

SÉNAT

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1966-1967

Annexe au procès-verbal de la séance du 15 novembre 1966.

AVIS

PRÉSENTÉ

au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan (1),
sur le projet de loi de finances pour 1967, ADOPTÉ PAR
L'ASSEMBLÉE NATIONALE.

TOME IX

Services du Premier Ministre.

Services généraux.

ENERGIE ATOMIQUE

Par M. Michel CHAMPLEBOUX,

Sénateur.

(1) Cette commission est composée de : MM. Jean Bertaud, président ; Paul Mistral, Etienne Restat, Joseph Yvon, Henri Cornat, vice-présidents ; René Blondelle, Auguste Pinton, Joseph Beaujannot, Jean-Marie Bouloux, secrétaires ; Louis André, Emile Aubert, Auguste Billiemaz, Georges Bonnet, Amédée Bouquerel, Robert Bouvard, Marcel Brégégère, Raymond Brun, Michel Champleboux, Michel Chauty, Henri Claireaux, Maurice Coutrot, Léon David, Alfred Dehé, Roger Delagnes, Henri Desseigne, Hector Dubois, Jacques Duclos, André Duiin, Emile Durieux, Jean Errecart, Marcel Fortier, Victor Golvan, Léon-Jean Grégory, Roger du Halgouet, Yves Hamon, René Jager, Eugène Jamain, Michel Kauffmann, Henri Lafleur, Maurice Lalloy, Robert Laurens, Marcel Lebreton, Modeste Legouez, Marcel Legros, Henri Longchambon, Georges Marrane, François Monsarrat, Charles Naveau, Gaston Pams, Guy Pascaud, François Patenôtre, Marc Pautet, Paul Pelleray, Lucien Perdereau, André Picard, Jules Pinsard, Roger Poudonson, Henri Prêtre, Eugène Ritzenthaler, Maurice Sambron, Robert Schmitt, Abel Sempé, Charles Suran, René Toribio, Henri Tournan, Racul Vadepiéd, Jacques Verneuil, Joseph Yvon, N...

Voir les numéros :

Assemblée Nationale (2^e législ.) : 2044 et annexes, 2050 (tomes I à III et annexe 25), 2053 (tome XV) et In-8° 567.

Sénat : 24 et 25 (tomes I, II et III, annexe 25) (1966-1967).

SOMMAIRE

	Pages.
Introduction	3
I. — Production de combustible nucléaire	3
1° Politique générale en matière de recherche et d'exploitation minière	3
2° Réserves métropolitaines en uranium	4
3° Besoins prévus.....	4
4° Concentré d'uranium et uranium métal	5
5° Uranium enrichi : l'usine de Pierrelatte	5
6° L'usine de La Hague	6
II. — Production d'énergie électrique d'origine nucléaire	7
1° Perspectives de développement de l'énergie électrique d'origine nucléaire	7
2° Production française d'énergie électrique d'origine nucléaire	8
3° Centrales nucléaires de production d'énergie électrique	8
4° Prix de revient de l'énergie électrique nucléaire	11
5° Production de l'énergie électrique nucléaire à l'étranger	12
III. — Activité des centres d'étude nucléaire	14
1° Production d'énergie	16
2° Production des matières de base	18
3° Radio-isotopes et utilisation des rayonnements.....	18
4° Protection sanitaire et sûreté des installations	19
5° Recherche fondamentale	20
6° Instrumentation générale et support technique de la recherche ..	22
IV. — Prévisions financières sur le plan civil pour 1967	23
1° Structure des ressources du Commissariat à l'énergie atomique pour 1967.....	23
2° Analyse par nature de dépenses	25
3° Points d'application du programme	28
V. — Le problème des déchets radioactifs	37
Conclusion	40

Mesdames, Messieurs,

Les progrès en matière d'utilisation pacifique de l'énergie atomique se sont poursuivis au cours des années 1965 et 1966.

Votre Commission des Affaires Economiques et du Plan s'est, comme les années précédentes, intéressée d'une façon spéciale à la production de l'énergie électrique d'origine nucléaire qui est devenue compétitive avec les autres modes de production.

Elle s'est documentée sur la production de combustibles nucléaires sous toutes ses formes.

Elle a étudié l'activité des différents centres gérés par le C. E. A. ainsi que le problème de l'élimination des déchets radioactifs.

I. — Production de combustible nucléaire.

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

La politique générale du C. E. A. (Commissariat à l'Energie Atomique), 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 ;

— pousser 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 pays paraissant accessibles : Amérique du Sud, Canada, 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.

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

En Métropole, l'inventaire par le C. E. A. des différents secteurs d'intérêt se poursuit méthodiquement, assurant ainsi la découverte chaque année de réserves nouvelles continuant à excéder sensiblement les quantités exploitées.

Le C. E. A. a, par ailleurs, renouvelé pour une nouvelle période de 5 ans son contrat d'achat de minerais provenant de travaux de recherches privées dans le Massif Central et en Bretagne, afin de continuer à aider les efforts des quelques sociétés qui y travaillent.

A l'extérieur, l'effort de prospection générale en 1967 verra un nouvel accroissement, particulièrement en République Centrafricaine et au Niger, le C. E. A. continuant par ailleurs à rechercher, directement ou en association, de nouvelles ressources dans d'autres parties du monde.

L'usine de raffinage du Bouchet, gérée par le C. E. A., et de Malvés, gérée par la Société de raffinage de l'uranium, poursuivent leur activité dans des conditions techniques en constante amélioration permettant de significatives réductions de prix.

2° RÉSERVES MÉTROPOLITAINES EN URANIUM

Les réserves métropolitaines actuellement connues sont voisines de 40.000 tonnes et il n'y a pas lieu de modifier la prévision de quelque 50.000 tonnes précédemment établie, et qui devrait être atteinte au cours des prochaines années.

3° BESOINS PRÉVUS

Dans le cas de la réalisation au cours du V^e 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^e Plan, on peut, à l'heure actuelle, estimer que les besoins cumulés en uranium au cours de la période 1966-1975 seront de l'ordre de :

Hypothèse A : 7.000 à 8.000 tonnes de métal ;

Hypothèse B : 10.000 à 12.000 tonnes de métal.

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.

4° CONCENTRÉ D'URANIUM ET URANIUM MÉTAL

Les prévisions de production pour 1966 et 1967 en ce qui concerne les concentrés d'uranium et d'uranium métal sont les suivantes :

USINES	PREVISIONS 1966	PREVISIONS 1967
	(En tonnes d'uranium élément contenu)	
Production de concentrés d'uranium :		
Ecarpière	315	337
Bessines	585	560
Bois Noirs.....	240	245
Gueugnon (1).....	(1) 416	(1) 395
	1.556	1.537
U contenu dans les concentrés de thorianite expédiés :		
Madagascar	85	64

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

La production d'uranium, le traitement des combustibles irradiés et la production de plutonium se poursuivent conformément au programme prévu.

5° URANIUM ENRICHI

En 1966, la production d'uranium enrichi par la partie de l'usine de Pierrelatte déjà en service a largement satisfait les besoins. Dès le début juin, l'usine haute se trouvait entièrement en activité, couplée avec l'usine basse et l'usine moyenne.

L'uranium enrichi à 25 % ainsi produit a servi au remplissage puis à l'alimentation de la partie inférieure de l'usine très haute, qui a démarré au début de septembre. En outre, les bons résultats

de fonctionnement des trois premières usines ainsi que la légère avance sur le programme de mise en route ont permis l'accumulation de stocks d'uranium moyennement enrichi qui pourront servir à divers usages.

L'usine très haute est en cours de démarrage progressif. Sa mise en service complète est prévue avant la fin du premier semestre 1967 et l'ensemble de l'usine de Pierrelatte produira alors normalement de l'uranium très enrichi.

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.

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. 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.*

6° L'USINE DE LA HAGUE

Compte tenu du faible tonnage de combustible irradié disponible en provenance de Chinon, la première période d'essais de l'usine de La Hague (connue sous le sigle U. P. 2) a été très brève (juin-juillet 1966) et était surtout destinée à tester les protections et les appareils de comptage et santé. Le régime de marche a donc été irrégulier comme le veut un minimum de prudence dans la mise en route de telles installations.

Une deuxième période d'essais se déroulera en novembre 1966 et servira à la vérification des performances techniques.

II. — Production d'énergie électrique d'origine nucléaire.

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

La politique du Gouvernement en matière de production nucléaire d'électricité a été définie par le Conseil des Ministres du 16 décembre 1964. Le V^e Plan l'a 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 correspond au minimum à 500 MW par an en moyenne, est sensiblement plus important que celui du IV^e Plan, qui était de 200 MW par an.

Les centrales du V^e Plan appartiendront essentiellement à la filière uranium naturel-gaz-graphite ; il est cependant possible que des centrales utilisant d'autres filières soient engagées, et, notamment vers la fin du Plan, une centrale surrégénératrice de 250 ou 300 MW.

La production nucléaire se développera rapidement au cours des prochaines années avec la mise en service de Chinon 3 en 1966, de Chooz et Brennilis en 1967, de Saint-Laurent 1 et 2 en 1968 et 1970. Elle représentera un peu plus de 10 % des besoins 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^e Plan :

	PRODUCTION	CONSOMMATION d'électricité.
	(En TWh (1).)	
1965	0,9	102,5
1966	1,5	109
1970	9	150
1975	25	215
1980	50-80	300

(1) TWh = terawattheure = 1 milliard de kilowattheures.

Le programme déjà engagé ou retenu au titre des deux premières années du V^e Plan, 1966 et 1967, comprend :

1966 — Saint-Laurent-des-Eaux 2.....	530 MW.
1967 — Fessenheim 1.....	650 à 700 MW.
Vandellos (Centrale franco-espagnole) (part française)....	125 MW.
	<hr/>
	1.305 à 1.355 MW.

Il dépasse sensiblement le minimum garanti de 1.000 MW. L'accroissement de la puissance unitaire prévue pour Fessenheim par rapport aux centrales précédentes (Chinon 3, Saint-Laurent 1 et 2 et Bugey 1) illustre les progrès réalisés au cours des toutes dernières années.

Bien que le Gouvernement n'ait pas encore pris position sur les programmes effectifs des années 1968 et suivantes, il apparaît déjà très probable que le programme optionnel sera effectivement engagé au cours des cinq années du Plan.

2° PRODUCTION FRANÇAISE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE D'ORIGINE NUCLÉAIRE

La production d'électricité nucléaire des douze derniers mois se terminant fin septembre 1966 a atteint 1.261 GWh. (1) (1.459 GWh. bruts) qui se répartissent comme suit :

Marcoule	520
Chinon 1	258
Chinon 2	459
Chinon 3	24
	<hr/>
	1.261

3° CENTRALES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

A. — Les centrales de Chinon.

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

Chinon 1 et 2 ont atteint les puissances maximales espérées, 63 MW et 200 MW. Chinon 3 est encore, comme prévu, dans la phase de montée en puissance, le niveau actuel étant de 140 MW.

(1) Gigawattheure = 1 million de kilowattheures.

Les difficultés rencontrées ont porté davantage sur les parties non nucléaires des installations que sur les parties nucléaires : turbines à vapeur, motosoufflante de gaz carbonique de Chinon 1, échangeurs de Chinon 3. Ces parties non nucléaires ont, il est vrai, des caractéristiques souvent nettement différentes de celles des machines classiques analogues réalisées antérieurement. On constate des difficultés de même nature lors de la mise en service d'un nouveau palier de puissance dans les centrales thermiques classiques.

Les essais et les montées en puissance ont permis d'apporter des perfectionnements et de mettre au point de nombreux matériels nouveaux (soufflantes de gaz carbonique, détection de rupture de gaines de combustibles...). Les essais ont confirmé les prévisions faites concernant les caractéristiques nucléaires et thermiques. Les essais satisfaisants de Chinon 3 ont pu être obtenus beaucoup plus rapidement que pour les deux unités précédentes.

B. — *Saint-Laurent-des-Eaux 1.*

Les travaux de Saint-Laurent-des-Eaux 1, engagés en 1963, sont actuellement légèrement en avance sur le programme prévu. Le caisson en béton précontraint est terminé, précontrainte comprise. Les échangeurs sont en place ainsi que l'empilement du graphite et les alternateurs.

Sont en cours de montage les machines de chargement du combustible, les turbines et les condenseurs.

Les essais de turbosoufflantes à gaz carbonique sont commencés.

Les travaux du bâtiment des combustibles irradiés et de la piscine de désactivation sont en cours.

La divergence est prévue pour le milieu de 1967 et la mise en service pour le milieu de 1968.

C. — Centrale franco-belge (S. E. N. A.) et Centrale E. L. 4.

Le couvercle du réacteur franco-belge de Chooz a été fermé fin septembre 1966, après chargement du combustible. Le réglage des barres de contrôle est en cours. La divergence aura lieu très prochainement et le premier couplage au réseau interviendra vers la fin de l'année.

A Brennilis (E. L. 4), les travaux de construction sont terminés. Le groupe turbo-alternateur a été essayé avec une chaudière auxiliaire. Le chargement d'eau lourde est terminé et celui de l'uranium est commencé.

La divergence est prévue pour les prochains mois, le couplage et la montée en puissance pour le courant de l'année 1967.

D. — Autres projets.

Le programme de centrales à uranium naturel gaz graphite actuellement en cours de réalisation ou décidé comprend :

PROGRAMME	MISE en service.	SITE	PUISSANCE installée.
			MW.
1963	1968	Saint-Laurent-des-Eaux 1	500
1965	1971	Bugey 1	560
1966	1970	Saint-Laurent-des-Eaux 2	530
1967	1972	Fessenheim 1	650-700

Il s'y ajoute la part française à la centrale franco-espagnole de Vandellòs dont le contrat de construction doit être signé avant la fin de l'année.

A Saint-Laurent 2, les fondations sont en cours. La plupart des marchés importants ont été passés. La mise en service est prévue pour 1970.

Le site de Bugey 1 est en cours d'aménagement. La plupart des marchés sont également passés. La mise en service est prévue pour 1971.

En ce qui concerne Fessenheim 1, la consultation des entreprises est en cours ; des offres ont été demandées soit pour la construction de la « chaudière nucléaire » complète, soit pour ses différents constituants.

Par ailleurs, des démarches officielles sont actuellement entreprises pour le site de Golfech (Tarn-et-Garonne) où une centrale nucléaire pourra être réalisée à côté d'une centrale hydraulique qui serait réalisée simultanément.

4° PRIX DE REVIENT DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE NUCLÉAIRE

Il n'est pas encore possible 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 assez 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 produira prochainement du kWh à un prix supérieur à celui du thermique classique.

Le coût prévisionnel du kWh d'E. D. F. 3 qui a été établi en 1964 par la Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire est équivalent à celui du kWh thermique classique pour une durée d'utilisation annuelle de 5.700 heures, soit 65 %.

Ce calcul a été établi sur la base de diverses hypothèses d'ordre économique ou technique dont les principales sont les suivantes : taux d'intérêt de l'argent 7 %, prix de la thermie fuel 1 centime, taux d'irradiation du combustible nucléaire 3.500 MWJ/t, durées de vie : nucléaire 20 ans et thermique 30 ans.

Ces conditions sont celles de l'économie énergétique française ou correspondant à des prévisions raisonnables.

Le coût du kWh prévu pour les centrales suivantes devrait baisser plus rapidement que celui des centrales thermiques dont les progrès se poursuivront cependant. Dans les dix prochaines années, l'écart entre les deux coûts devrait s'accroître de 25 à 30 % en faveur du nucléaire.

Les éléments nouveaux intervenus depuis cette étude de 1964 ne font que confirmer ces conclusions qui paraissent mêmes prudentes.

On envisage en effet par rapport à Saint-Laurent 1 une baisse de l'ordre de 20 % du coût d'investissement grâce à l'augmentation des performances attendues de perfectionnements relativement mineurs ; la puissance de Fessenheim 1 atteindra 650 à 700 MW. Le coût du combustible devrait par ailleurs baisser de 1 à 0,80 ou 0,75 centime par kWh.

L'adoption d'un nouveau type de combustible, dit annulaire, à Bugey 1 fait envisager des unités de 1.200 MW, qui bénéficieront à nouveau de la réduction du prix des investissements correspondant à l'effet de taille et de la diminution du tonnage d'uranium (de 0,9 Kg/KW à Saint-Laurent 1 à 0,6 Kg/KW).

Ces divers progrès amélioreront largement la compétitivité du nucléaire.

5° PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE NUCLÉAIRE A L'ÉTRANGER

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

	PRODUCTION brute depuis l'origine jusqu'au 1 ^{er} juillet 1966.	PUISSANCE en service au 1 ^{er} septembre 1966.
U. S. A.....	19,5 TWh.	1.750 MW.
Grande-Bretagne	55,7	3.000
France	4	820
Italie	8	650
Reste du monde (sauf U. R. S. S.).....	1,2	
Total (sauf U. R. S. S.).....	88,4	

Aucune information analogue n'est disponible pour l'U. R. S. S. Par ailleurs, aucune vue d'ensemble ne peut être donnée de la production probable pour l'année 1966.

Une étude d'avril 1966 des Communautés européennes a cependant fourni les chiffres suivants (en millions de KWh.) qui concernent les productions brutes avant soustraction des consommations des auxiliaires :

	1964	1965	1966
Allemagne	104	120	850
Belgique	51	»	»
France	624	1.000	1.600
Italie	2.401	3.508	4.500
Total six pays.....	3.180	4.628	6.950

L'opinion des divers pays sur les perspectives économiques de l'énergie nucléaire est assez unanime pour que la réalisation de nombreux projets ait déjà été décidée ou soit envisagée.

Des commandes importantes de centrales nucléaires ont déjà été passées aux Etats-Unis ; depuis le début de 1966, elles représentent plus de 50 % des puissances électriques totales commandées bien que les prix des combustibles soient dans ce pays notablement inférieurs aux prix européens.

La Grande-Bretagne qui dispose déjà d'un nombre respectable de centrales de la filière gaz-graphite s'est engagée avec la centrale de Dungeness B dans la voie des réacteurs à gaz avancés (A. G. R.). Le Livre Blanc d'octobre 1965 (Fuel Policy) indique que le Gouvernement britannique a retenu pour être mis en service au cours des six années 1970-1975 un programme comportant en principe une centrale par an et totalisant 8.000 MW. Ce programme est basé sur les réacteurs à gaz avancés, la contribution éventuelle d'un autre type de réacteur n'étant cependant pas exclue.

L'U. R. S. S. qui dispose d'importantes sources d'énergie à bon marché semble rester actuellement dans l'expectative, tout en poussant ses études de filières avancées ; elle a en fonctionnement un réacteur surrégénérateur important.

La Suisse ne dispose plus de beaucoup de sites hydroélectriques à équiper, compte tenu de la hausse du loyer de l'argent.

Les possibilités d'implantation de centrales thermiques sont également limitées pour des raisons de pollution atmosphérique. Le nucléaire constitue donc un recours opportun et plusieurs projets sont décidés ou sur le point de l'être.

Dans l'Europe des Six, l'Italie, pauvre en énergie indigène, a fait des débuts nucléaires rapides en faisant appel au concours de plusieurs filières étrangères, anglaise et américaine. Du fait sans doute de la réorganisation de l'industrie électrique, à la suite de la nationalisation, une certaine pause a été constatée mais de nouvelles centrales nucléaires sont actuellement envisagées.

L'Allemagne et la Belgique sont confrontées comme la France au problème de l'écoulement des charbons nationaux, mais l'Allemagne a déjà entrepris plusieurs centrales importantes et la Belgique procède actuellement à des consultations d'industriels.

III. — **Activité des Centres d'étude nucléaire.**

Les recherches au C. E. A. ont été commandées par un souci essentiellement pratique : la mise en œuvre des diverses applications de l'énergie atomique. Le développement des centres d'études nucléaires a été marqué dès l'origine par le nombre des disciplines concernées et par l'ampleur des moyens à mettre en place. Débordant vite le cadre étroit du fort de Châtillon à Fontenay-aux-Roses, les installations ont connu à Saclay une expansion très rapide. Ensuite, crainte du gigantisme et exigences de la décentralisation ont conduit à la création des centres de Grenoble, puis de Cadarache. Seul celui-ci, dernier né des quatre centres d'étude nucléaire, a vu sa vocation affirmée dès ses débuts : recherches appliquées et réalisations de prototypes avancés. Dans les trois autres, au contraire, recherche fondamentale et recherches appliquées continuent à cohabiter étroitement. Au terme de certaines réorganisations aujourd'hui à l'étude, chaque centre se verra peut-être mieux préciser une ou plusieurs vocations plus particulières, en fonction de sa situation (site urbain, industriel, universitaire) et des moyens (personnel et installations spécialisés) qui y ont été rassemblés.

Cependant les avantages de la situation actuelle ne sont pas négligeables. Les recherches tirent grand profit de la facilité des échanges d'une part entre théoriciens et expérimentateurs ou même

constructeurs, d'autre part entre chercheurs dans des disciplines différentes. De plus toute réalisation dans le domaine nucléaire exige encore aujourd'hui le concours de spécialistes divers : physiciens, mathématiciens, chimistes, métallurgistes, biologistes. Enfin, à mesure des réalisations, certaines recherches débordent même le cadre des centres traditionnels d'études : ainsi Marcoule voit se développer des études de chimie auprès de l'usine du plutonium, et La Hague, unique centre en bord de mer, abrite une unité de radioécologie marine. C'est pourquoi il semble plus logique de replacer les recherches poursuivies au C. E. A. non dans un contexte géographique, mais dans le cadre des différentes missions confiées à cet organisme :

- production d'énergie ;
- production de matières de base ;
- radioisotopes et utilisation du rayonnement ;
- protection, sûreté et autres missions ;
- recherche fondamentale ;
- instrumentation générale et support technique de la recherche.

L'année 1966 aura été particulièrement riche en réalisations, qui marquent d'importants jalons dans le développement des programmes du C. E. A. Ainsi, en matière de centrales nucléaires, le démarrage de Chinon 3 marque une étape décisive de la filière des réacteurs graphite-gaz (puisque une puissance de 500 MW va être atteinte), le début de construction de Bugey 1 doit concrétiser les espoirs mis dans la nouvelle « sous-filière Inca », et le lancement de Saint-Laurent 2 presque semblable à Saint-Laurent 1, confirme la compétitivité déjà acquise avec ce dernier réacteur qui fait ainsi figure de tête de série. A Cadarache, l'année doit s'achever sur la divergence de Rapsodie, premier réacteur français surrégénérateur à neutrons rapides, la filière de l'avenir. La production nationale de matières fissiles s'est accrue en 1966 avec l'entrée en service de deux usines : celle de La Hague où l'on extrait le plutonium produit dans les combustibles des réacteurs de l'E. D. F., et l'usine haute de Pierrelatte, qui, troisième et avant-dernière tranche de la réalisation complète, marque un nouveau progrès dans le taux d'enrichissement de l'uranium produit. La recherche fondamentale faite au C. E. A. aura reçu en 1966, sur le plan international, à la fois sa consécration et une impulsion nouvelle grâce à l'accord signé

avec l'U. R. S. S. pour l'utilisation d'une chambre à bulles française auprès de l'accélérateur en construction à Serpoukhov. Enfin, à Saclay, le réacteur d'études Osiris vient à l'heure prévue augmenter considérablement les moyens d'irradiation.

Ce sont donc des programmes toujours bien étayés dont le C. E. A. va poursuivre le développement en 1967 dans le cadre de ses différentes missions.

1. — PRODUCTION D'ÉNERGIE

Les efforts du C. E. A. dans la mission capitale de la production d'électricité conservent le cadre des trois grandes filières, graphite-gaz, eau lourde et neutrons rapides, auxquelles s'ajoutent quelques études d'ensemble.

La filière graphite-gaz s'enrichira, en 1967, d'une nouvelle unité : le réacteur Saint-Laurent 1. C'est un réacteur du même type dont le chantier s'ouvrira en Espagne et qui sera la première exportation française dans ce domaine. Pour des piles déjà si bien au point, l'activité du C. E. A. s'exerce encore dans la recherche d'économies sur toutes les parties du réacteur, dans certaines études demandées par l'E. D. F. pour accroître les performances, dans la participation aux essais de démarrage et dans l'élaboration des conclusions à tirer des principales observations sur le fonctionnement. Les principales études prévues en 1967 concernant les protections, certaines caractéristiques des empilements de graphite et la tenue à long terme des matériaux. Dans les études sur le combustible dont le C. E. A. conserve la responsabilité sans partage, diverses améliorations seront essayées pour augmenter les performances (puissance spécifique, taux de combustion) des éléments tubulaires (type Saint-Laurent 1). C'est surtout la mise au point de l'élément annulaire, prévu pour la centrale Bugey 1, qui sera au premier plan des préoccupations du C. E. A. dans ce domaine : études de réseaux neutroniques dans les empilements critiques César et Marius, tests de performances dans des cellules d'essai et dans le réacteur Pégase, à Cadarache.

La divergence du réacteur EL 4, à Brennilis, au début de 1967, marquera la première réalisation française dans *la filière à eau lourde*. Les études poursuivies portent principalement sur les éléments combustibles de la filière : on cherche à mettre au point des

matériaux de gainage peu absorbants, permettant d'atteindre des taux de combustion élevés. Aux irradiations de matériaux dans les réacteurs d'études Siloé et Osiris s'ajoutent les essais d'éléments dans le réacteur Pégase. La pile EL 4, elle-même, constituera un excellent moyen d'irradiation à grande échelle de combustibles de type nouveau. Pour le réacteur proprement dit, études neutroniques, études de protection, études de conception générale seront poursuivies avec la préoccupation majeure des aspects économiques pour une réalisation à décider d'ici deux ou trois ans.

La filière des réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides sera inaugurée à Cadarache avec le prototype Rapsodie, qui doit diverger à la fin de 1966 et atteindre sa pleine puissance dans le courant de 1967. L'activité de tout le premier semestre sera donc centrée sur ce réacteur qui doit faire l'objet d'un important programme d'essais. Rapsodie servira ensuite de moyen d'irradiation en flux de neutrons rapides, comblant ainsi une grave lacune dans l'équipement national. Au démarrage de Rapsodie succédera presque aussitôt celui de Masurca (*maquette surrégénératrice de Cadarache*), qui permettra des études neutroniques de réseaux multiplicateurs en neutrons rapides. Ces deux outils essentiels fourniront les moyens qui manquaient jusqu'ici au développement des études qui doivent aboutir au projet de Phénix, premier réacteur de puissance de cette filière, dont la construction doit commencer avant la fin du V^e Plan. C'est aussi dans cette perspective que seront poursuivies les études des divers problèmes liés à la technologie du sodium utilisé comme fluide caloporteur.

Parmi les études générales relatives aux réacteurs de puissance, l'utilisation du plutonium comme combustible dans les réacteurs thermiques devrait connaître en 1967 des développements intéressants. Après la mise en place des divers moyens, des jeux de combustibles à base de plutonium et des séries de combustibles irradiés feront l'objet de mesures neutroniques dans des empilements critiques et la pile Minerve. Les résultats fourniront des renseignements sur l'évolution à long terme des combustibles des réacteurs, renseignements particulièrement importants pour l'augmentation des taux de combustion.

Après la production d'électricité, l'application la plus importante en France des réacteurs de puissance est la propulsion navale. Le C. E. A. poursuivra sur le prototype à terre divers essais d'amélioration portant surtout sur le combustible. L'année

1967 devrait voir fixées les caractéristiques du premier cœur du sous-marin le *Redoutable*. La réalisation du cœur se poursuivra sous la responsabilité du C. E. A.

2° PRODUCTION DES MATIÈRES DE BASE

L'année 1967 verra la mise en exploitation de l'usine très haute de Pierrelatte, dernière tranche du complexe de séparation isotopique par diffusion gazeuse, qui produira l'uranium au taux d'enrichissement terminal. Le fonctionnement très satisfaisant des premières unités est un encouragement à poursuivre certaines études qui devraient conduire à l'accroissement de la capacité de l'usine. D'autre part, un effort est maintenu sur des études d'autres procédés de séparation isotopique, comme l'ultra-centrifugation, qui pourrait se révéler compétitive avec la diffusion gazeuse dans le domaine des forts enrichissements.

En vue du retraitement des combustibles de Rapsodie, on poursuivra à La Hague la construction de l'atelier AT 1, où le premier cœur de la pile sera retraité en 1968. Des études techniques et technico-économiques se développeront pour définir le procédé et le mode de mise en œuvre qui seront retenus pour le retraitement des combustibles au plutonium de la filière à neutrons rapides.

L'usine française de production d'eau lourde fonctionnera en 1967 à un rythme réduit de fonctionnement en essais. Le fonctionnement industriel est prévu en 1968.

Enfin, en ce qui concerne la production des éléments légers, Marcoule verra en 1967 le démarrage du réacteur tritigène Célestin 1 et la poursuite de construction de Célestin 2.

3° RADIO-ISOTOPES ET UTILISATION DES RAYONNEMENTS

La mise en service du réacteur Osiris offrira dès cette année de nouvelles possibilités de production de radio-éléments, et devrait permettre de faire face à l'accroissement de la demande. Parallèlement est prévue en 1967 une extension des laboratoires actifs où sont préparées sources et molécules marquées. En matière de production, le développement est surtout quantitatif. Cependant certaines études de préparations nouvelles concernent des molécules

organiques marquées et des produits pour diagnostic médical. D'autre part, un effort particulier sera consacré en 1967 à la production de strontium 90 et de césium 137 par séparation de ces éléments contenus dans les produits de fission élaborés dans les combustibles des réacteurs et récupérés lors du retraitement. Les procédés de traitement mis au point en laboratoire feront l'objet en 1967 de réalisations à l'échelle semi-industrielle. D'autre part, les études seront étendues à la séparation des terres rares, utilisables pour des dispositifs générateurs d'énergie.

Les applications des radio-éléments et des rayonnements doivent poursuivre leur développement dans les domaines de la médecine, de la recherche et de l'industrie. La construction auprès d'Osiris du Laboratoire Pierre-Süe offrira en particulier à l'industrie de nouvelles possibilités. La mise en service de ce laboratoire est prévue pour 1968.

4° PROTECTION, SÛRETÉ ET AUTRES MISSIONS DU C. E. A.

Peu d'événements marquants sont prévus en 1967 dans le cadre des missions du C. E. A. telles que protection, sûreté, etc., sinon un développement d'activité commandé par l'extension toujours plus grande des diverses applications de l'énergie nucléaire.

Cependant en 1967 seront mis en service à Fontenay-aux-Roses les nouveaux laboratoires où seront poursuivies les recherches sur la nocivité et le métabolisme des radio-éléments, dans le domaine de la protection sanitaire. Les études de radio-écologie marine et continentale continueront respectivement à La Hague et Cadarache. On poursuivra de même les études sur effluents et déchets solides, dans le but d'améliorer les facteurs de décontamination et de stocker ou d'éliminer sans risque les déchets radio-actifs, en quantité toujours croissante.

En matière de sûreté des installations nucléaires, l'activité du C. E. A. est liée à la réalisation des divers projets. Des études générales menées à Cadarache doivent permettre de mieux connaître les conditions et les conséquences d'une libération de matières radioactives sur les sites des installations nucléaires actuelles et futures.

Les diverses tâches liées à l'exploitation d'installations nucléaires : surveillance des sites, locaux et personnes, interven-

tion et décontamination, transport et stockage d'effluents et de déchets, se poursuivront en 1967 sans autre changement que la modernisation progressive des équipements.

5° RECHERCHE FONDAMENTALE

Condition essentielle du développement de l'énergie nucléaire, la recherche fondamentale est devenue l'une des missions essentielles du C. E. A. Cette recherche continue à s'exercer et à se développer dans toutes les disciplines de base qui commandaient les applications. Ainsi se trouvent utilisés au mieux les moyens exceptionnels mis en place dans les centres d'études nucléaires.

En physique théorique, peu d'événements à prévoir en 1967, si ce n'est l'accroissement des données expérimentales qui conduira à augmenter le travail des théoriciens et exigera d'intensifier les moyens de calcul.

La physique corpusculaire à haute énergie connaît au contraire aujourd'hui de grands développements dans le monde entier : construction des anneaux de stockage auprès de l'accélérateur du C. E. R. N. (organisation européenne pour la recherche nucléaire), construction en U. R. S. S., à Serpoukhov, d'un accélérateur de 70 GeV (1), projets aux U. S. A. et au C. E. R. N. d'accélérateurs de 200 à 300 GeV. Face à ces géants, les accélérateurs français en place ou en projet apparaissent modestes. Saturne, de 3 GeV, continuera en 1967 à être exploité par le C. E. A., et diverses améliorations lui seront apportées pour augmenter l'intensité du faisceau, selon un programme de transformation échelonné sur trois ans. Pour le projet national de synchrotron à protons de 60 GeV, le C. E. A. poursuivra les études que lui avait confiées la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique, mais il serait urgent qu'une décision soit prise dès 1967 si l'on ne veut pas perdre la place de choix que quelques années d'exploitation de cette machine permettraient à la France de revendiquer auprès du futur accélérateur du C. E. R. N. En effet, les Allemands avec Desy et les Anglais avec Nimrod (8 GeV) disposent actuellement d'accélérateurs plus modernes. Cependant c'est grâce à Saturne, en service dès 1958, que le C. E. A. s'est acquis le droit d'entretenir au C. E. R. N. une équipe purement nationale. Autre atout majeur dans la collaboration internationale : la maîtrise et la réputation du C. E. A. dans la réalisation des chambres à bulles.

(1) GeV = 1 milliard d'électron-volts.

Ces équipements nous ont donné accès à tous les grands accélérateurs européens. En 1967, le C. E. A. poursuivra la construction de trois grandes chambres à bulles : l'une à hydrogène liquide construite dans une collaboration de la France, de l'Allemagne et du C. E. R. N., une autre à liquide lourd construite dans une collaboration de la France et du C. E. R. N., et la dernière à hydrogène liquide construite par le C. E. A. seul dans la perspective de collaboration avec les Russes sur l'accélérateur de Serpoukhov.

La physique nucléaire doit bénéficier à Grenoble des possibilités qu'offrira en 1967 le cyclotron isochrone à énergie variable jusqu'à 65 MeV construit par l'Université. Cependant on poursuit à Saclay la construction de l'accélérateur linéaire de 300 MeV qui surclassera en 1968 les autres machines existantes. Ces dernières continueront à être exploitées pour des mesures de sections efficaces et pour des études particulières. Pour utiliser pleinement ce parc d'accélérateur l'effort sera porté sur la réalisation de cibles polarisées et d'une électronique de pointe, et sur le développement de méthodes de traitement automatique des données.

En physique du solide, les études fondamentales portent sur les structures cristallines et magnétiques, et sur les défauts créés par les radiations dans les matériaux. Les techniques utilisées mettent en œuvre des flux élevés de neutrons thermiques, des températures très basses et des champs magnétiques intenses autour desquels des développements se poursuivront en 1967. Il serait important que 1967 voit enfin la décision prise de construire à Grenoble un réacteur franco-allemand à haut flux pour lequel de nombreux équipements sont à l'étude, et sur lequel les physiciens du solide fondent de grands espoirs. Les équipes de résonance magnétique poursuivent des recherches fondamentales ainsi que diverses applications (spectroscopie) qui devraient connaître un développement important.

La physique des plasmas ne connaîtra, sauf imprévu, pas de développement spectaculaire en 1967. On poursuivra, outre les travaux théoriques, les études technologiques liées à la mise en œuvre des dispositifs expérimentaux.

En matière de biologie, les principaux travaux poursuivis en 1967 seront ceux qui utilisent des méthodes isotopiques ou radiobiologiques et des techniques physiques mettant ainsi à profit le caractère multidisciplinaire des centres d'étude nucléaire.

Enfin, sciences de la terre et physique cosmique verront la poursuite des programmes d'études entreprises la plupart du temps en liaison avec l'étranger.

6° INSTRUMENTATION GÉNÉRALE ET SUPPORT TECHNIQUE DE LA RECHERCHE

Les moyens d'irradiation du C. E. A. se seront accrus dès 1966 du réacteur Osiris, de plus de 50 MW, qui permettra de limiter les irradiations à l'étranger à des cas spécifiques.

Les laboratoires de haute activité connaîtront en 1967 une activité accrue, qu'il s'agisse des laboratoires banalisés à fins multiples ou d'installations spécialisées. Dans cette dernière catégorie, les laboratoires d'examen des combustibles irradiés seront particulièrement chargés vu le nombre croissant des éléments combustibles en service dans les réacteurs. Une cellule spéciale d'examen des combustibles filière eau lourde sera construite en 1967 auprès de la pile EL 4, et la construction d'un laboratoire d'examen sommaire des combustibles E. D. F. se poursuivra auprès de l'usine de La Hague. La fabrication des divers combustibles au plutonium (filière neutrons rapides et recyclage Pu) exigera en 1967 une extension des ateliers spéciaux.

L'accroissement des besoins de calcul, prévu cette année encore de 40 %, exigera en 1967 un renforcement des moyens en personnel et en matériel. Une amélioration de l'exploitation est prévue, par des liaisons entre différents centres, et par un fonctionnement en service à plusieurs postes.

L'électronique, partout présente dans les réalisations et les études du C. E. A., suivra le développement général. Des études d'avant-garde, apparentées parfois à la recherche fondamentale, seront poursuivies sur les semi-conducteurs, les circuits intégrés, les mémoires à couche mince, et toutes les techniques de pointe susceptibles d'accroître encore les possibilités d'utilisation de l'électronique dans le domaine de l'énergie atomique.

IV. — Prévisions financières sur le plan civil pour 1967.

1° STRUCTURE DES RESSOURCES DU COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE POUR 1967

Le projet de loi de finances pour 1967 prévoit, au titre du chapitre 62-00 « Subvention au C. E. A. », les dotations suivantes (en millions de francs) :

- autorisations de programme..... 1.950
- crédits de paiement..... 1.990

Ces dotations, qui s'appliquent aux programmes généraux du Commissariat, doivent être complétées par des ressources propres et des reliquats sur exercices antérieurs ; en définitive, l'enveloppe financière dévolue au C. E. A. pour 1967 se présente comme suit (en millions de francs) :

STRUCTURE DES RESSOURCES	AUTORISA- TIONS de programme.	CREDITS de paiement.
Subvention inscrite au chapitre 62-00 du budget du Premier ministre.....	1.950	1.990
Ressources propres.....	284	284
Reliquats sur exercices antérieurs.....	30	»
Total	2.264	2.274

Il convient d'observer que de même qu'en 1966, le Commissariat ne bénéficie pas en 1967 de prêts du fonds de développement économique et social et qu'il a été décidé de regrouper les fonds qui pouvaient provenir de cet organisme avec la subvention inscrite au budget de l'État ; il en résulte que les opérations éligibles à ce mode de financement seront financées dans le cadre de la subvention budgétaire. Il demeure toutefois entendu que le Commissariat se réserve la possibilité de recourir à l'emprunt au cours des années ultérieures.

En ce qui concerne l'évolution des ressources propres, on peut faire les observations suivantes :

L'évaluation des ressources propres pouvait s'analyser comme suit en 1966 (en millions de francs) :

— ventes et produits divers.....	28
— recettes provenant de contrats avec Euratom.....	71
— recettes sur études de centrales et ventes de combustibles	184
— autres facturations.....	13

Les perspectives d'évolution entre 1966 et 1967 peuvent être envisagées ainsi qu'il suit par grands postes :

Ventes et produits divers.

Compte tenu de la progression régulière des ventes de radioéléments et de l'évolution prévisible des autres catégories de recettes, on peut estimer à environ 30 millions de francs le montant total du poste « Ventes et produits divers » en 1967.

Etudes de centrales et fourniture d'éléments combustibles.

Les recettes prévisibles à ce titre peuvent être évaluées à 198 millions de francs : cette prévision comporte une certaine marge d'incertitude en ce qui concerne la fourniture d'éléments combustibles.

Facturations à Euratom.

Jusqu'en 1966, la majeure partie de la collaboration avec Euratom s'est exercée dans le domaine des neutrons rapides, de la fusion et de quelques contrats simples.

Pour l'année 1967, les seules recettes prévues concernent les contrats d'association sur la fusion et la chaîne alimentaire ainsi que la participation de l'organisme international à la poursuite de l'action entreprise en ce qui concerne les neutrons rapides.

Sur ces bases, les recettes à attendre d'Euratom ont été chiffrées à 45 millions de francs pour 1967.

Autres facturations.

Bien qu'il soit difficile d'articuler une évaluation précise de ce poste, on peut avancer, pour 1967, une estimation globale de 11 millions de francs.

Le tableau ci-dessous récapitule les prévisions de ressources propres (en millions de francs) :

POSTES DE RECETTES	AUTORISATIONS de programme.	CREDITS de paiement.
Ventes et produits divers.....	30	30
Eléments combustibles.....	198	198
Facturations à Euratom.....	45	45
Autres facturations	11	11
Total	284	284

En ce qui concerne les reliquats sur exercices antérieurs, il convient de rappeler que le Commissariat n'avait pu tenir compte en 1966 des reliquats en autorisations de programme dégagés à l'arrêté des comptes budgétaires, ces reliquats ayant été absorbés par les mesures de « stérilisation » décidées par le Premier Ministre et le Ministre de l'Economie et des Finances.

Pour 1967, les moyens financiers complémentaires qui peuvent être pris en compte au titre des ces reliquats, ont été estimés à 30 millions de francs.

2° ANALYSE PAR NATURE DE DÉPENSES

De même que pour les années précédentes, le Commissariat s'est efforcé de mettre au point une analyse par grandes rubriques de dépenses par nature des autorisations de programme qui lui sont allouées pour 1967. Il est toutefois nécessaire de souligner qu'une telle analyse, effectuée à cette époque de l'année, revêt un caractère largement prévisionnel et que l'analyse définitive ne pourra être connue qu'au mois de décembre 1966.

Sous ces réserves, les éléments fondamentaux des rubriques de dépenses par nature peuvent être énoncés ainsi qu'il suit :

A. — *Décomposition de l'enveloppe par nature de dépenses.*

La répartition analytique suivante est présentée à titre indicatif (en millions de francs) :

— main-d'œuvre C. E. A.	563
— rémunération du personnel extérieur au C. E. A....	53
— matières et autres charges :	
— frais divers de gestion.....	203
— dépenses particulières.....	651
— contrats	252
— immobilisations	502
— non réparti en début d'année.....	40
	<hr/>
Total	2.264

Il y a lieu d'insister sur le caractère approximatif de cette répartition. En effet, dans le cadre de l'élaboration de son budget analytique interne, le Commissariat envisage d'opérer un certain nombre de reclassements en vue d'une meilleure gestion tenant à une précision plus grande des définitions des principales catégories de dépenses. C'est dire qu'en fait, la structure définitive du budget, par nature de dépenses pourra être différente de celle présentée ci-dessus.

Main-d'œuvre C. E. A.

Sont imputées sur ces crédits les rémunérations de tous les agents C. E. A. occupant un poste budgétaire, quels que soient les liens juridiques qui les lient au Commissariat. En pratique, cette dotation est destinée à couvrir d'une part, la reconduction de 1966 sur 1967 des moyens autorisés et, d'autre part, d'assurer le financement de la mise en place de quelques équipes nouvelles destinées à assurer l'apport indispensable pour mener à bien les programmes de recherche dévolus au Commissariat.

Rémunération du personnel extérieur au C. E. A.

Les prévisions de dépenses de l'espèce incluent les rémunérations des agents n'occupant pas de poste budgétaire, même si leur salaire figure au livre de paie. Il s'agit notamment du personnel régiei, des stagiaires et collaborateurs extérieurs de toutes catégories, des agents Euratom travaillant au C. E. A., des vacataires et de tous autres personnels rétribués à titre principal ou percevant des indemnités différentielles.

Matières et autres charges.

Les dotations prévues sous cette dénomination recouvrent les charges suivantes :

1. — *Des frais divers de gestion* tels que :
 - matières consommables, petit outillage ;
 - matériel électronique standard ;
 - frais de missions et indemnités kilométriques.

Ces dépenses sont directement liées aux effectifs.

2. — *Des dépenses particulières, non liées aux effectifs, et dont le contenu est composé notamment des dépenses concernant :*
 - le calcul électronique ;
 - les matières de base ;
 - les fluides des grands appareils et grands laboratoires ;
 - les prestations documentaires ;
 - les irradiations à l'extérieur du C. E. A. ;
 - les dépenses de maintenance et autres dépenses de gestion des centres de recherche et du siège, etc.

On notera en outre que ce poste comporte une dotation de 113 millions de francs au titre *des charges financières des emprunts* contractés par le Commissariat principalement auprès du F. D. E. S.

Contrats.

Les évaluations couvrent l'ensemble des contrats extérieurs à passer ou à renouveler en 1967, qu'il s'agisse de contrats de recherche ou de contrats industriels de production de matières nucléaires.

Immobilisations.

Sous cette rubrique sont imputées les dépenses d'équipement des centres de recherche et de production, ainsi que les ouvrages et installations dont la réalisation est nécessaire pour mener à bien des programmes du C. E. A.

B. — *Evolution des dépenses par nature entre 1966 et 1967.*

Autorisations de programme.

NATURE DES DEPENSES	1966	1967
	(En millions de francs.)	
Main-d'œuvre C. E. A.	529	563
Personnel extérieur.....	53	53
Matières et autres charges :		
— frais divers de gestion.....	197	203
— dépenses particulières.....	597	651
Contrats	239	252
Immobilisations	496	502
Non réparti en début d'année.....	47	40
Total	2.158	2.264

3° POINTS D'APPLICATION DU PROGRAMME

A. — *Opérations en cours.*

Les objectifs poursuivis en 1966 par le C. E. A. sont essentiellement la participation, dans le cadre du V^e Plan, à la construction par E. D. F. de réacteurs qui produiront de l'électricité à un prix compétitif ; l'étude, la mise au point et le développement des combustibles de ces réacteurs, ainsi que l'étude des réacteurs de l'avenir. Par ailleurs, les recherches fondamentales se poursuivent sur le plan national et sur le plan international, notamment en physique des hautes énergies.

La production d'énergie électrique à partir de l'énergie nucléaire demeure l'application essentielle assignée aux recherches atomiques de caractère civil. Depuis dix-huit mois, on a

assisté, dans un certain nombre de pays, à une véritable percée des centrales électronucléaires qui atteignent la compétitivité avec les centrales thermiques, plus rapidement peut-être encore que l'on ne l'estimait après la Conférence de Genève en septembre 1964.

Le développement des centrales électronucléaires à partir de la formule technique des réacteurs à uranium naturel-graphite-gaz, qui pouvait seule assurer l'indépendance énergétique du pays, a commencé en 1952. Il a atteint, avec la centrale de Saint-Laurent 1 (E. D. F. 4), un palier technique et économique qui rend possible la compétitivité avec la production thermique classique.

On sait qu'Electricité de France a décidé pour la première fois avec Saint-Laurent 2, dont la construction est entreprise depuis le début de 1966, une duplication du type E. D. F. 4. Cependant, le développement de variantes peut conduire à des progrès techniques entraînant des effets économiques notables. Aussi, la construction d'un réacteur du type INCA, de la même filière, mais utilisant des éléments combustibles annulaires moins nombreux refroidis intérieurement et extérieurement, a-t-elle été lancée sur le site du Bugey, dans la région lyonnaise. Enfin, Electricité de France a annoncé la mise en chantier en 1967 d'une nouvelle unité à Fessenheim, sur le Rhin, semblable à Saint-Laurent 1 et 2, mais de puissance sensiblement plus élevée. Le développement de la filière uranium naturel-graphite-gaz montre que l'amélioration des différents éléments a permis de réaliser d'une unité à l'autre des progrès considérables entraînant la certitude quant aux qualités économiques de cette filière.

Le second élément essentiel du programme français est, à long terme, *la mise au point des réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides* qui seront capables de fabriquer, comme un sous-produit de la production d'électricité, plus de plutonium qu'ils n'en consommeront. L'effort se développe, depuis 1962, en collaboration avec Euratom, pour la mise en service à la fin de 1966 de « Rapsodie » ; première expérience de la surrégénération et banc d'essai des combustibles des réalisations industrielles suivantes. Un prototype de 250 MW, « Phénix », dont la mise en chantier interviendra en 1969, approchera suffisamment des dimensions industrielles pour permettre ensuite une extrapolation des solutions retenues et éprouvées afin de lancer vers 1975 la construction d'une centrale prototype à neutrons rapides de 1.000 MW.

Pour le cas où la mise en service industrielle des centrales surrégénératrices interviendrait à une date plus éloignée qu'il est prévu actuellement, *les réacteurs à eau lourde* pourraient, grâce à une bonne utilisation du combustible, alléger relativement le problème de l'approvisionnement en uranium au cours de la prochaine décennie. Le fonctionnement d'EL 4, attendu pour le début de 1967, permettra d'avancer la solution des problèmes technologiques auxquels se heurte encore le développement de la filière à eau lourde.

Etant donné *l'accroissement important des besoins en uranium* prévu à partir de 1970, l'effort de prospection engagé les années précédentes s'est accentué au cours des années 1965 et 1966. La production de plutonium du Centre de Marcoule a été accrue grâce à la marche très régulière à puissance élevée des réacteurs G 1, G 2, G 3 à l'entrée en service d'installations nouvelles de l'usine d'extraction. La mise en service progressive de l'usine de La Hague a commencé au début du mois de juin 1966. A Pierrelatte, pour la production d'uranium enrichi, à la suite de l'usine basse en service depuis le début 1965, l'usine moyenne est en production industrielle depuis la fin de l'été 1965, l'usine haute depuis le printemps 1966.

Parallèlement à ces développements directs des applications de l'énergie nucléaire, le Commissariat s'attache aux *recherches fondamentales*.

Elles bénéficient de l'efficacité que leur confère le travail en équipe, du support qu'elles trouvent dans les centres pourvus de l'instrumentation et du personnel d'exploitation nécessaires, de l'ambiance scientifique très fructueuse qui résulte des contacts possibles entre chercheurs et techniciens de formations diverses et de spécialités multiples. Dans le domaine intéressant *la physique des hautes énergies*, le Commissariat a particulièrement développé certains dispositifs expérimentaux nécessaires à l'étude des particules élémentaires. Les plus importants de ces dispositifs sont *les chambres à bulles*. Le Commissariat a mis en service l'une de ces chambres dès 1961 à Genève au C. E. R. N. (Centre européen de recherches nucléaires), prêté au Rutherford Laboratory britannique une autre, et fabriqué une troisième pour le compte du Deutsche Elektronen Synchrotron de Hambourg. Au milieu de 1965, le Commissariat, en son nom propre et aux noms des Laboratoires de l'École Polytechnique et de l'École Normale Supérieure, a passé un accord avec le C. E. R. N. pour la construction d'une grande

chambre à bulles à liquide lourd de 12 mètres cubes, « Gargamelle », dont la construction a commencé à Saclay. D'autre part, le 4 mai 1966, le C. E. A. et le Comité d'Etat pour l'utilisation de l'énergie nucléaire de l'Union Soviétique ont établi un projet d'installation et d'utilisation en commun auprès de l'accélérateur à protons soviétique en cours de réalisation à Serpoukhov de la chambre à hydrogène liquide de 6.000 litres « Mirabelle » en construction à Saclay. Il s'agira d'une étroite collaboration scientifique entre les deux pays, permettant la construction d'un ensemble expérimental unique au monde dans le domaine de la recherche fondamentale pendant plusieurs années à partir de 1969.

Enfin les négociations franco-allemandes en vue de la réalisation et de l'exploitation en commun, à Grenoble, d'un *réacteur à haut flux de neutrons* se développent très favorablement.

Il convient enfin de souligner que les activités de *l'Institut national des sciences et techniques nucléaires* continuent à être partagées entre les cours magistraux plus nombreux chaque année, les stages collectifs associés ou non à ces cours, les travaux pratiques et les colloques.

*

* *

Les principales installations de recherche en service ou décidées sont énumérées dans les tableaux ci-après :

a) Réacteurs.

I. — Réacteurs de recherche et d'essais.

NOM	DATE de divergence.	TYPE			OBJET
		Combustible.	Modérateur.	Fluide réfrigérant.	
EL 1 (Zoé)	15-12-1948	U 02 naturel.	D ₂ O	D ₂ O	Recherche.
EL 3	4-7-1957	U 02 légèrement enrichi.	D ₂ O	D ₂ O	Recherche, essais de matériaux et production de radioéléments.
Mélusine	1 ^{er} -7-1958	U enrichi.	H ₂ O piscine.	H ₂ O	Recherche.
Triton	30-6-1959	U enrichi.	H ₂ O piscine.	H ₂ O	Etudes de protection.
Minerve	29-9-1959	U enrichi.	H ₂ O piscine.	Néant.	Analyse, pureté des matériaux.
Ulysse	23-7-1961	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Enseignement (I. N. S. T. N.).
Siloé	18-3-1963	U enrichi.	H ₂ O piscine.	H ₂ O	Recherche.
Pégase	4-4-1963	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Essais combustibles piles à gaz.
Cabri	21-12-1963	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Etudes de sûreté.
Harmonie	25-8-1965	U enrichi.		Air.	Réacteur, source pour expériences neutroniques.
Osiris	1966	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Essais de matériaux.

II. — Assemblages critiques.

NOM	DATE DE DIVERGENCE	TYPE			OBJET
		Combustible.	Modérateur.	Fluide réfrigérant.	
Aquilon	11 août 1956.	U naturel.	D ₂ O	Néant.	Etudes de réseaux.
Alizé	18 juin 1959.	U enrichi.	H ₂ O	Néant.	Etudes de réseaux.
Marius	7 janvier 1960.	U enrichi et naturel.	Graphite.	Néant.	Etudes de réseaux.
Néréide	Janvier 1961.	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Etudes de protection (annexe de Triton).
Peggy	2 février 1961.	U enrichi.	H ₂ O	Néant.	Maquette critique de Pégase.
Rachel	Avril 1961.	Pu.	Néant.	Néant.	Etudes sur les neutrons rapides.
Azur	9 avril 1962.	U enrichi.	H ₂ O	Néant.	Maquette critique du prototype pour sous-marin.
Silhouette	5 mai 1964.	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Maquette critique de Siloé.
César	19 déc. 1964.	U naturel et enrichi.	Graphite.		Etudes de réseaux.
Eole	2 déc. 1965.	U naturel et enrichi.	D ₂ O	Néant.	Etudes de réseaux à eau lourde.
Masurca	1966.	Pu et U.		Air.	Maquette critique à neutrons rapides.
Isis	1966.	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Maquette critique d'Osiris.

III. — Réacteurs expérimentaux et prototypes.

NOM	DATE de divergence.	TYPE			OBJET
		Combustible.	Modérateur.	Fluide réfrigérant.	
Pat	14 août 1964	U enrichi.	H ₂ O	H ₂ O	Prototype à terre de réacteur pour sous-marins.
Rapsodie	1966	Pu et U enrichi.	Néant.	Sodium.	Pile à neutrons rapides, surrégénératrice.
EL 4.....	1967	UO ₂ légèrement enrichi.	D ₂ O	CO ₂	Production d'électricité.

b) Accélérateurs de particules du C. E. A. (1).

TYPE	DATE de mise en service.	EMPLACEMENT
Van de Graaff 2 MV	1954	Saclay.
Van de Graaff 5 MV (ions).....	1953	Cadarache.
Van de Graaff tandem 12 MeV.....	1963	Saclay.
Cyclotron 11 MeV (en protons).....	1954	Saclay.
Cyclotron à énergie variable (2).....	1964	Saclay.
Accélérateur linéaire à électrons 45 MeV.....	1958	Saclay.
Synchrotron à Protons « Saturne » 3 GeV.....	1958	Saclay.
Van de Graaff (électrons) 3 MV.....	1963	Grenoble.
Van de Graaff (ions) 2 MV.....	1964	Grenoble.
Accélérateur linéaire de 300 MeV (électrons).....	1968	Saclay.

(1) De plus d'un MeV.

(2) De 3 à 28 MeV en protons.

B. — Opérations propres à 1967.

Il paraît souhaitable de distinguer les dépenses selon qu'elles s'appliquent à la recherche, à la production de matières nucléaires, aux services centraux.

a) Recherche.

Il convient de distinguer entre les compléments de caractère inéluctable et les mesures nouvelles proprement dites.

1. — Opérations inéluctables :

Les opérations ci-après ont été prévues :

Mises en service d'ouvrages et d'installations :

Il a été inscrit à ce titre les crédits nécessaires à la mise en service d'ouvrages et d'installations nouveaux et complexes tels que EL 4, Rapsodie et son atelier de traitement du combustible, expérience critique Masurca, pilote de traitement des combustibles irradiés, etc...

Achèvement de la construction de Rapsodie :

Il s'agit d'une dotation destinée à couvrir les dernières dépenses de construction du réacteur.

Augmentation des investissements de recherche :

Il s'agit, comme les années précédentes, d'une croissance quantitative de l'investissement par agent lié à l'amélioration qualitative du potentiel scientifique mis à la disposition des chercheurs du C. E. A.

2. — *Opérations nouvelles :*

Il s'agit tout d'abord d'assurer la création de quelques emplois et de prévoir les moyens nécessaires au renforcement de l'infrastructure, des équipements et des installations des centres de recherche qui constituent le support général de la mise en œuvre des activités de recherche scientifique et technique.

En outre, on a retenu les dotations nécessaires à la couverture d'opérations déjà lancées telles que :

— poursuite des opérations en cours concernant la physique des hautes énergies, la physique des plasmas et la fusion contrôlée ;

— extension et renouvellement des matériels des installations de traitement des combustibles irradiés ;

— équipements expérimentaux des piles de recherche, des accélérateurs de particules, des installations de production de radioéléments ;

— poursuite des installations et amélioration des équipements de traitement de déchets et effluents.

Enfin, des dotations ont été prévues au titre de :

— la poursuite des opérations de décentralisation ;

— la participation du C. E. A. dans la réalisation du projet franco-allemand de réacteur à haut flux de neutrons ;

— la mise en route de certaines études sur le dessalement des eaux salées ou saumâtres, en liaison avec la D. G. R. S. T.

b) Production de matières nucléaires.

Les dotations retenues concernent :

1. — *La prospection géologique et minière :*

Dans la perspective de la production à assurer dans un avenir proche, les efforts consentis au cours des années précédentes seront poursuivis.

2. — *Les investissements de production :*

Les opérations ci-après ont été prévues :

Exploitations minières et usines de raffinage :

Il s'agit, d'une part, du renouvellement des matériels des divisions minières ainsi que des travaux de reconstitution et de maintenance des installations et, d'autre part, de la poursuite des programmes d'aménagements des installations de production des centres du Bouchet et de Malvési.

Centre de Marcoule :

La dotation prévue au titre de Marcoule est destinée à couvrir les aménagements de l'infrastructure et des bâtiments ; le renouvellement du mobilier, du matériel et de l'outillage ; le stockage et le traitement des effluents et des déchets ; les opérations de maintenance des réacteurs, de l'usine d'extraction de plutonium et de l'atelier d'usinage du graphite.

Usine de La Hague.

C'est à compter de l'année 1967 que les dépenses d'exploitation et la maintenance de l'usine doivent être prises en charge sur le budget du Ministre des Armées.

Cependant, certains investissements complémentaires devront être réalisés en 1967 : il s'agit notamment du stockage des sous-produits, des aménagements du centre et de la chaîne d'extraction de plutonium. Les investissements liés directement à la production de plutonium sont partagés par moitié entre le budget des Armées et celui du Premier Ministre.

c) Services centraux.

En matière de logements, l'année 1967 doit marquer une certaine réduction du nombre des logements nouveaux à lancer.

V. — Le problème des déchets radioactifs.

Les problèmes qui concernent les déchets radioactifs font toujours l'objet d'une attention particulière de la part du Commissariat à l'Énergie atomique.

Les principes généraux en ce domaine n'ont pas subi de changements notables par rapport à l'an dernier. Un souci constant d'amélioration a permis 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 se propose, suivant 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 ou en les plaçant dans des formations géologiques où leur diffusion se trouvera très limitée, afin d'éviter qu'ils ne puissent arriver à l'homme, notamment par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Le Commissariat à l'Énergie atomique s'efforce de développer les connaissances relatives aux conditions de dispersion des radioéléments dans le milieu naturel : en particulier a été poursuivie l'étude des rejets des effluents liquides dans les eaux de mer et les eaux de surface.

Les effluents gazeux sont rejetés dans l'atmosphère, après séparation des éléments radioactifs par filtration et piégeage. Afin d'augmenter le taux de décontamination des résidus gazeux, un effort particulier est fait pour améliorer le contrôle des appareils utilisés (filtres, pièges), aussi bien à leur réception avant mise en service, qu'en cours d'utilisation. D'autre part, l'adoption généralisée des filtres incombustibles rendra toutes les installations plus sûres.

Toujours dans ce domaine, des études en cours permettront d'améliorer la décontamination en iode radio-actif qui, sous certaines formes chimiques, est difficile à éliminer.

Les effluents liquides de faible activité, constitués par les eaux décontaminées, continuent à être rejetés, dans la plupart des cas, dans le réseau fluvial ; ces rejets ont lieu dans le cadre d'une convention générale sur les rejets radio-actifs en rivière, passée avec le Ministère des Affaires sociales.

L'équipement des stations de traitement assurant la décontamination des effluents s'est complété : on note la mise en exploitation régulière au Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses d'un évaporateur qui procure aux Centres de la région parisienne des moyens de décontamination plus efficaces.

Dans le cadre des recherches pour accroître la séparation des éléments radio-actifs les plus difficiles à éliminer, le Centre de Marcoule a mis au point un procédé original de décontamination du Ruthénium, permettant de réduire l'activité rejetée dans le Rhône.

Les études des rejets en mer qui intéressent plus particulièrement le Centre de La Hague ont permis de mettre au point les conditions de rejet pour le démarrage de ce Centre, soumises à l'accord du Ministère des Affaires sociales.

Les boues radio-actives qui proviennent de la décontamination des liquides de faible et moyenne activité sont solidifiées dans le ciment ou sont enrobées dans le bitume. Ce dernier procédé vient d'être mis en service à l'échelle industrielle avec succès au Centre de Marcoule ; il confère une sûreté accrue dans le stockage de ces boues tout en permettant une diminution sensible des volumes à stocker.

Dans les procédés nouveaux de stockage des boues ou liquides radio-actifs, la France suit avec beaucoup d'intérêt les études entreprises dans certains pays sur un certain nombre de techniques nouvelles, en particulier l'injection dans le sol dans des formations salines ou après hydrofracturation.

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. Leur stockage est effectué dans des cuves protégées contre la corrosion, l'échauffement, le dégagement de gaz de radiolyse, etc., et qui sont soumises à une surveillance très stricte. Pour l'avenir, on prévoit de substituer à ce stockage qui impose de lourdes sujétions un stockage sous forme solide, plus sûr et plus commode. Dans ce domaine, les études en cours évoluent favorablement vers l'industrialisation de certains procédés, particulièrement ceux qui utilisent les techniques de vitrification. Un atelier pilote de vitrification est en construction au Centre de Marcoule.

Les déchets solides, comme par le passé, continuent à être stockés dans les centres nucléaires ou sur des terrains du C. E. A. Toutefois, le C. E. A. poursuit la création d'une société de Service qui prendrait en charge la plupart de ces déchets. Cette société assurerait le stockage définitif et pour ce faire disposerait de parcs de stockage qui pourraient être utilisés par tous les usagers, publics ou privés. Ces parcs seront naturellement créés en conformité avec les règlements en vigueur (loi de 1917 sur les établissements dangereux, insalubres ou incommodes ou décret du 11 décembre 1963 sur les installations nucléaires de base) et respecteront les impératifs de surveillance et de sécurité requis.

Les problèmes qui concernent les effluents radio-actifs évoluent favorablement sur le plan national, avec le souci constant de permettre le développement des applications de l'énergie nucléaire sans risque pour les travailleurs et la population civile.

Conclusion.

Les crédits prévus au budget du Premier Ministre au titre de l'énergie atomique s'élèvent à 2.264 millions de francs en autorisations de programme et à 2.274 millions de francs en crédits de paiement, alors que, pour 1966, ces mêmes crédits étaient de 2.138,5 et 2.163 millions de francs.

Majorés de 5 % environ, les crédits se situent donc sensiblement au même niveau que l'année précédente si l'on tient compte des majorations de prix et de salaires.

Il faut en déduire que le Commissariat à l'énergie atomique a atteint un régime de stabilité qui lui permet de faire face à toutes ses tâches sans majoration de ses ressources.

La filière uranium naturel, graphite, gaz carbonique adoptée par Electricité de France pour toutes ses nouvelles centrales nucléaires, vient d'atteindre la compétitivité avec les autres modes de production et de nouveaux progrès sont à prévoir, mais il n'est pas certain que d'autres filières ne soient pas plus économiques. Des études sont actuellement entreprises à ce sujet en accord entre E. D. F. et le C. E. A.

Votre Commission attacherait du prix à connaître le résultat de ces études.

Les essais en cours sur « Rapsodie » et « Masurca » doivent permettre de faire avancer l'étude des réacteurs surrégérateurs à neutrons rapides et en particulier la construction du prototype « Phénix ».

Votre Commission pense que cette filière doit conduire en même temps qu'à des économies de combustible nucléaire, à un prix de revient inférieur à celui des filières actuelles. *Elle invite le Commissariat à poursuivre activement la réalisation de ses projets à ce sujet.*

Sous réserve de ces observations, votre Commission vous propose de donner un avis favorable aux crédits du budget des Services généraux du Premier Ministre concernant l'énergie atomique.