques et spatiales, a défini la politique française à l'égard d'Euratom, qu'il a qualifiée lui-même de « très austère ». En définitive, les Ministres responsables doivent se retrouver à Bruxelles les 20 et 21 décembre 1968 afin de décider quel sera le programme de recherches entrepris sous l'égide d'Euratom en 1969. Entre temps, un comité d'experts doit définir ce programme et exposer comment il conviendra d'employer le personnel et les installations du Centre commun de recherches (C. C. R.)

### 3° LE PROJET « ORGEL »

Les études relatives au projet « Orgel » se poursuivent au Centre commun de recherches de l'Euratom (Etablissements d'Ispra-Italie).

Le programme comprend :

— l'exploitation de l'expérience critique « Eco » (mesures neutroniques sur les réseaux « Orgel » ;

— l'exploitation du réacteur d'épreuve « Essor », banc d'essai sous rayonnement des composants de réacteurs de puissance de type « Orgel » (utilisable également pour d'autres types de réacteurs à eau lourde) ;

— l'exécution de recherches et études liées au développement de la filière « Orgel ».

L'expérience critique « Eco » fonctionne normalement depuis trois ans, après avoir subi des retards notables lors de sa construction.

Le réacteur d'épreuve « Essor » est devenu critique à « Ispra » en 1967. Puis se sont poursuivis simultanément des essais à basse puissance et divers travaux complémentaires d'aménagement qui doivent permettre d'entreprendre la montée en puissance du réacteur à la fin de 1968. Les opérations se sont bien déroulées sur le plan technique, mais elles ont subi un certain retard pour des raisons tenant à la gestion administrative (affectations de personnel, passation des contrats, formalités diverses).

Parallèlement se poursuivent les études de l'éventuelle phase ultérieure qui serait celle de la mise au point d'un prototype de centrale électronucléaire de type « Orgel » de 250 mégawatts électriques.

La commission de l'Euratom a lancé au début de 1967 un avis de concours invitant les entreprises de construction intéressées à soumettre un projet de prototype sur la base du dossier de spécifications établi par ses services. Une déclaration d'intérêt a été formulée par un groupement formé de trois entreprises industrielles de la Communauté : le Groupement atomique Alsacienne-Atlantique (G. A. A. A.) (France), la Société Interatom (Allemagne) et la Société Montecatini (Italie). Ce groupement a préparé une offre technique et financière qui doit être remise à la commission des Communautés européennes à la fin de 1968.

C'est sur la base de ce projet que les Gouvernements et les entreprises de production d'électricité de la Communauté pourront apprécier l'opportunité de lancer la réalisation d'une centrale électrique prototype reposant sur la technique nucléaire « Orgel ».

Cependant, le retard intervenu dans l'exécution de l'ensemble du programme, retard qui, rappelons-le, n'est pas imputable à la conduite technique du projet, a sensiblement amoindri les chances de percée de la technique « Orgel » parmi les diverses techniques de réacteurs à eau lourde. Il convient toutefois de noter que celles-ci bénéficieront des résultats des études « Orgel » qui leur sont en grande partie applicables.

Il est d'ailleurs actuellement envisagé d'utiliser à l'avenir les installations et les équipes mises en place à Ispra à l'occasion de la réalisation du programme « Orgel » pour poursuivre des études moins spécialisées intéressant le développement d'ensemble des réacteurs à eau lourde.

### Conclusion.

Les crédits prévus au budget des Services généraux du Premier Ministre au titre de l'énergie atomique s'élèvent à 2.058 millions de francs en autorisations de programme et à 1.950 millions de francs en crédits de paiement. Compte tenu des reliquats sur années antérieures et des ressources propres, les autorisations de programme atteignent 2.508 millions de francs et les moyens de paiement 2.336 millions de francs. L'augmentation de ceux-ci n'est donc que de 1,5 % par rapport à l'année antérieure, ce qui traduit une baisse en francs constants en raison de la hausse des prix et des majorations de salaires.

Compte tenu des dotations transférées au budget des armées, les crédits de paiement sont en diminution de 8 % et les autorisations de programme de 10 %. Il y avait donc une diminution de l'activité du C. E. A. avant même les nouvelles économies décidées sous la pression des circonstances.

Votre commission des Affaires économiques et du Plan s'est plus particulièrement attachée aux conditions de production d'électricité d'origine nucléaire.

Il apparaît que la filière uranium naturel modérée au graphite et refroidie au gaz carbonique adoptée par Electricité de France pour toutes ses centrales nucléaires ne sera pas compétitive avec les centrales thermiques classiques en 1970, ainsi qu'on avait pu le penser il y a un an.

Se pose donc, avec plus d'acuité qu'antérieurement, la question de savoir si d'autres filières, notamment la filière à eau légère et la filière canadienne à eau lourde n'aboutiront pas à de meilleurs résultats. Le choix de la filière à eau légère et uranium enrichi poserait un double problème d'approvisionnement en uranium enrichi (achat aux Etats-Unis, développement de l'usine basse de Pierrelatte, construction d'une usine européenne de séparation isotopique) et des conditions dans lesquelles serait construit le réacteur.

Se bornerait-on à faire travailler l'industrie française sous licence américaine ? Envisagerait-on, au contraire, de mettre au point en France une filière originale de centrale à uranium enrichi.

et eau légère ? On mesure à ces simples questions combien ces choix sont lourds de conséquences en ce qui concerne l'indépendance nationale.

Par contre, l'étude des réacteurs à uranium naturel refroidis à l'eau lourde sous pression (filière canadienne) sera facilitée par l'accord de coopération passé le 15 octobre 1968 entre le C. E. A. et son homologue canadien l'A. E. C. L.

Votre commission des Affaires économiques et du Plan demande donc au Gouvernement *d'informer le Sénat des conclusions auxquelles il est d'ores et déjà arrivé* et des orientations qu'il compte donner, dans l'avenir, à la production d'énergie électrique française d'origine nucléaire.

Il apparaît, en effet, que les plus grandes hésitations se font jour quant à la réalisation des deux centrales de la filière « uranium naturel - graphite - gaz » de Fessenheim décidée le 7 décembre 1967 et remise en question le 23 juillet 1968.

Il apparaît aussi que la mise en chantier rapide d'une centrale à uranium enrichi et eau légère rencontre de plus en plus de partisans.

Il semble, par contre, qu'en raison des difficultés budgétaires, le Ministère de l'Economie et des Finances soit opposé à tout investissement nucléaire en 1969.

Des précisions gouvernementales en ce domaine sont donc nécessaires.

Mais, au-delà du proche avenir, l'horizon 1980 impose la poursuite du programme d'étude des réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides, filière qui laisse entrevoir des perspectives économiques très favorables, mais permettra aussi l'utilisation la plus complète possible des ressources du globe en matières fissiles. Avec « Rapsodie », la France dispose en la matière d'un réacteur expérimental qui doit lui permettre de faire avancer l'étude de cette filière et de réaliser ensuite le réacteur « Phénix » de 250 MWe.

Votre commission ne saurait trop encourager le Commissariat à l'Energie atomique à poursuivre activement la réalisation de ses projets dans ce domaine.

Enfin, votre commission des Affaires économiques et du Plan souhaite que la fusion des institutions européennes réalisée, le

1<sup>er</sup> juillet 1967, permette de mettre en œuvre une politique commune de l'énergie nucléaire qui assure à l'Europe un approvisionnement en électricité au moindre coût dans les meilleures conditions de sécurité et d'indépendance.

\*  
\* \*

Sous réserve de ces observations, votre commission donne un avis favorable aux crédits du budget des Services généraux du Premier Ministre concernant l'Energie atomique.